

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Eléctrica

“Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute”

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Edisson Andrés Villa Ávila
C.I. 0107151698

Director:

Ing. Martín Eduardo Ortega Ortega
C.I. 0301449450

Cuenca – Ecuador
Julio-2018

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta el “Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute”, en el cual se incluye los diseños de control y fuerza para los procesos de potabilización del agua y los diseños de control supervisor de los subprocesos inherentes al proceso de Potabilización del Agua de la Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal, utilizando apropiadamente el tema de la automatización de una manera estructurada y ordenada. Para su elaboración se establece una visión funcional del proceso de potabilización por medio de diagramas de control y fuerza que sirven como base para establecer las etapas a ser automatizadas de la Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal y otras similares por ejemplo Cachiyacu, Tomebamba, Bante, entre otras, específicamente en el procedimiento de insumos químicos, filtros y bombeo, lo cual se considera la contribución principal de este trabajo.

El diseño y los equipos propuestos para la automatización de la planta de tratamiento de agua potable, tienen la finalidad de garantizar la vida útil de los equipos de bombeo, la continuidad, eficiencia y seguridad en la operación de los equipos instalados, manteniendo de forma permanente el respectivo tratamiento del agua y así poder suministrar de agua potable al tanque de Distribución de Chala mediante el desarrollo de un sistema de control.

Palabras clave: Compensación, Dureza, Error, PLC, Sensor, Señal Analógica, Señal Digital, GSM, GPRS, Profinet.

ABSTRACT

The following paper presents the "“Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute”, which includes the design of control and force for water purification processes and water Supervisory control designs of the subprocesses inherent to the Water Purification process of the San Cristóbal Water Treatment Plant, appropriately using the automation theme in a structured and orderly manner. For the elaboration of this work, a functional vision of the potabilization process is established by means of control and force diagrams that served as the basis to establish the stages to be automated. In addition to serving as a basis for the automation of the Water Treatment Plant of San Cristóbal and other similar for example Cachiyacu, Tomebamba, Bante, among others, specifically in the process of chemical inputs, filters and pumping, which is considered the main contribution of this work.

The design and equipment proposed for the automation of the drinking water treatment plant, have the purpose of guaranteeing the useful life of the pumping equipment, the continuity, efficiency and safety in the operation of the installed equipment, maintaining permanently the respective treatment of the water and thus be able to supply drinking water to the Chala Distribution tank through the development of a control system.

Key words: Compensation, Hardness, Error, PLC, Sensor, Analog Signal, Digital Signal, GSM, GPRS, Profinet.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	12
DEDICATORIA	13
GLOSARIO	14
1. CAPÍTULO 1	17
INTRODUCCIÓN	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. JUSTIFICACIÓN	18
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. ALCANCE	19
2. CAPÍTULO 2	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. INTRODUCCIÓN	21
2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	22
2.2.1. El proceso de Potabilización	22
2.2.2. Control de la calidad de agua potable	25
2.3. BOMBAS DE AGUA CENTRÍFUGAS	26
2.3.1. Clasificación de las Bombas	27
2.3.2. Características e implementos de las Bombas	28
2.4. ELECTRO-VÁLVULAS	31
2.4.1. Válvulas de compuerta	31
2.4.2. Válvulas de Retención o Check	32
2.4.3. Válvulas Flotadoras	32
2.4.4. Válvulas de Alivio	32
2.4.5. Electroválvula motorizada o proporcional	33
2.5. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	34
2.5.1. Sensor de nivel tipo Ultrasónico	34
2.5.2. Arrancadores suaves	35
2.5.3. Contactor	37
2.5.4. Relé	38
2.5.5. Relé Térmico	39
2.5.6. Guardamotor	40
2.5.7. Caudalímetro	40
2.5.8. Dispositivos diferenciales residuales	41
2.6. INTERFACES DE OPERADOR	42
2.7. SISTEMAS DE INTERBLOQUEO	43
2.7.1. Prevención de Interbloqueo	43
2.7.2. Detección de Interbloqueo	45
2.7.3. Evitar Interbloqueo	46
2.8. CONTROLADORES PROGRAMABLES	48
2.8.1. Sistemas de Control	48
2.8.2. Teoría Básica Sobre los Controladores Lógicos Programables	49
2.8.3. Clasificación: Rango del PLC	51
2.9. SISTEMAS DE CONTROL	52
2.9.1. Topología de redes de área local	52
2.9.2. Protocolos de comunicación	54
2.10. SUPERVISOR DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS	54

3. CAPÍTULO 3	56
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL EQUIPAMIENTO PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE	56
3.1. INTRODUCCIÓN.....	56
3.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN	58
3.2.1. Proceso de Potabilización	60
3.2.2. Tensión de alimentación.....	69
3.3. VARIABLES DEL PROCESO.....	70
3.3.1. Caudal de agua	70
3.3.2. Nivel de agua.....	71
3.3.3. Presión de agua	71
3.3.4. Corriente de operación	71
3.3.5. Tensión de operación	71
3.3.6. Potencia eléctrica	72
3.4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE PROCESO Y DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN	72
3.4.1. Caudal de agua	72
3.4.2. Nivel de agua.....	73
3.4.3. Presión de agua	74
3.4.4. Corriente de operación	75
3.4.5. Tensión de operación	76
3.4.6. Carga Instalada en la Planta	76
3.4.7. Instrumentación	76
3.5. DETALLE DE EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE CONTROL DE AUTOMATIZACIÓN.....	78
3.5.1. Software TIA PORTAL	79
3.5.2. Controlador Lógico Programable (PLC) SIMATIC S7-1200.....	79
3.5.3. SIMATIC HMI Paneles Básicos.....	82
3.5.4. Pulsador de emergencia.....	83
3.5.5. Riel DIN.....	84
3.5.6. Relé térmico	85
3.5.7. Relé Industriales Universal.....	85
3.5.8. Luz Piloto.....	86
3.5.9. Borneras.....	87
3.5.10. Disyuntor Simple y Trifásico (Breaker)	87
3.5.11. Pulsador normalmente abierto (NA)	89
3.5.12. Interruptor tipo boya	89
3.5.13. Interruptor normalmente abierto (NA).....	90
3.5.14. SM 1222 Modulo se señales digitales de 16 DO a 24 VDC	91
3.5.15. SM 1234 Modulo de 4 entradas y 2 salidas analógicas.....	91
3.5.16. Signal Board de salidas analógicas SB 1232	92
3.5.17. Fuente de alimentación de 24 VDC.....	93
3.5.18. Caudalímetro SITRANS F M MAG 5100 W	94
3.5.19. Válvula Motorizada o Proporcional	95
3.5.20. Electroválvulas	96
3.5.21. Sensor de Presión.....	98
3.5.22. Sensor de Nivel Ultrasonico EchoMax XPS	100
3.5.23. Guardamotor Sirius	101
3.5.24. Arrancador Suave Sirius	101
3.5.25. Temporizador	102
3.5.26. Manguera Politubo	103
3.5.27. Cables eléctricos	103
3.5.28. Bomba horizontal Pedrollo.....	104



3.5.29.	Bomba vertical GOULDS e-SV.....	105
3.5.30.	Gabinete de control	106
3.5.31.	Contactador.....	107
3.5.32.	Cantidad de equipos.....	108
3.5.33.	Análisis de carga	117
4.	CAPITULO 4	118
	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN	118
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	118
4.2.	DISEÑO DE FLUJO DEL PROCESO DE CONTROL	120
4.2.1.	Etapa 1. Insumos Químicos.....	120
4.2.2.	Etapa 2 Filtros	122
4.2.3.	Etapa 3 Bombeo.....	123
4.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE FUERZA Y DE CONTROL	123
4.3.1.	Etapa 1 Insumos Químicos.....	125
4.3.2.	Etapa 2 Filtros	129
4.3.3.	Etapa 3 Bombeo.....	133
4.3.4.	Gabinete de control	136
4.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALARMA EN CASO DE FALLA	137
4.4.1.	Evaluación de los eventos de error de diagnóstico con el bloque de organización 0B82 “interrupción por error de diagnóstico”	138
4.4.2.	Comprensión de los diferentes eventos de error de diagnostico	141
5.	CAPITULO 5	149
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
5.1.	CONCLUSIONES.....	149
5.2.	RECOMENDACIONES	152
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
	ANEXOS	156
ANEXO 3.1.	Planta de Agua Potable de San Cristóbal – Paute	157
ANEXO 3.2.	Planta actual de tratamiento de agua de San Cristóbal	158
ANEXO 3.3.	Planta de tratamiento de San Cristóbal con los equipos proyectados para su automatización.	159
ANEXO 4.1.	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 1 Insumos Químicos	160
ANEXO 4.2.	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 2 Filtros	161
ANEXO 4.3.	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 3 Bombeo.....	162
ANEXO 4.4.	Etapa 1 Diseño de fuerza y control	163
ANEXO 4.5.	Listado de señales de entrada salida de la etapa 1 Insumos Químicos	164
ANEXO 4.6.	Etapa 2 Filtros, diseño de control	165
ANEXO 4.7.	Etapa 2 Filtros, diseño de fuerza	166
ANEXO 4.8.	Listado de señales de entrada salida de la etapa 2 Filtros	167
ANEXO 4.9.	Etapa 3 Bombeo, diseño de control	169
ANEXO 4.10.	Etapa 3 Bombeo, diseño de fuerza	170
ANEXO 4.11.	Listado de señales de entrada salida de la etapa 3 Bombeo.....	171
ANEXO 4.12.	Gabinetes de Control	172
ANEXO 4.13.	Simbología General	173

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal.	20
---	----

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento.	23
Figura 2.2 Diferentes tipos de bombas de agua centrifugas.	27
Figura 2.3 Electroválvula.	31
Figura 2.4 Principio de operación de un Sensor Ultrasónico.	35
Figura 2.5 Arrancador suave Sirius de la marca Siemens.	36
Figura 2.6 Contactor trifásico marca Schneider.	38
Figura 2.7 Relé industrial marca Finder.	39
Figura 2.8 Relé térmico de Sobrecarga.	39
Figura 2.9 Guardamotor.	40
Figura 2.10 Caudalímetro electromagnético.	41
Figura 2.11 Dispositivo diferencial residual de la marca Schneider.	42
Figura 2.12 Espera circular.	45
Figura 2.13 Sistema de control de lazo abierto.	48
Figura 2.14 Sistema de control de lazo cerrado.	49
Figura 2.15 PLC S7-1200 marca Siemens.	50
Figura 2.16 Topología en estrella.	53
Figura 2.17 Topología bus.	53
Figura 2.18 Topología anillo.	54

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Estación de Bombeo El Descanso.	59
Figura 3.2 Ubicación del Sistema de Potabilización de San Cristóbal Paute.	59
Figura 3.3 Tubo de conducción de agua cruda.	61
Figura 3.4 Dosificación de insumos químicos (tanque A, B y C).	62
Figura 3.5 Floculadores.	63
Figura 3.6 Sedimentadores.	64
Figura 3.7 Válvulas de paso de 3 pulgadas.	65
Figura 3.8 Filtros de arena.	65
Figura 3.9 Reservorio de 1000 litros (tanque D).	67
Figura 3.10 Bomba centrífuga mono bloque marca Pedrollo utilizada para bombear el agua disponible en el reservorio de 1000 litros.	67
Figura 3.11 Filtros ablandadores y filtros de carbón activo (tanque E, F, G, H).	68
Figura 3.12 Reservorio de agua potable (tanque I).	68
Figura 3.13 Transformador trifásico de 30 KVA.	69
Figura 3.14 Software SIMATIC STEP 7 V14.	79
Figura 3.15 PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1215c.	81
Figura 3.16 Comunicación.	82
Figura 3.17 Pantalla HMI de 15 pulgadas.	83
Figura 3.18 Pulsador con un contacto normalmente abierto – normalmente cerrado (NA-NC).	84
Figura 3.19 Riel DIN.	84
Figura 3.20 Relé térmico para motores, 23 - 28 Amperios.	85

Figura 3.21 Relé Industrial Universal marca Siemens. Alimentación 24 VDC, 110 VAC, 220 VAC, 10 Amperios y 11 pines.....	86
Figura 3.22 Luz Piloto, alimentación, 24 VDC, 110 VAC, 220 VAC.	86
Figura 3.23 Borneras, 20 unidades.	87
Figura 3.24 Disyuntor Simple (Breaker).	88
Figura 3.25 Disyuntor Trifásico (Breaker) caja moldeada.	88
Figura 3.26 Pulsador NA.	89
Figura 3.27 Interruptor tipo boya.	90
Figura 3.28 Interruptor luminable NA.	90
Figura 3.29 SM1222 Módulo de señal digital de 16 DO a 24 VDC.....	91
Figura 3.30 SM1234 Módulo de 4 entradas y 2 salida analógicas. Configurable con VDC y mA.	92
Figura 3.31 Tarjeta de señales analógicas SB 1232.	93
Figura 3.32 Fuente de alimentación, entrada 120/230 VAC, salida 24 VDC, 20 A.....	94
Figura 3.33 Caudalímetro SITRANS F M MAG 5100 W.....	95
Figura 3.34 Válvula proporcional o motorizada de media pulgada.....	96
Figura 3.35 Electroválvula de media pulgada.....	97
Figura 3.36 Electroválvula de 2 pulgadas.	97
Figura 3.37 Electroválvula de 3 - 4 y 6 pulgadas.....	98
Figura 3.38 Sensor de Presión SITRANS P310.	99
Figura 3.39 Sensor de nivel EchoMax XPS.	100
Figura 3.40 Guardamotor Sirius 3RV2021-4NA10, 23 – 28 Amperios.	101
Figura 3.41 Arrancador Suave Sirius, tensión de alimentación 220 VAC, 100 Amperios.	102
Figura 3.42 Temporizador.	102
Figura 3.43 Manguera politubo.....	103
Figura 3.44 Bomba horizontal Pedrollo, 220 VAC, 7.5 HP.	105
Figura 3.45 Bomba GOULDS trifásica, 220 VAC, 25 HP.	106
Figura 3.46 Gabinete de control.	107
Figura 3.47 Contactor, alimentación 220 VAC, 25 Amperios.	108

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Programación de la etapa 1 Insumos Químicos en TIA PORTAL V.14.....	129
Figura 4.2 Programación de la etapa 2 Filtros en TIA PORTAL V.14.	133
Figura 4.3 Programación de la etapa 3 Bombeo en TIA PORTAL V.14.	135
Figura 4.4 Programación de las comunicaciones entre los equipos (PLC) en TIA PORTAL V.14.	136
Figura 4.5 Añadir el OB82 de "interrupción por error de diagnóstico".	139
Figura 4.6 Lectura de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico".	140
Figura 4.7 Evaluación de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico".	140
Figura 4.8 "Sin sensor o potencia de carga".	142
Figura 4.9 "Límite superior sobrepasado".	143
Figura 4.10 Rotura de hilo.	145
Figura 4.11 Diagnostico en línea con STEP 7 Basic.	147



ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1	Coordenadas geográficas de la Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal.	59
Tabla 3.2	Dimensiones de los filtros de arena.	66
Tabla 3.3	Medidas del reservorio de agua potable.	69
Tabla 3.4	Carga Instalada.	70
Tabla 3.5	Caudal en litros/segundo (L/s) para varios diámetros de tuberías.	74
Tabla 3.6	Equivalencia entre las unidades de presión.	75
Tabla 3.7	Cables Eléctricos.	104
Tabla 3.8	Equipos adicionales y Software de control.	109
Tabla 3.9	Etapa 1. INSUMOS QUÍMICOS (Parte I).	110
Tabla 3.10	Etapa 1. INSUMOS QUÍMICOS (Parte II).	111
Tabla 3.11	Etapa 2. FILTROS (Parte I).	112
Tabla 3.12	Etapa 2. FILTROS (Parte II).	113
Tabla 3.13	Etapa 2. FILTROS (Parte III).	114
Tabla 3.14	Etapa 3. BOMBEO (Parte I).	115
Tabla 3.15	Etapa 3. BOMBEO (Parte II).	116
Tabla 3.16	Análisis de carga de las etapas implementadas.	117
Tabla 3.17	Comparación de carga actual con la carga proyectada.	117

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1	Variable "IOstate".	148
-----------	---------------------	-----

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Edisson Andrés Villa Ávila en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre 2018



Edisson Andrés Villa Ávila

C.I.: 0107151698

Cláusula de Propiedad Intelectual

Edisson Andrés Villa Ávila, autor del trabajo de titulación "**Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre 2018



Edisson Andrés Villa Ávila

C.I.: 0107151698

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por mi avance y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo. Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, y sus llegadas en la madrugada para hacerme despertar y poder seguir con mis tareas, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que guiaron durante mi vida.

Ser papá y estudiante es difícil, sobre todo cuando se estudia una carrera profesional y se está en proceso de elaborar una tesis, y es difícil porque se sabe que alguien más se está sacrificando para que tú puedas lograr tu sueño y esa persona es mi hija y mi esposa, a quienes las amo incondicionalmente y me dan la fuerza necesaria para seguir adelante cumpliendo mis metas y sueños.

Al Ingeniero Martín Ortega Ortega por permitirme aprender de su sabiduría y experiencia, y brindarme su apoyo para la culminación de este proyecto.



DEDICATORIA

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo, siempre fuiste muy motivadora y esperanzadora, me decías que lo lograría perfectamente.

Me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso.

Muchas gracias, amor.

GLOSARIO

AI: Analogic Input, Entrada Analógica

A: Ampere, Amperios

AQ: Analog output, Salida Analógica

AWG: American wire gauge, Calibre Alambre Estadounidense

Bar: Bares

Breaker: Disyuntor

CPU: Central Processing Unit, Unidad Central de Procesamiento

DDR: Residual Current Device Dispositivo Diferencial Residual,
Dispositivos Diferenciales de Corriente

DI: Signal Input, Entrada Digital

DN: Diámetro Nominal

DO: Signal Output, Salida Digital

HMI: Human Machine Interface, Interfaz Hombre Máquina

hp: Horse Power, Caballos de Fuerza

Hr: Horas

IP: Ingress Protection, Protección de Ingreso



KB: Kilo Bytes

Kv: Coeficiente de Caudal

KVA: Kilo Volt Ampere, Kilo Voltamperios

KW: Kilo Watts, Kilo Vativos

lbs: Libras

m: Metros

m²: Metros Cuadrados

m³: Metros Cúbicos

mA: mili amperios

min: minuto

NA: Normalmente Abierto

NC: Normalmente Cerrado

pH: Potencial de Hidrógeno

PLC: Programmable Logic Controller Controlador Lógico Programable

Psi: Libras por pulgada cuadrada

SB: Signal Board, tablero de señales



SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, Control de supervisión y adquisición de datos

Seg: segundos

Software: Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

TIA: Totally Integrated Automation, Integrador Automático Total

VAC: Voltage alternating current, Voltaje de corriente alterna

VDC: Voltage direct current, Voltaje de corriente directa



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La parroquia San Cristóbal perteneciente al cantón Paute se encuentra ubicada en la zona nororiental de la provincia del Azuay. Este sector se encuentra conformado en gran parte por habitantes que fueron reubicados en el año 1994, tras el desastre de la Josefina.

Durante varios años los habitantes de esta parroquia no contaron con el servicio de agua potable, mismo que es un elemento indispensable para la vida y un derecho de todas las personas, por lo cual en el año 2005 el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón Paute al detectar agua a 150 metros de profundidad en la comunidad El Descanso perteneciente a la parroquia de San Cristóbal inició los trabajos necesarios para instalar una central de bombeo de agua, buscando así dotar de este líquido vital a toda su comunidad. Sin embargo, el proyecto no fue culminado y hasta olvidado en los siguientes años.

Finalmente, en el año 2010 tras una aprobación presupuestaria, el GAD Municipal del Cantón Paute retoma el proyecto de agua potable, mismo que es inaugurado a finales del año 2011, beneficiando así a las comunidades El Descanso, Guachún, La Victoria, Bellavista, Pampa Negra, Pueblo Nuevo, y Cristo Rey, esta última perteneciente a la provincia del Cañar.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Conforme la tecnología avanza, los sistemas de automatización y control de procesos se abren espacio en todos los campos productivos, de hecho, en los últimos años, su utilización ha aumentado increíblemente en industrias pertenecientes al sector químico, petrolero, gasífero y biotecnológico, implementando modernos sistemas de instrumentación que controlan procesos complejos, garantizando fiabilidad y seguridad.

Actualmente la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable poseen un sistema de control y adquisición de datos (SCADA), para la supervisión de sus procesos, debido a las ventajas que estos ofrecen, entre las que se destacan la adquisición de datos en tiempo real, la configuración gráfica por medio de pantallas (lo cual es de fácil manejo para el operador) y la comunicación con computadores remotos, lo que permite que la operación y control sea supervisada desde cualquier sitio y en cualquier momento.

El GAD Municipal del Cantón Paute proyecta la automatización de la planta de tratamiento de agua potable perteneciente a la parroquia San Cristóbal con el objetivo de mejorar la eficiencia de operación, además de, ampliar la cobertura hacia nuevos sectores y continuar mejorando la calidad del servicio.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de control que permita la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de la Parroquia San Cristóbal controlando variables eléctricas y de dosificación de productos químicos para la potabilización del agua.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los criterios y procedimientos básicos de construcción, aplicables en la parte de automatización e implementación de pequeñas plantas de tratamiento de agua potable.
- Determinar los parámetros de funcionamiento según los requerimientos del sistema de control automático de la planta de agua potable.
- Realizar la ingeniería básica y de detalle del sistema de control automático basado en equipos con disponibilidad en el mercado nacional e internacional.
- Presentar el diseño del sistema de control para la automatización de la planta de tratamiento de agua potable.

1.4. ALCANCE

El abastecimiento de agua para la comunidad de San Cristóbal posee tres etapas, la primera etapa es la estación de bombeo ubicada en la orilla del Rio Paute sector El Descanso, la segunda es la Planta de Tratamiento de Agua potable de San Cristóbal, ubicada en la parroquia del mismo nombre y la tercera es donde se almacena el agua potable para su distribución, en la Planta de

Almacenamiento en el sector de Chala, el cual es un barrio de la parroquia de San Cristóbal.

El presente proyecto propone automatizar la segunda etapa del sistema de abastecimiento de agua, siendo esta la Planta de Tratamiento de San Cristóbal como se indica en la Figura 1.1, la cual se compone de dos bombas para la línea principal, tuberías auxiliares, válvulas manuales, sistemas auxiliares, entre otros; siendo, actualmente todo este sistema operado de manera totalmente manual.



Figura 1.1 Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal. Fuente el Autor

La propuesta del proyecto es especificar los parámetros (variables a medir, por ejemplo, caudal, nivel, tensión, corriente, entre otras) que se deben tener en cuenta al momento de realizar los cambios tecnológicos que conlleve el proceso de automatización. Estos parámetros generados en el sistema de transmisión de señales son utilizados para la selección de la instrumentación, la cual también depende de los materiales, de la instalación y su diseño.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de una planta de tratamiento de agua es una actividad de gran importancia para lograr un producto acorde a los requisitos de calidad exigidos por la normativa ambiental de la Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua y las eficiencias esperadas en el proceso. Esta evaluación comprende un análisis detallado del funcionamiento de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento de agua (insumos químicos, floculación, sedimentación, filtración, cloración), la eficiencia de cada una de éstas para su potabilización y la forma en que están siendo operadas, controladas, mantenidas y administradas.

Como resultado de la evaluación, es posible, identificar las deficiencias existentes, en operación, mantenimiento o diseño. Además, se obtiene información valiosa para la determinación de las condiciones de mejora de la

eficiencia del sistema, así como para el desarrollo de proyectos de ampliación u optimización.

2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El proceso de tratamiento de agua potable, además de ser un proceso complejo por el tipo de reacciones químicas que se presentan, requieren también condiciones óptimas para su suministro, debido a que el elemento que se está tratando es un fluido. Este proceso puede ser analizado como cualquier otro proceso que vaya a ser automatizado y se puede hacer un estudio de cada etapa del mismo, considerando las variables y parámetros que influyen en las diferentes etapas del proceso de potabilización, la instrumentación asociada, etc.

2.2.1. El proceso de Potabilización

El proceso de tratamiento de agua potable está compuesto por las siguientes etapas:

- toma de agua (captación o bocatoma)
- coagulación
- retención de sólidos sedimentables
- decantación
- aireación
- cloración y alcalinización

Después de esta última etapa el agua se encuentra lista para su distribución. En la Figura 2.1 se muestra un esquema del proceso de tratamiento de agua. (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

2.2.1.1. Captación

La captación de agua se lleva a cabo en la bocatoma que se hace en los ríos o por medio de pozos de bombeo en los reservorios subterráneos de agua. (Estrada & Gutiérrez, 2012)

2.2.1.2. Conducción

Tras la captación, el agua es transportada hacia la planta de tratamiento a través del sistema de conducción, el mismo que se puede accionar por gravedad o bombeo, dependiendo de la diferencia de altitud de las ubicaciones, entre la estación de bombeo y la estación de tratamiento de agua.



Figura 2.1 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento. (Maristas, 2018)

2.2.1.3. Pre-sedimentación

Previo a la llegada del agua a la planta, mediante el reposo del fluido se realiza la retención de sólidos sedimentables que tiene como objetivos:

- Proteger a la planta de tratamiento de la posible llegada intempestiva de grandes sólidos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación.

- Separar y evacuar fácilmente los materiales (como son piedras, madera, plásticos, entre otros) arrastradas por el agua que pueden disminuir la eficacia de los siguientes tratamientos o complicar la realización de los mismos (filtración, bombeo). (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

2.2.1.4. Coagulación

La etapa de coagulación se realiza con el fin de eliminar la turbiedad del agua, el color, las bacterias nocivas, los organismos patógenos, las algas y las sustancias que producen olores y sabores. Este proceso dura solamente fracciones de segundo y se lleva a cabo en el instante en que se agregan los coagulantes al agua. Básicamente, consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

2.2.1.5. Floculación

El proceso de coagulación es reforzado con la floculación, fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan, unas con otras, para formar coágulos mayores. La floculación es estimulada por agitación lenta prolongada que junta poco a poco las partículas incrementando su tamaño y densidad. (Estrada & Gutiérrez, 2012)

2.2.1.6. Aireación

La aireación es el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto con el aire con el fin de modificar las concentraciones de sustancias volátiles, así como remover gases como el metano, cloro y amoníaco. (Estrada & Gutiérrez, 2012)

2.2.1.7. Sedimentación

La sedimentación o decantación es el proceso de remoción de partículas más pesadas que el agua, por acción de la fuerza de gravedad, a través del agua en reposo. Mediante este proceso se elimina la mayor parte de materiales en suspensión. (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

2.2.1.8. Filtración

El proceso de filtración, es en donde se remueve partículas suspendidas en el agua, pasándolas a través de un medio poroso, como arena, antracita, etc. La filtración remueve casi la totalidad de los sólidos sedimentables.

2.2.1.9. Desinfección y Alcalinización

La desinfección o cloración significa una disminución de la población de bacterias hacia una mínima concentración, mediante la aplicación de cloro o luz ultravioleta. (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

El proceso de desinfección es complementado con la estabilización o alcalinización, que consiste en la dosificación químicos (cloro, polímero, sulfato) con el fin de obtener un nivel adecuado de potencial de hidrogeno (pH) en el suministro de agua. Tras este proceso el agua está lista para ser enviada a la red de suministro. (Giraldo, 2016)

2.2.2. Control de la calidad de agua potable

El control de la calidad del agua implica que el abastecedor del servicio es responsable de la calidad y seguridad del agua que produce y distribuye, lo cual se logra a través de una combinación de las buenas prácticas operativas y del mantenimiento preventivo apoyado por la evaluación de la calidad del agua

y de las inspecciones sanitarias de los componentes que conforman el sistema de tratamiento.

De esta manera, el control de la calidad del agua involucra el establecimiento de medidas de protección en la fuente, en el tratamiento y la distribución del servicio, así como la prueba rutinaria de determinación de la calidad del agua a fin de cerciorarse de la realización satisfactoria de los procesos de tratamiento del agua producida y de la ausencia de contaminación en el sistema de distribución. (Panneso, Ceballos, & Reyes, 1995)

Los campos de actuación para el control de la calidad del agua para consumo humano son:

- **La fuente de abastecimiento de agua:** puede tener influencia en la salud de los consumidores y debe prestarse especial atención en cuanto a calidad, protección y tratabilidad.
- **Planta de tratamiento:** la eficiencia de la planta de tratamiento está influenciada por la calidad del agua cruda y se debe dar especial atención a su operación, principalmente en los casos en que las fuentes se encuentran altamente contaminadas, a fin de lograr un producto apto para el consumo humano.
- **Sistema de distribución de agua:** existe la necesidad particular de proteger la calidad sanitaria del agua para consumo humano a fin de asegurar que ella satisfaga las normas físicas, químicas y microbiológicas en todo el trayecto entre la planta de tratamiento y el lugar de consumo.

2.3. BOMBAS DE AGUA CENTRÍFUGAS

Una bomba es un dispositivo capaz de adicionarle energía a una sustancia fluida para producir su desplazamiento de una posición a otra, incluyendo

cambios de elevación. Las bombas son empleadas para aumentar el nivel energético de los fluidos, convirtiendo la energía mecánica en energía hidráulica. Su función es transportar fluidos a través de larga distancias o modificar las condiciones de alta o baja presión. (Moromenacho Oña, 2008)



Figura 2.2 Diferentes tipos de bombas de agua centrifugas. (LLAVE, 2018)

2.3.1. Clasificación de las Bombas

Las bombas se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación, los materiales de construcción y el fluido a manipular. El sistema de clasificación, define primero el principio por el cual se agrega energía al fluido, investiga la identificación del medio por el cual se implementa este principio y finalmente delinea las geometrías específicas comúnmente empleadas. Este sistema se relaciona con las bombas mismas y es inherente a las características externas a la bomba o a los materiales de construcción. Bajo este sistema, todas las bombas pueden dividirse en las siguientes categorías:

- **Dinámicas:** la energía es añadida continuamente para incrementar las velocidades de los fluidos dentro de la máquina a valores mayores de

los que existen en la descarga, de manera que, la subsiguiente reducción en velocidad dentro, o más allá de la bomba, produce un incremento en la presión. Las bombas dinámicas pueden subdividirse en bombas centrífugas y de otros efectos especiales.

- **Desplazamiento:** la incorporación de energía se da de manera periódica mediante la aplicación de fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contienen un fluido, lo que resulta en un incremento directo en la presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido a través de válvulas o aberturas en línea de descarga. Las bombas de desplazamiento se dividen en alternativas y rotatorias, dependiendo de la naturaleza del movimiento de los miembros que producen la presión. (Moromenacho Oña, 2008)

2.3.2. Características e implementos de las Bombas

La operación de una bomba no solo depende de sus características de funcionamiento, sino también de las características del sistema en el cual se va a trabajar. (Moromenacho Oña, 2008)

2.3.2.1. Medidores de Caudal

Son elementos de medición de flujo que permiten proporcionar datos de control de manera inmediata. Deben contar con un indicador de transmisión magnética, lectura instantánea de flujo, por ejemplo, en litros por segundo, totalizador de volumen en m^3 y registro acumulado, con un margen de error del 2 %. Estos parámetros y unidades dependen de cada proceso.

2.3.2.2. Manómetros

Elementos de medición de la presión del agua, con lecturas en unidades del sistema métrico decimal (kg/cm^2), con diámetro de 75 mm y rango de presión 2%, debe contar con glicerina como elemento amortiguador de las variaciones bruscas de presión.

2.3.2.3. Rendimiento Volumétrico

Para una bomba su rendimiento volumétrico es el cociente que se obtiene al dividir el caudal de líquido que comprime la bomba y el que teóricamente debería comprimir, conforme a su geometría y a sus dimensiones, como por ejemplo el rendimiento volumétrico expresa las fugas de líquido que hay en la bomba durante el proceso de compresión. El rendimiento volumétrico se ve afectado también por la presión del fluido y la temperatura del mismo.

El rendimiento volumétrico es un factor muy importante en una bomba, pues a partir de él se puede analizar la capacidad de diseño y el estado de desgaste en que se encuentra el instrumento, de esta manera conforme el desgaste de los elementos aumenta, el rendimiento volumétrico disminuye.

2.3.2.4. Rendimiento Mecánico

El rendimiento mecánico mide las pérdidas de energía mecánica que se producen en una bomba, debido al rozamiento y fricción de los mecanismos internos. Al existir rozamiento y fricción de manera elevada es menor la energía invertida en aumentar la presión del líquido. En términos generales se puede afirmar que una bomba de bajo rendimiento mecánico es una bomba de desgaste acelerado, principalmente debido al rozamiento que sufre las partes en movimiento.

2.3.2.5. Rendimiento Global

El rendimiento global es el producto de los rendimientos volumétrico y mecánico. Se llama global porque mide la eficiencia general de la bomba en su función de bombear líquido a presión, con el aporte mínimo de energía al eje de la bomba. Así pues, el rendimiento global se expresa como el consumo de energía necesario para producir la presión hidráulica nominal del sistema.

Este rendimiento oscila entre el 80% y el 99% según el tipo de bomba, su construcción, tolerancias internas, y según las condiciones específicas de velocidad, presión, viscosidad del fluido, temperatura, etc.

2.3.2.6. Presión de Trabajo

Todos los fabricantes otorgan a sus bombas un valor denominado presión máxima de trabajo, algunos incluyen las presiones de rotura o la presión máxima intermitente. Estos valores los determina el fabricante en función de una duración razonable de la bomba trabajando en condiciones determinadas.

El valor de la presión máxima de trabajo suele calcularse para una vida de 10 mil horas, en algunos casos se especifican también las presiones máximas intermitentes o puntuales.

2.3.2.7. Tiempo de vida

La vida de una bomba viene determinada por el tiempo de trabajo desde el momento en que se instala hasta el momento en que su rendimiento volumétrico haya disminuido hasta un valor inaceptable, sin embargo, este punto difiere mucho en función de la aplicación y del nivel de contaminación del fluido con el que se está trabajando.

2.4. ELECTRO-VÁLVULAS

Una electroválvula también conocida como válvula solenoide de uso general es una válvula que abre o cierra el paso de un líquido en un circuito. La apertura y cierre de la válvula se efectúa a través de un campo magnético generado por una bobina en una base fija que atrae el émbolo. Existe una gran diversidad de electroválvulas, las cuales principalmente se clasifican según su uso o acción de apertura. (Altec, s.f.)



Figura 2.3 Electroválvula. (Aguamarket, Aguamarket, n.d.)

2.4.1. Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta son usadas para aislar la línea de impulsión de la bomba o la estación de bombeo en casos de mantenimiento, estas válvulas poseen una compuerta elastómera con cierre estanco por compresión de este, el cual es accionado por un volante a través de un vástago que puede ser de acero inoxidable.

El diseño de la válvula es tal que permite desmontar y retirar el obturador sin necesidad de separar el cuerpo de línea, permitiendo sustituir los elementos

que dan la estanqueidad al vástago estando la línea en servicio, sin necesidad de desmontar la válvula o el obturador.

Generalmente son usadas en las estaciones de bombeo, para diámetro de tuberías menores o iguales a 6 pulgadas (150 milímetros) y para presiones no mayores a 70 psi (50 metros). (Moromenacho Oña, 2008)

2.4.2. Válvulas de Retención o Check

Estas válvulas previenen el retorno de flujo en las tuberías, siendo muy usadas en los árboles de descarga de las estaciones de bombeo. Estas válvulas reaccionan automáticamente a los cambios de dirección de flujo de un líquido, cuentan además con amortiguaciones hidráulicos, neumática en el cierre y apertura, evitando así el golpe de ariete.

Estas válvulas pueden ser de cierre rápido o de cierre lento. Las válvulas de cierre lento se caracterizan por abrir lentamente y evitar la sobre presión al iniciar su operación, pueden estar equipadas con control de velocidad para la apertura y cierre. (Moromenacho Oña, 2008)

2.4.3. Válvulas Flotadoras

Se abren totalmente cuando el nivel alcanzado por un fluido es el mínimo y cierra cuando el fluido ha alcanzado el nivel máximo. Son usadas para controlar el ingreso de agua en los depósitos de almacenamiento, instalándose por encima de los mismos. (Moromenacho Oña, 2008)

2.4.4. Válvulas de Alivio

Estas válvulas tienen como función controlar los cambios bruscos (transitorios) de presiones al momento del arranque y parada de los equipos de

bombeo, asegurando que estos no sobrepasen los límites de trabajo del sistema y de esta manera evitar daños a las tuberías (roturas). (Moromenacho Oña, 2008) Estas válvulas son seleccionadas utilizando los siguientes parámetros:

- Máximo caudal de bombeo
- Velocidad máxima permisible
- El rango de regulación del piloto de válvula, debe estar dado para la presión máxima de la línea de impulsión 50 %
- La dimensión de la válvula debe ser proporcional al caudal de bombeo y a la velocidad del flujo

2.4.5. Electroválvula motorizada o proporcional

Las electroválvulas normales funcionan en 2 posiciones:

- Abierta
- Cerrada

Las electroválvulas motorizadas funcionan de manera progresiva mediante la variación de una señal eléctrica.

Tiene su principio de funcionamiento en el coeficiente de caudal K_v , el cual depende de la apertura (expresada por el desplazamiento o carrera “s” del núcleo al interior del tubo). En una electroválvula proporcional, la apertura es directamente proporcional a la corriente que circula en la bobina. La fuerza de atracción producida por la bobina aumenta con la corriente de entrada y la fuerza de reacción aumenta cuando el resorte superior esta comprimido:

- Si la corriente es inferior a la corriente mínima necesaria, la válvula permanece cerrada

- Si la corriente aumenta por encima de la corriente mínima necesaria, la fuerza de atracción magnética se vuelve superior a la fuerza del resorte, y el núcleo se desplaza, comprimiendo el resorte. El movimiento continúa hasta obtener una posición de equilibrio. Cualquier variación de la corriente desplaza el núcleo hasta que las dos fuerzas estén en equilibrio

Una electroválvula proporcional puede ser manejada de forma continua, variando la corriente de entrada hacia la bobina. Esta corriente se regula haciendo variar la tensión de alimentación de la bobina.

Las electroválvulas reaccionan muy rápidamente a las variaciones de la señal eléctrica de entrada, su tiempo de respuesta es generalmente del orden de 25 a 60 milisegundos. En caso de corte de corriente o interrupción de la señal eléctrica de entrada, la electroválvula se cierra inmediatamente, lo que representa un factor de seguridad muy importante.

Las señales de mando de una electroválvula por lo general se encuentran dentro de los siguientes rangos:

- 0 – 10 voltaje de corriente continua (VDC)
- 4 – 20 miliamperios (mA)
- 0 – 20 miliamperios (mA)

2.5. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

2.5.1. Sensor de nivel tipo Ultrasónico

Los sensores ultrasónicos tienen como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas acústicas.

Como se muestra en la Figura 2.4, los sensores emiten un pulso ultrasónico hacia el objeto a medir el mismo que refleja el pulso, al detectar el pulso reflejado se detiene un contador de tiempo que inicio su conteo al emitir su pulso. Este tiempo es utilizado para determinar la distancia en la cual se ubica el objeto medido.

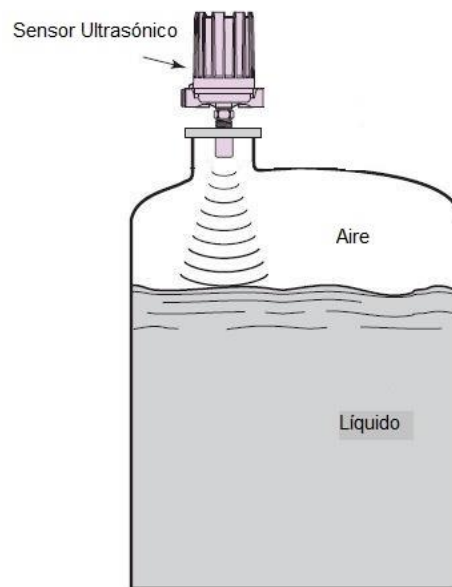


Figura 2.4 Principio de operación de un Sensor Ultrasónico. Fuente el Autor

2.5.2. Arrancadores suaves

Los arrancadores son equipos que ayudan a controlar y proteger los motores eléctricos. Sus funciones principales son: (Moromenacho Oña, 2008)

- Seccionamiento
- Protección contra cortocircuitos y sobrecarga
- Conmutación



Figura 2.5 Arrancador suave Sirius de la marca Siemens. (Siemens, 2011)

2.5.2.1. Seccionamiento

El seccionamiento ayuda a manipular equipos eléctricos con total seguridad, además de aislar eléctricamente circuitos de potencia y control.

2.5.2.2. Protección

Los arrancadores suaves ofrecen protección eléctrica y mecánica.

- Protecciones Eléctricas:
 - Sobretensión, baja tensión, ausencia de fases, sobre corrientes
 - Cortocircuito, corrientes mayores a la corriente de corte del contactor
- Protecciones Mecánicas:
 - Paros bruscos del rotor
 - Sobrecarga momentánea o prolongada

2.5.2.3. Conmutación

La conmutación ayuda a establecer o interrumpir el paso de corriente absorbida por el motor conectado al arrancador.

2.5.3. Contactador

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente en los circuitos de potencia y de mando. Este dispositivo posee la capacidad de interrumpir el paso de la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina.

El funcionamiento de un contactor se basa en dos posiciones conocidas como normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC) permaneciendo en una de ellas (posición en reposo) mientras el contactor no reciba ninguna señal de mando de reposo y cambiando de posición a través de la señal de accionamiento. (Hidalgo, s.f.)

En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.



Figura 2.6 Contactor trifásico marca Schneider. (Schneider Electric, s.f.)

2.5.4. Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico que funciona mediante una señal eléctrica que alimenta una bobina, la cual genera un campo magnético capaz de accionar un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar circuitos independientes. El circuito sobre el que actúa el relé sirve de control o de señalización. (París, 2003)

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse en un amplio sentido un amplificador eléctrico.



Figura 2.7 Relé industrial marca Finder. (Finder, 2018)

2.5.5. Relé Térmico

Los relés térmicos son dispositivos electromecánicos de protección. Protegen de manera fiable los motores en caso de que ocurra una sobretensión o un fallo de fase. (ABB, Relés Térmicos de Sobrecarga, s.f.)



Figura 2.8 Relé térmico de Sobrecarga. (ABB, Relés Térmicos de Sobrecarga, s.f.)

2.5.6. Guardamotor

Un guardamotor es un interruptor termomagnético, diseñado especialmente para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobrintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. Además están diseñados para ejercer hasta cuatro funciones: protección de sobrecargas, protección cortocircuitos, maniobras de cierre y apertura, y señalización. (ABB, Control y protección de motores, Contactores, relés de sobrecarga, 2016)



Figura 2.9 Guardamotor. (VIDRI, 2018)

2.5.7. Caudalímetro

Un caudalímetro es un instrumento de medida de caudal o gasto volumétrico de un fluido. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros. (ABB, Caudalímetro electromagnético, 2010)



Figura 2.10 Caudalímetro electromagnético. (Industry, Caudalímetro, s.f.)

2.5.8. Dispositivos diferenciales residuales

Un Dispositivo Diferencial Residual (DDR) es un elemento de protección asociado a un captador toroidal, por el cual circulan todos los conductores activos de la línea a proteger (fases y neutro). El objetivo de un DDR es detectar una corriente diferencial residual, la cual existe como producto de un defecto de aislamiento entre un conductor activo y una masa o la tierra. La corriente residual emprende un camino anormal para retornar a la fuente de alimentación. El diferencial está generalmente asociado a un aparato de corte (interruptor, interruptor automático y contactor), para realizar la apertura automática del circuito con defecto. (Schneider Electric)



Figura 2.11 Dispositivo diferencial residual de la marca Schneider.
(Schneider)

2.6. INTERFACES DE OPERADOR

Una interfaz de operador es el medio por el cual una persona interactúa con una máquina, dispositivo o herramienta compleja. La interfaz proporciona los medios de entrada (control del sistema eléctrico, electrónico, entre otros) y salida (informe al usuario) para controlar y evaluar el estado de un sistema.

La interfaz de operador para un sistema de computación de un proceso mecánico, un vehículo o una instalación industrial se llama interfaz hombre máquina (Human Machine Interface o HMI), mientras que otro tipo de interfaz de operador son denominadas terminales de operador.

Un terminal de operador es un dispositivo electrónico que cumple las mismas funciones (controlar el proceso y obtener datos en una pantalla) que un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition o SCADA). Estas terminales se utilizan comúnmente para un control en el sitio del proceso. (Pérez, 2014)

2.7. SISTEMAS DE INTERBLOQUEO

Los procesos de un sistema no solo son independientes, sino que compiten en el uso exclusivo de recursos, se comunican y se sincronizan entre sí. El sistema operativo debe encargarse de asegurar que estos procesos se lleven a cabo mediante una exclusión mutua, de lo contrario pueden entrar en conflicto entre sí, causando un bloqueo indefinido. (García, Pérez, & Carretero, 2002)

El interbloqueo surge debido a que se produce un conflicto entre las necesidades de los procesos y el recurso que necesita cada proceso lo posee otro. Los recursos existentes en un sistema se clasifican de la siguiente manera:

- **Recursos reutilizables:** este recurso es independiente de su utilización, es decir, después que un proceso lo utiliza, este queda disponible para otros procesos.
- **Recursos consumibles:** se caracterizan por que dejan de existir una vez que los usa.
- **Recursos compartidos o exclusivos:** estos recursos no se ven afectados por interbloqueos ya que los procesos que quieran usarlos pueden hacerlo inmediatamente sin posibilidad de quedarse bloqueados.
- **Recursos con un único ejemplar o con múltiples:** Una solicitud de este recurso por parte de un proceso podría satisfacerse con cualquier ejemplar del mismo.

2.7.1. Prevención de Interbloqueo

La prevención intenta eliminar el problema de interbloqueo de raíz, asegurando que nunca se pueda producir.

Para se origine un interbloqueo se debe cumplir cuatro condiciones (exclusión mutua, retención y espera, sin expropiación, espera circular), bastaría únicamente con asegurar que una de estas condiciones no se pueda cumplir para eliminar la posible existencia de interbloques en el sistema. A continuación, se analizarán cada una de estas cuatro condiciones con el fin de establecer estrategias que aseguren que no pueden cumplirse.

2.7.1.1. Exclusión mutua

Esta condición establece que los recursos implicados en el mismo deben de ser de uso exclusivo. Esta condición es imposible de evitar ya que existen recursos que por definición se presentan como exclusivos tal es el caso de la impresora que solo puede ser utilizada por un proceso a la vez o el sentido de giro de los motores.

2.7.1.2. Retención y espera

En este caso tiene que haber procesos que tenga asignado recursos y estén bloqueados en la espera de otro recurso. Una primera estrategia para evitar que esta condición se presente, es asegurar que todos los procesos hagan la solicitud de todos los recursos necesarios, desde el principio de su ejecución. Esta estrategia asegura que el proceso no se bloquea en la espera de algún recurso debido a que puede hacer uso de todos los que necesite desde el principio. Esta estrategia conlleva una tasa muy baja de utilización de recursos debido a que siempre existen recursos bloqueados por los procesos o en espera de su utilización, así como también retrasa el inicio de los procesos al tener que esperar por la liberación de todos los recursos.

2.7.1.3. Sin expropiación

La tercera condición específica que a un proceso no se pueden expropiar los recursos que ya tiene asignados, hasta que el mismo los libere voluntariamente. Para esta condición no existe una alternativa viable debido a que existen recursos que en ningún momento pueden ser retirados a un proceso mientras estén en ejecución. Al igual que en la exclusión mutua un ejemplo es la impresora.

2.7.1.4. Espera circular

La última condición establece la necesidad de que exista una lista circular de dependencias entre procesos, que un proceso A esté esperando un recurso que tiene asignado el proceso B y a su vez el proceso B esté esperando un recurso que tiene asignado el proceso A.

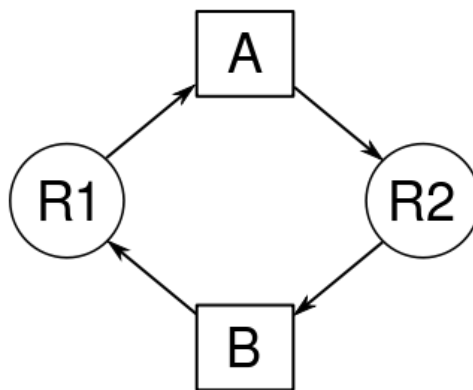


Figura 2.12 Espera circular. Fuente el Autor

2.7.2. Detección de Interbloqueo

La detección del interbloqueo es el proceso de determinar si realmente existe un interbloqueo e identificar los procesos y recursos implicados en él. Se

puede detectar un interbloqueo monitoreando cada cierto tiempo el estado de los recursos. Cada vez que se solicita o se devuelve un recurso, se actualiza el estado de los recursos y se hace una verificación para observar si existe algún ciclo.

La detección está basada en suponer que un interbloqueo no se presente y que los recursos del sistema que han sido asignados, se liberan en el momento que otro proceso lo requiera.

Una comprobación para el interbloqueo puede hacerse con igual o menor frecuencia que cada solicitud de recursos, dependiendo de qué tan probable es que ocurra un interbloqueo. Comprobar cada solicitud de recursos tiene dos ventajas. Primera conduce a la detección temprana y el algoritmo es simple. Segunda las comprobaciones frecuentes consumen un tiempo considerable del procesador.

El empleo de algoritmos de detección de interbloqueo implica cierto gasto extra (tiempo, dinero, entre otras) durante la ejecución. Así pues, se presenta de nuevo la cuestión de justificación de costos, tan habitual en los sistemas operativos. Los algoritmos de detección de interbloqueo determinan por lo general si existe una espera circular.

2.7.3. Evitar Interbloqueo

Una vez de restringido el orden en que los procesos deben solicitar recursos se debe conocer si es seguro otorgar dichos recursos. Es decir, si se presentan las condiciones suficientes para un interbloqueo es posible evitarlos por medio de una restricción en la asignación de los procesos para tratar de buscar estados seguros. Estas restricciones aseguran que al menos una de las condiciones necesarias para el interbloqueo no puedan presentarse y por lo tanto, tampoco el interbloqueo.



Otro método para evitar los interbloqueos consiste en requerir información adicional sobre cómo se solicitan los recursos. Esta información puede ser:

- La necesidad máxima de recursos de los procesos que se está ejecutando.
- La asignación actual de recursos a procesos.
- La cantidad actual de instancias libres de cada recurso.

En base al orden en que se solicitan los recursos, se puede tomar la decisión de ejecutar o no el proceso. Por lo tanto, la evitación del interbloqueo solo anticipa la posibilidad de interbloqueos, viene relacionado los estados seguros e inseguros de los procesos en los sistemas operativos.

Un estado de asignación de recursos se considera seguro si en él no hay posibilidad de interbloqueo. Para que un estado sea seguro, es necesario que los procesos formen una secuencia segura. Una secuencia segura es una ordenación de los procesos de modo que los recursos que aún pueden pedir cualquier procedimiento deben ser otorgados con los recursos libres más los recursos retenidos por los demás. Con base en ello, cuando un proceso realice una solicitud de recursos, el sistema se lo concede solo en el caso de que la solicitud mantenga al sistema en un estado seguro. Un estado inseguro es aquel en el que pueden presentarse un interbloqueo.

Un estado seguro es una situación tal, en la que todos los procesos son capaces de terminar en algún momento. Un estado inseguro es aquel en el cual puede presentarse un bloqueo mutuo.

2.8. CONTROLADORES PROGRAMABLES

2.8.1. Sistemas de Control

Los sistemas de control fueron desarrollados con el objetivo de manejar máquinas o procesos reduciendo las probabilidades de fallos y aumentando la eficiencia de los procedimientos. Los sistemas de control se caracterizan por ser: (Caro Ramirez, 2011)

- **A lazo abierto:** son sistemas que mediante una variable de entrada se obtiene una respuesta a una variable de salida que actuará sin importar la existencia de perturbaciones en el sistema, por lo que la salida no se mide. Por este motivo solo se utiliza en sistemas simples. (Perez, 2007)

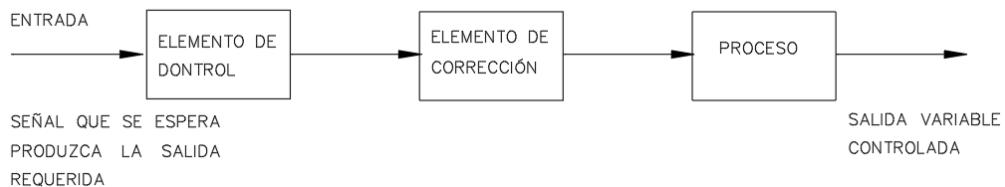


Figura 2.13 Sistema de control de lazo abierto. Fuente el Autor

- **A lazo cerrado:** en estos sistemas la señal de salida y entrada están relacionadas por un bucle de retroalimentación, es decir, la señal de salida influye sobre la entrada, debido a que un sensor detecta las perturbaciones o cambios producidos en la salida. Los sistemas de control a lazo cerrado pueden operar automáticamente, sin la intervención humana. (Perez, 2007)

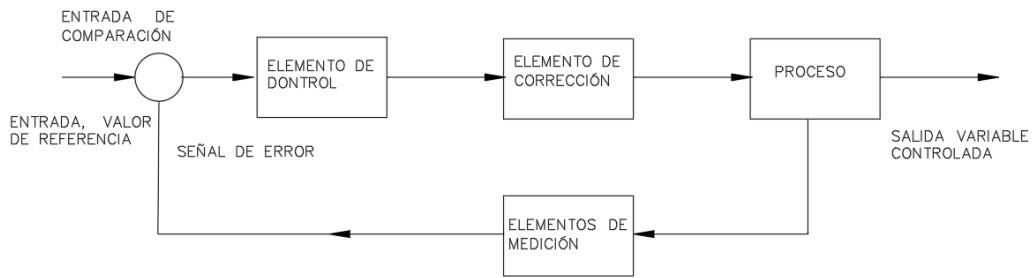


Figura 2.14 Sistema de control de lazo cerrado. Fuente el Autor

2.8.2. Teoría Básica Sobre los Controladores Lógicos Programables

Un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller o PLC) es un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable destinada para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas como lógica, secuencia, registró, control de tiempo, conteo y operaciones aritméticas a través de módulos de entrada y salida digitales y/o analógicos, controlando la operación de máquinas o procesos.



Figura 2.15 PLC S7-1200 marca Siemens. (Siemens, Manual del Sistema SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, 2009)

Los elementos que conforman la estructura de un PLC son: (Estrada & Gutiérrez, 2012)

- Fuente de alimentación
- Unidad Central de Procesamiento (CPU)
- Módulos de entrada y salida
- Terminal de programación
- Periféricos

2.8.2.1. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es la encargada de convertir la tensión de red en tensión de corriente continua (generalmente 24 VDC) para ser aplicada en los circuitos electrónicos.

2.8.2.2. Unidad Central de Procesamiento

Se encarga de procesar las actividades de los programas para el PLC, se desglosa en dos componentes:

- **Procesador:** En él se realizan operaciones de tipo lógico, aritmético y de transferencia de información dentro del PLC.
- **Unidad de memoria:** Aloja el programa a usarse en el control del proceso o máquina. (Caro Ramirez, 2011)

2.8.2.3. Circuitos de interfaz para los dispositivos de campo (Entradas / Salidas)

Los módulos de entrada son periféricas donde se conectan dispositivos generadores de señales tales como interruptores, sensores y pulsadores. La información recibida es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación encargada. (Estrada & Gutiérrez, 2012)

Los módulos de salida son los encargados de activar o desactivar actuadores como relevadores, lámparas, motores, válvulas, etc.

2.8.3. Clasificación: Rango del PLC

El PLC se puede clasificar por la cantidad de señales de entrada / salida que permite manejar, de esto derivan los siguientes cinco grupos diferentes:

- Micro PLC: de 0 a 32 señales.
 - Pequeño PLC: de 32 a 128 señales.
 - Mediano PLC: de 64 a 1024 señales.
 - Grande PLC: de 512 a 4096 señales.
 - Muy Grande PLC: de 2048 a 8192 señales.
-

Cuando el número de señales de un grupo coincide con otro, se debe escoger que tipo de PLC usar, discriminando entre: tamaño de la memoria, previsiones de expansión lenguaje de programación, funciones de software, tipo de señales, niveles de tensión, precio, etc. (Caro Ramirez, 2011)

2.9. SISTEMAS DE CONTROL

Existen dos tipos de sistemas de control, la escogencia de alguno de ellos depende de la complejidad del sistema.

- **Sistema de Control Centralizado:** donde un controlador recibe toda la información de un sistema y luego ejecuta acciones.
- **Sistema de Control Distribuido:** también conocido como control jerárquico, consiste en que un controlador recoja información de un proceso local o un nodo del sistema, toma decisiones sobre él y finalmente envía esta información a un nivel superior de supervisión. A su vez el controlador de control local se puede comunicar con otros controladores de su mismo nivel de supervisión. (Caro Ramirez, 2011)

2.9.1. Topología de redes de área local

Al presentarse procesos de áreas locales, estos poseen ciertas características entre las que se incluye la topología de la red la cual varía dependiendo del rendimiento, costo de implementación, fiabilidad, protocolos de comunicación, interconexiones físicas, tasas de transmisión, etc. A continuación, se detalla las topologías de red existentes. (Caro Ramirez, 2011)

- **Topología Estrella:** Esta configuración consiste en conectar varios terminales (controladores y otros elementos de monitoreo como por ejemplo computadoras) a un punto central.

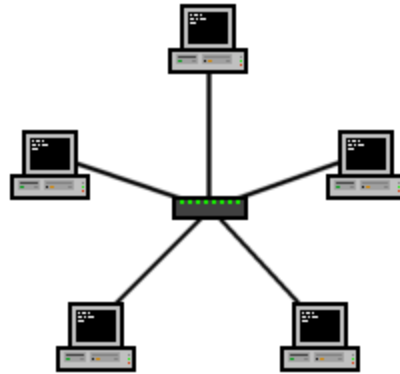


Figura 2.16 Topología en estrella. (Alvarez, 2018)

- **Topología Bus:** Esta configuración posee una línea troncal principal en la que se conectan los diferentes controladores o elementos de control. En contraste con la topología estrella, la comunicación entre dos controladores se puede dar sin tener que comunicarse con el controlador generador de la red troncal.

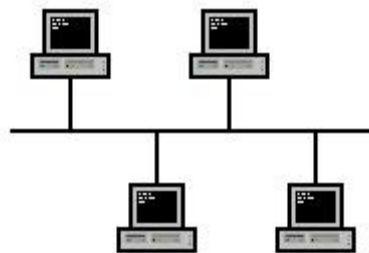


Figura 2.17 Topología bus. (Alvarez, 2018)

- **Topología Anillo:** Consiste en conectar varios terminales en serie, uniendo el primer terminal con el último y así cerrar un circuito en forma de anillo, si llega a fallar algún elemento del anillo, la comunicación quedaría en topología Bus.

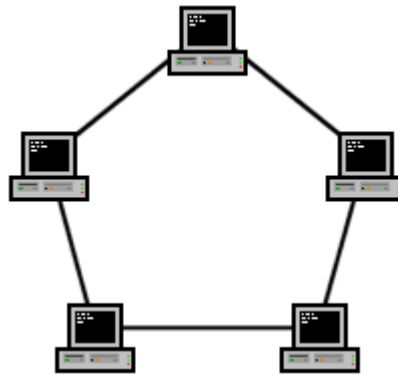


Figura 2.18 Topología anillo. (Alvarez, 2018)

2.9.2. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación, son un grupo de reglas, que permiten el enlace comunicacional entre distintos dispositivos que conforman una red.

Una vez determinado el tipo de sistema de control se define conjuntamente la topología de la red y su protocolo de comunicación. Este último dependerá de los equipos de control a utilizar, cantidad y del fabricante, como las distancias de separación entre controladores (nodos) y rapidez de la comunicación. (Caro Ramirez, 2011)

2.10. SUPERVISOR DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

El objeto de la automatización industrial es gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin que sea necesaria la intervención humana. Para lograr este fin se requiere de un software conocido como SCADA, el mismo que puede realizar las siguientes acciones:

- Generar históricos de las señales de la planta
- Creación de reportes e informes, avisos y documentación general

- Ejecución de programas que modifican la ley de mando del proceso o incluso el programa entero del PLC, bajo ciertas restricciones
- Adquisición de datos, procesamiento y almacenamiento de información
- Observar desde interfaces HMI la evolución de las variables medidas en el proceso

El SCADA tiene acceso a la planta mediante comunicaciones digitales con el PLC, reguladores de planta y dispositivos de campo. Es importante que este software sea de arquitectura abierta, con capacidad de crecer y adaptarse a las necesidades cambiantes del proceso, la comunicación debe ser eficaz, transparente, sencillo de instalar y trabajar en sistemas conocidos y amigables (Microsoft Windows o Linux). (Caro Ramirez, 2011)

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL EQUIPAMIENTO PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE

3.1. INTRODUCCIÓN

La automatización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Cristóbal, requiere implementar un sistema de control y monitoreo para las bombas localizadas en la planta, además de configurar todos los parámetros de las electroválvulas, medidores de flujo, presión y otros instrumentos presentes en el sistema.

La planta de tratamiento de agua potable mantiene siempre un nivel de líquido aceptable en el tanque de distribución ubicado en el barrio de Chala para lo cual, se requiere un control de nivel mediante la instalación de un medidor ultrasónico en el tanque de almacenamiento de San Cristóbal. Los datos de medición se transmiten a la sala de control para determinar la operación de los equipos de bombeo.

Para el diseño del sistema de automatización, se requiere de los siguientes datos iniciales:

- caudales de distribución desde el tanque
- nivel continuo del tanque de distribución
- estado de operación del sistema de comunicación.

Estos datos son registrados en tiempo real en la planta de tratamiento, específicamente en el panel de operador, las fallas en este punto quedan registradas en el histórico cronológico de eventos del panel operador, la transmisión de datos se realiza por medio de cables previstos, los equipos de control adicionales son alojados en un gabinete metálico con un grado de protección IP 65 (refiérase al ANEXO 4.12.) instalado en el interior de la sala de control y provisto de todas las protecciones eléctricas necesarias.

En todos los modos de operación la acción de cualquier elemento de protección de corriente, voltaje, nivel de presión, nivel de agua y caudal, suspende de forma inmediata el trabajo del equipo de bombeo respectivo, además, la operación de cualquier equipo se suspende de forma instantánea al accionar un pulsante de emergencia.

La coordinación de protecciones se realiza de manera que se activen las protecciones propias del arrancador (protección para arranque de la bomba) luego de las protecciones independientes (relés térmicos, disyuntor o breakers, etc.).

Para la instalación de la sala de control se debe considerar las ordenanzas municipales, instalación de luz baliza, sistema de pararrayos, malla de puesta a tierra.

El equipamiento mecánico, eléctrico y electrónico de esta estación de bombeo se realiza utilizando la tecnología disponible, garantizando así, la protección de los equipos, la continuidad en la operación de las unidades instaladas y el manteniendo en forma permanente.

Para la operación óptima de la estación se debe seguir ciertos pasos previos al arranque del proceso de potabilización. Estos pasos son:

- Examinar la disposición de las válvulas de la estación
- Revisar el estado de las alarmas para asegurar sus condiciones de funcionamiento
- Colocar el conmutador selector de la bomba en forma local o remota según el operador lo requiera de la bomba
- Verificar si existe el nivel de agua correcto para iniciar el bombeo hacia el tanque de distribución
- Verificar si la presión del líquido es la correcta para el funcionamiento

3.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN

La estación de bombeo El Descanso (refiérase a la Figura 3.1) forma parte del sistema de Agua Potable de Paute, la cual se encuentra ubicada en la orilla del río Paute a unos pocos metros del redondel de El Descanso. La estación abastece de agua a la planta de tratamiento de San Cristóbal (ubicada en la parroquia del mismo nombre, cuyas coordenadas geográficas se pueden ver en la Tabla 3.1). En la Figura 3.2 se puede observar la ubicación de estas dos etapas.

Tabla 3.1 Coordenadas geográficas de la Planta de Tratamiento de Agua de San Cristóbal. Fuente el Autor

Coordenadas	
Sur	2°50'06.6"
Oeste	78°52'30.1"



Figura 3.1 Estación de Bombeo El Descanso. Fuente el Autor



Figura 3.2 Ubicación del Sistema de Potabilización de San Cristóbal Paute. (Google maps, 2018)

La estación de bombeo ocupa un área de aproximadamente 9 m², mientras que la planta de tratamiento de agua potable 1188 m². La tubería de conducción entre la estación de bombeo y la planta de tratamiento tiene un diámetro nominal de 6 pulgadas y una longitud de aproximadamente 2 kilómetros, la tubería entre la planta de tratamiento y la estación de distribución de la Chala tiene diámetro nominal de 3 pulgadas y una longitud aproximada de 1 kilómetro (refiérase al ANEXO 3.1.).

En busca de mejorar la operación de la planta de tratamiento de agua potable de San Cristóbal, todo el equipo montado en el lugar requiere que se lo ponga en operación automática.

La propuesta con el diseño de automatización de la planta de tratamiento de agua es modernizar y automatizar sus diferentes sistemas, siendo de suma importancia, debido a que se busca controlar todo el proceso de potabilización de forma local desde la estación central.

3.2.1. Proceso de Potabilización

A continuación, se presentan las generalidades técnicas de la planta de potabilización de agua de San Cristóbal.

3.2.1.1. Captación

El sistema de potabilización de San Cristóbal se abastece del Rio Paute, a través de la estación de bombeo de El Descanso, la cual realiza la captación del líquido a una profundidad aproximada de 150 m.

3.2.1.2. Conducción – Aireación

Tras la captación, el agua es bombeada hacia la planta de tratamiento a través de una tubería de hierro de 6 pulgadas. A su llegada el líquido posee un caudal de 6 litros por segundo. Como se muestra en la Figura 3.3 el tubo se encuentra perforado a su llegada para que el agua pueda fluir hacia abajo cayendo directamente en las bandejas de aireación.



Figura 3.3 Tubo de conducción de agua cruda. Fuente el Autor

Tras la oxigenación del agua en los filtros de aireación, esta es conducida hacia un estanque donde se mezcla con una dosificación de insumos químicos (cloro, sulfato y polímero). Previo a la mezcla, los insumos químicos son cargados en tres depósitos plásticos (recipientes móviles) de 1000 litros cada uno (refiérase a la Figura 3.4.). El control del nivel de los químicos se logra mediante la manipulación de válvulas manuales de media pulgada conectadas a los depósitos.



Figura 3.4 Dosificación de insumos químicos (tanque A, B y C). Fuente el Autor

3.2.1.3. Floculación

Una vez que el agua se mezcla con los químicos sigue el proceso de coagulación – floculación (refiérase a la Figura 3.5), el cual es una reacción química que facilita la decantación y posterior filtrado de partículas en suspensión y partículas coloidales.

- La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí
- La floculación es la aglomeración de las partículas desestabilizadoras en microflóculos y después en los flóculos (grumos) más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los sedimentadores



Figura 3.5 Floculadores. Fuente el Autor

3.2.1.4. Sedimentación

Tras la floculación, el agua sigue hacia los sedimentadores, donde los materiales sólidos transportados por la corriente de agua se depositan en el fondo, debido al efecto de la gravedad siendo este proceso la eliminación de las últimas partículas en suspensión. (refiérase a la Figura 3.6)



Figura 3.6 Sedimentadores. Fuente el Autor

3.2.1.5. Filtración

Seguido de la sedimentación el agua pasa por medio de una tubería de 3 pulgadas hacia dos piscinas conocidas como filtros de arena. Cuando las piscinas están llenas o se va a lavar los floculadores y los sedimentadores (una vez por semana) se utiliza dos válvulas de paso (refiérase a la Figura 3.7) las cuales desvían el agua hacia el alcantarillado para así dar el mantenimiento correspondiente, además cabe recalcar que antes del proceso de mantenimiento el tanque de reserva debe estar lleno para evitar la escases de agua en el sector mientras se da mantenimiento.

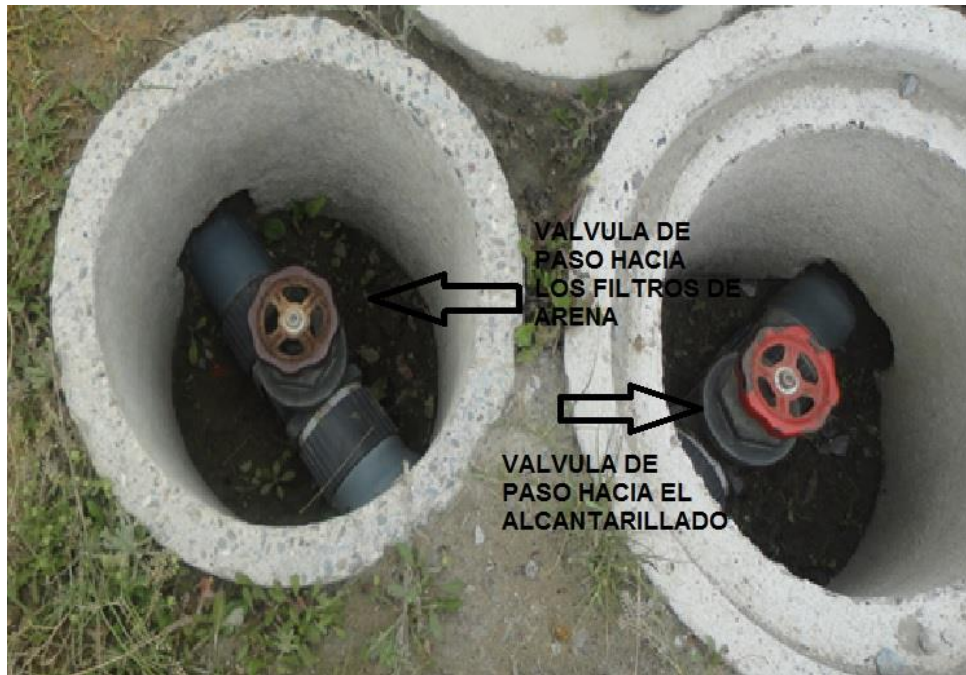


Figura 3.7 Válvulas de paso de 3 pulgadas. Fuente el Autor



Figura 3.8 Filtros de arena. Fuente el Autor

Tras finalizar el proceso de los filtros de arena, el agua es trasladada hacia un reservorio plástico (recipiente movable "tanque D") de 1000 litros, en donde existe un sensor de nivel tipo boya para controlar el encendido de la bomba

centrífuga, activándose cuando el reservorio contiene la mitad de su capacidad y desactivándose cuando el nivel de agua sea menor a 50 litros. Por medio de una bomba centrífuga de agua mono bloque marca Pedrollo de potencia de 7.5 hp trifásica, el agua del reservorio es conducida hacia los filtros ablandadores y filtros de carbón activo.

En la Tabla 3.2 se tiene las dimensiones de los filtros de arena las cuales son las mismas para los dos filtros, debido que son idénticos.

Tabla 3.2 Dimensiones de los filtros de arena. Fuente el Autor

FILTROS DE ARENA		
DIMENSIONES	MEDIAS	UNIDADES
ALTO	1.1	m
ANCHO	7.54	m
LARGO	7.97	m
VOLUMEN	66.103	m ³

Cuando los filtros de arena se encuentran tapados es accionada una válvula que impide el paso de agua hacia el reservorio (tanque D) esto con el propósito de dar mantenimiento a esta etapa. Además, si los filtros (ablandadores tanque F y G y de carbón activo tanque E y H) no se encuentran operando, se activa un proceso en donde el agua es enviada directamente hacia el reservorio final (tanque I).



Figura 3.9 Reservorio de 1000 litros (tanque D). Fuente el Autor



Figura 3.10 Bomba centrífuga mono bloque marca Pedrollo utilizada para bombear el agua disponible en el reservorio de 1000 litros. Fuente el Autor



Figura 3.11 Filtros ablandadores y filtros de carbón activo (tanque E, F, G, H). Fuente el Autor

El agua tratada en los diferentes filtros (carbón activo y ablandador) es enviada hacia el reservorio principal de agua potable (refiérase a la Tabla 3.3), en el cual una vez que se alcanza un nivel mínimo de agua requerido, se activa la bomba centrífuga vertical marca GOULDS de potencia de 25 hp y tensión de servicio de 220 VAC la misma que es la encargada de bombear el agua hacia la planta de distribución, dando así por finalizado el proceso de potabilización (refiérase al ANEXO 3.2.).



Figura 3.12 Reservorio de agua potable (tanque I). Fuente el Autor

Tabla 3.3 Medidas del reservorio de agua potable. Fuente el Autor

RESERVORIO PRINCIPAL		
DIMENSIONES	MEDIDAS	UNIDADES
ALTO	2.6	m
RADIO	7	m
VOLUMEN	400.036	m

3.2.2. Tensión de alimentación

La planta de tratamiento de agua potable cuenta con un transformador trifásico No.20490P de 30 KVA, el cual abastece la carga instalada (refiérase a la Tabla 3.4) que actualmente se encuentra en la planta de tratamiento de agua potable.

**Figura 3.13 Transformador trifásico de 30 KVA.** Fuente el Autor

La planta de tratamiento funciona actualmente funciona de forma manual (apertura y cierre de válvulas manualmente), para todo el procedimiento y consta de dos bombas de agua con una carga instalada de 24.1 KW con lo que el transformador está siendo ocupado un 80 % de su capacidad.

Tabla 3.4 Carga Instalada. Fuente el Autor

EQUIPO	CARGA (KW)
BOMBA GOULDS	5.5
BOMBA PEDROLLO	18.642
TOTAL	24.142

3.3. VARIABLES DEL PROCESO

Las variables de proceso a tomar en cuenta para llevar a cabo el diseño del sistema de automatización industrial para la planta de tratamiento de agua potable son las siguientes:

- Caudal de agua
- Nivel de agua
- Presión de agua
- Corriente de operación
- Tensión de operación
- Potencia

3.3.1. Caudal de agua

El caudal corresponde a una cantidad de agua que pasa por un lugar (canal, tubería, etc.) en una cierta cantidad de tiempo, que corresponde a un volumen de agua (litros, metros cúbicos, etc.), por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.). (U., 2000)

3.3.2. Nivel de agua

El control de nivel de agua en los tanques o reservorios tiene la finalidad de garantizar la correcta operación de los mismos. En general los controles de nivel de agua tienen la doble función de garantizar la seguridad de las estructuras, el rendimiento óptimo de los equipos de bombeo, impedir el desperdicio de agua y el bombeo en vacío, evitando así cualquier tipo de fallo o anomalía.

3.3.3. Presión de agua

Técnicamente, por presión se entiende la aplicación de una fuerza sobre una superficie. Así, una misma fuerza puede producir mayor o menor presión si la superficie sobre la que se aplica es de menor o mayor dimensión.

3.3.4. Corriente de operación

Los equipos de instrumentación son sensibles a valores mínimos de corriente o emiten valores mínimos de corriente (4 – 20 mA), los cuales se utilizan para realizar una tarea específica, por ejemplo, medición de nivel de agua, presión, caudal.

3.3.5. Tensión de operación

Existen relés, luz piloto, válvulas motorizadas, módulos de expansión del PLC, que operan a 24 VDC debido a que las válvulas motorizadas se energizan a ese nivel de tensión, de igual manera hay relés, luz piloto, electroválvulas que operan a 110 VAC y relés, luz piloto, electroválvulas, contactor, arrancador que operan a 220 VAC para el circuito de fuerza de los equipos.

Adicional a ello los equipos de instrumentación y el PLC emiten o reciben señales eléctricas con un valor de 0 a 10 VDC para realizar algún trabajo o función.

3.3.6. Potencia eléctrica

Es la rapidez con la que se realiza un trabajo. Se tiene que conocer la potencia que consume cada uno de los equipos eléctricos para dimensionar el calibre de los conductores en los sistemas de mando y fuerza, así como la dimensión de las protecciones.

3.4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE PROCESO Y DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN

3.4.1. Caudal de agua

El caudal de agua corresponde a un volumen de agua por unidad de tiempo, se utilizan las siguientes unidades de medida:

- Litros por segundo = L/seg
- Litros por minuto = L/min
- Litros por hora = L/h
- Metros cúbicos por hora = m³/h

Dentro del diseño para la automatización de la planta es necesario conocer el caudal de agua a la llegada de planta de tratamiento, debido a que esto significa que la planta de bombeo está funcionando correctamente si el caudal de llegada es el adecuado, caso contrario envía una señal de aviso que algo está pasando en la zona de bombeo, con las tuberías o con la bomba de agua.

De igual manera, es necesario conocer el caudal de agua a la salida a los filtros de arena, ya que el mismo es un indicador para determinar si los filtros de arena necesitan un retrolavado o algún tipo de mantenimiento.

Finalmente se debe conocer el caudal de salida desde la planta de tratamiento para estimar el tiempo de llenado del tanque de distribución ubicado en la planta de Chala.

Mediante la medición de caudal se puede estimar la cantidad de agua que se va purificando en la planta de tratamiento y se puede conocer el caudal de ingreso y de salida de planta el cual debe ser el mismo más las pérdidas que se produce cuando se da mantenimiento a la planta.

En la Tabla 3.5 se tiene el valor de caudal en litros/segundo para varios diámetros de tuberías.

3.4.2. Nivel de agua

El control del nivel mínimo del agua tiene la función de garantizar el buen funcionamiento del sistema evitando el accionamiento de las bombas en vacío o generando una alerta si algún tanque está lleno para impedir el desperdicio del agua tratada, además por medio del nivel de agua se puede estimar el volumen de agua con el que se cuenta en cada etapa y así resguardar la seguridad de las etapas del proceso de potabilización en donde se depende de cierto nivel de agua (tanque lleno, medio o al 10 % de sus capacidad) para tomar alguna acción.

Tabla 3.5 Caudal en litros/segundo (L/s) para varios diámetros de tuberías.
Fuente el Autor

Distancia de la trayectoria horizontal en cm (x)	Diámetro de la tubería en pulgadas						
	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
5	0.4	1	1.8	2.7	4	7	11
7.5	0.7	1.5	2.6	4.1	5.1	10.6	16.5
10	0.9	2	3.5	5.5	7.9	14.1	22
12.5	1.1	2.5	4.4	6.9	9.9	17.6	27.4
15	1.3	3	5.3	8.3	11.8	21.2	33
17.5	1.5	3.5	6.2	9.6	13.9	24.6	38.6
20	1.8	4	7	11	15.8	28.2	44
22.5	2	4.4	7.9	12.4	17.8	31.6	49.5
25	2.2	4.9	8.8	13.8	19.8	35.2	55
27.5	2.4	5.4	9.7	15.1	21.8	38.6	60.5
30	2.6	5.9	10.6	16.5	23.7	42.3	66
35	3	6.9	12.4	19.2	27.7	49.4	77
40	3.5	7.9	14.2	22	31.7	56.4	88
45	4	8.9	15.7	24.8	35.7	63.5	99
50	4.4	9.9	17.7	27.5	39.6	70.5	110
55	4.8	10.9	19.4	30.2	43.6	77.5	121
60	5.3	11.9	21.1	33	47.5	84.5	132

3.4.3. Presión de agua

El agua ejerce un empuje o presión sobre la pared del tubo o depósito que la contiene. Las unidades en las que se puede expresar la presión se presentan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Equivalencia entre las unidades de presión. Fuente el Autor

Unidad de Presión	Equivalencia en metros de columna de agua
1 Atmosfera	10.033 \approx 10
1 bar	9.88
1 psi o lb/pul ²	0.7
1 kg/cm ²	10

Se debe conocer la presión de salida del agua de la planta de tratamiento, ya que es un indicador para conocer si está llegando agua a la planta de distribución, además si la presión es menor se advierte que existe alguna fuga o daño en algún trayecto de la tubería, también advierte si la bomba de agua está con alguna falla en algún impulsor lo que impide que la bomba genere la presión deseada y necesaria para poder impulsar el agua hacia su destino final.

3.4.4. Corriente de operación

Es la transferencia de valores de medición mediante señales eléctricas de corriente, la misma que ofrece una mayor resistencia contra efectos electromagnéticos a diferencia de las señales de tensión.

Esta señal de corriente de 4 a 20 mA se aplica a menudo en la transferencia de valores como ejemplo para este proyecto específico de presión, nivel y caudal. Un transmisor por ejemplo puede convertir el rango de 0 a 10 bares en una señal de 4 a 20 mA, su principio de funcionamiento se basa en una bobina. El conexionado habitual por ser el más económico es el de dos hilos. Una ruptura del cable se detecta al bajar la corriente por debajo de 3.8 mA y un cortocircuito provoca una subida por encima de 20.5 mA.

3.4.5. Tensión de operación

Es una señal muy frecuente en la automatización industrial con valores de 0 - 10 VDC, 1 - 5 VDC y 1 - 10 VDC, las ventajas residen en el fácil manejo y en la detección de errores mediante un multímetro.

Sin embargo, las perturbaciones electromagnéticas se manifiestan en variaciones de tensión provocando errores de medición. Por lo tanto, se deben utilizar cables apantallados para la protección. Las señales de 0 - 10 VDC, 1 - 5 VDC, 1 - 10 VDC, son muy frecuentes como valores nominales de motores, pero también se aplican en sensores de nivel, caudal y presión.

3.4.6. Carga Instalada en la Planta

Se debe conocer la potencia de cada equipo eléctrico a ser utilizado en la planta de tratamiento de agua para así saber si el transformador es capaz abastecer toda la carga instalada mediante un cuadro de cargas.

Se debe conocer la potencia eléctrica de cada equipo para poder dimensionar el calibre de los conductores a ser utilizados.

Además de ello para balancear las cargas que se suman al sistema trifásico y no sobrecargar ninguna línea de corriente. Se debe tener el sistema trifásico equilibrado.

3.4.7. Instrumentación

La instrumentación electrónica se aplica en la medición y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y de otro tipo, a partir de las cuales se realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

Para su funcionamiento la instrumentación se divide en cuatro etapas:

- *Los sensores:* Son aquellos que transforman la magnitud de una variable física que se desea medir a una señal eléctrica.
- *Acondicionamiento:* Se acondiciona los niveles de la señal de salida de un sensor. Esto se debe a que en la mayoría de los casos la señal que emiten los equipos de medición suele no ser adecuada para su procesamiento. En general los sensores entregan señales muy pequeñas y vulnerables a ruido, por lo que el acondicionamiento generalmente consiste de dos subetapas, la etapa de amplificación y la etapa de filtrado, estas se realizan a través de un amplificador operacional propio de cada equipo de instrumentación, como por ejemplo un transmisor de presión.
- *Digitalización:* La digitalización proporciona un código digital (binario) equivalente a la señal de entrada proveniente de la etapa de acondicionamiento. Dicho código permite el procesamiento de las señales a través de sistemas o computadoras. (García, 2013)
- *Fuente de alimentación:* se prefiere transductores con excitación externa por ejemplo los transductores de resistencia, capacitancia o inductancia, a diferencia de los autoexcitados como es el generador de bobina móvil, por cuanto son susceptibles de errores mayores cuando hay fallas en los suministros de energía.

3.4.7.1. Caudalímetro

Son instrumentos para la medición de caudal, los mismos que son colocados en tres puntos estratégicos de las tuberías como son a la llegada del agua en la planta de tratamiento, a la salida de los filtros de arena y de la planta tratamiento.

Este instrumento nos indica que si el caudal de llegada es menor al normal (ejemplo caudal menor de 6 litros por segundo en la llegada a la planta de tratamiento), se debe revisar alguna posible falla o imperfección en la tubería.

3.4.7.2. Medidor de nivel

El medidor de nivel ultrasónico sirve para medir en rangos cortos/largos la distancia hacia la superficie del agua e interpretar su nivel en los tanques. Se coloca un instrumento de medición de nivel en cada tanque con el fin de llevar un control de la cantidad de agua para verificar el funcionamiento de los equipos y evitar el desperdicio o alertar de una falla en la tubería más cercana al tanque donde se encuentra instalado.

3.4.7.3. Medidor de presión

Este instrumento indica la presión con la que es enviada el agua hacia la planta de distribución de Chala, además sirve para conocer si la bomba está funcionando en condiciones óptimas o si existe alguna fuga en el trayecto de la tubería.

3.5. DETALLE DE EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE CONTROL DE AUTOMATIZACIÓN.

A continuación, se detallan los equipos necesarios a ser implementados en la planta de agua potable de San Cristóbal (refiérase al ANEXO 3.3.) para su correcto funcionamiento y modo de operación (automático - manual), para las siguientes etapas:

- Etapa 1. Insumos Químicos (refiérase a la Tabla 3.9 y Tabla 3.10)
- Etapa 2. Filtros (refiérase a la Tabla 3.11, Tabla 3.12 y Tabla 3.13)

- Etapa 3. Bombeo (refiérase a la Tabla 3.14 y Tabla 3.15)

3.5.1. Software TIA PORTAL

TIA PORTAL STEP 7 Basic es un software orientado a tareas, desarrollado por editores intuitivos y altamente eficientes.

Esta herramienta de ingeniería permite la programación del PLC SIMATIC y a la vez la configuración de los paneles SIMATIC HMI.

Al incorporar el software TIA PORTAL Startdrive, es posible configurar desde el PLC SIMATIC, los paneles HMI y los variadores de velocidad SINAMICS G 120.

Esta integración brinda nuevas capacidades de programación en soluciones integrales de automatización, reduciendo significadamente los tiempos de desarrollo y puesta en servicio.



Figura 3.14 Software SIMATIC STEP 7 V14. Fuente el Autor

3.5.2. Controlador Lógico Programable (PLC) SIMATIC S7-1200

SIMATIC S7-1200 es un PLC modular, compacto y versátil diseñado para una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, control de velocidad de motores,

recepción y envío de señales analógicas y digitales. Su diseño escalable y flexible, así como sus interfaces de comunicación alineadas a los más altos estándares de comunicación industrial, hacen de este controlador parte integral de la solución Totally Integrated Automation (TIA).

Características:

- CPU 1215C
- Tensión AC/DC con Relé
- Alimentación 110/220VAC
- Incorpora 14 entradas digitales (DI) a 24 VDC, 10 salidas digitales (DO) tipo relé
- Incorpora 2 entradas analógicas (AI) (0 - 10VDC), 2 salidas analógicas (AO) (0/4-20mA)
- Memoria 125KB
- 2 puertos de comunicación Profinet / Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps
- Capacidad de ampliación hasta 1 Signal Board (SB)
- 8 módulos de señal (SM) y 3 módulos de comunicación (CM)

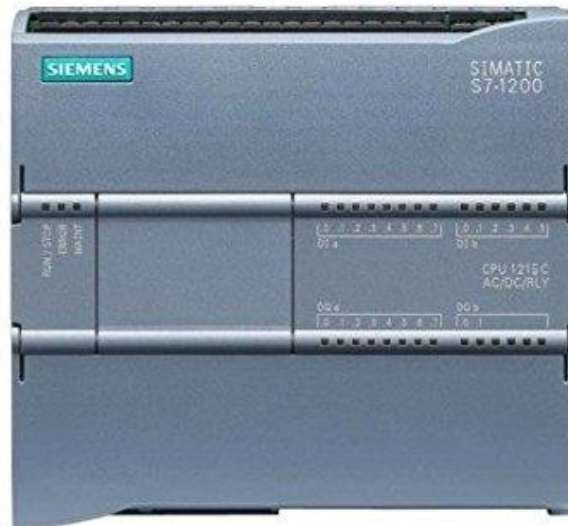


Figura 3.15 PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1215c. (Siemens, Siemens, 2018)

Este PLC cuenta con un diseño escalable y flexible de hasta 8 módulos de señales pueden ser conectados al CPU, tienen la posibilidad de incorporar tarjetas de señales que son micro módulos de entradas/salidas que pueden ser enchufados directamente en la parte frontal de la CPU, esto permite ocupar el mínimo espacio en el tablero. Además, cuenta con GSM / GPRS para conexiones inalámbricas entre las diferentes etapas del proyecto y así poder comunicarse entre ellas para su mejor funcionamiento.



Figura 3.16 Comunicación. (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.3. SIMATIC HMI Paneles Básicos

La familia de paneles HMI son diseñados para cubrir las necesidades básicas de supervisión y control a pie de proceso. Incorpora interfaces que permiten una intersección perfecta con el SIMATIC S7-1200 bajo una sola herramienta de ingeniería: TIA PORTAL STEP 7.

Todos los paneles básicos SIMATIC están diseñados con un índice de protección IP65 y son ideales para tareas sencillas de visualización, incluso en entornos exigentes, por ejemplo, humedad, calor. Las ventajas adicionales incluyen funciones de software integradas, como un sistema de generación de informes, gestión de recibos o funciones gráficas.

- Representación clara de procesos gracias al uso de pantallas con gráficos de píxeles

- Funcionamiento intuitivo mediante teclas de función táctiles. Equipados con todas las funciones básicas necesarias como registro de alarmas, gestión de recibos, gráficos, gráficos vectoriales y cambio de idioma
- Puede configurarse utilizando el software WinCC flexible Compact, o bien, el software de configuración de HMI del software de ingeniería básico STEP7 para S7-1200
- Conexión sencilla a controlador a través de interfaz Ethernet integral o versión independiente con RS485/422



Figura 3.17 Pantalla HMI de 15 pulgadas. (Siemens, 2018)

3.5.4. Pulsador de emergencia

Según la norma ISO 13850, la función de parada de emergencia sirve para prevenir situaciones que puedan poner en peligro a las personas, para evitar daños en la máquina, trabajos en curso o para minimizar los riesgos ya existentes como son arranque de la bombas en vacío, y ha de activarse con una sola maniobra de una persona. (Euchner, 2018)

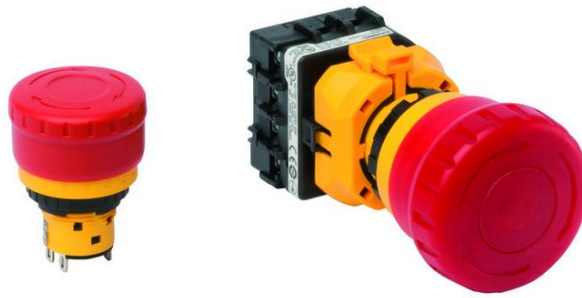


Figura 3.18 Pulsador con un contacto normalmente abierto – normalmente cerrado (NA-NC). (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.5. Riel DIN

Un riel DIN es una barra de metal normalizada. Es muy usado para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando, tanto en aplicaciones industriales como en viviendas. (ABB, Accesorios de Gabinetes y Tableros, 2018)



Figura 3.19 Riel DIN. (ABB, Accesorios de Gabinetes y Tableros, 2018)

3.5.6. Relé térmico

Es un dispositivo de suma importancia para la protección del motor ya que, los fallos más habituales son las sobrecargas, que se manifiestan a través de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos.

Es importante ajustar el relé térmico al valor de la intensidad nominal del motor, dato que se puede encontrar en la placa de características del motor. Si lo ajustamos a un valor superior el motor podría quemarse antes de que saltase la protección y si está por debajo de la intensidad nominal saltará continuamente.



Figura 3.20 Relé térmico para motores, 23 - 28 Amperios. (Automation24, Automation24, 2018)

3.5.7. Relé Industriales Universal

Este dispositivo garantiza optimizar la durabilidad de los equipos eléctricos y electrónicos, permitiendo que funcionen con una corriente y tensión diferente a la bobina, por ejemplo, si la bobina se alimenta a 110 VAC, sus contactos se alimentan con 24 VDC.



Figura 3.21 Relé Industrial Universal marca Siemens. Alimentación 24 VDC, 110 VAC, 220 VAC, 10 Amperios y 11 pines. (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.8. Luz Piloto

Esta luz piloto tiene como propósito dar un aviso visual de que esta encendido un equipo electrónico, ya que mientras el equipo esté funcionando la luz piloto está encendida demostrando que hay consumo de energía. (Unicrom, 2018)

En muchas ocasiones cuando se usa un equipo electrónico que no tiene luz piloto, no es fácil identificar si el mismo esta encendido o apagado, lo que puede provocar un riesgo para el personal si entra en contacto con algún motor o cabina de transformación en funcionamiento.



Figura 3.22 Luz Piloto, alimentación, 24 VDC, 110 VAC, 220 VAC. (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.9. **Borneras**

Las borneras o bornes de conexión eléctrica son los contactos que se utilizan para derivar la energía producida por una fuente hacia dispositivos como motores u otros aparatos eléctricos. Las borneras conectan de forma más rápida y segura el cableado, permitiendo evitar accidentes eléctricos y derivar la conexión rápidamente. (TodoElectrico, 2018)

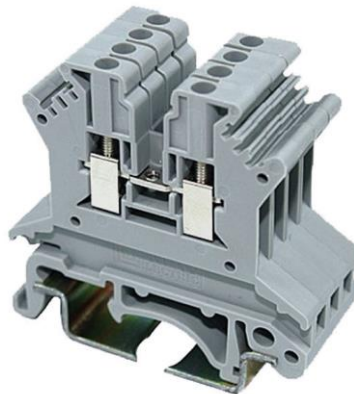


Figura 3.23 Borneras, 20 unidades. (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.10. **Disyuntor Simple y Trifásico (Breaker)**

El disyuntor simple es un equipo capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico monofásico (se conecta uno por cada línea o fase) cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede un determinado valor para el que ha sido calculado, o en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos. El funcionamiento del disyuntor trifásico es similar al simple, pero con la característica de que es sensible a la corriente de las tres líneas o fases. (EPEC, 2018)



Figura 3.24 Disyuntor Simple (Breaker). (Industry, Direct Industry, 2017)



Figura 3.25 Disyuntor Trifásico (Breaker) caja moldeada. (Industry, Direct Industry, 2017)

3.5.11. Pulsador normalmente abierto (NA)

Un pulsante eléctrico es un dispositivo que permite activar algún dispositivo ya sea un motor, foco entre otros, sin que este quede enclavado en el curso de una corriente eléctrica.



Figura 3.26 Pulsador NA. (Siemens, 2011)

3.5.12. Interruptor tipo boya

Los interruptores de nivel tipo boya son diseñados para conexión directa a bombas de baja potencia o de alta potencia mediante el uso de un relé. Cuando el nivel del líquido alcanza el interruptor / boya de nivel, este se inclina y el microinterruptor mecánico al interior cierra o abre el circuito, arrancando o parando una bomba en tanques, estaciones de bombeo. La boya de nivel puede también actuar como dispositivo de alarma.



Figura 3.27 Interruptor tipo boya. (Electroni, 2018)

3.5.13. Interruptor normalmente abierto (NA)

Es un dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de la corriente eléctrica de un circuito.



Figura 3.28 Interruptor luminable NA. (Siemens, 2011)

3.5.14. SM 1222 Modulo se señales digitales de 16 DO a 24 VDC

Contiene 16 salidas digitales a relé, alimentación de entrada de 24 VDC.



Figura 3.29 SM1222 Módulo de señal digital de 16 DO a 24 VDC. (SIEMENS, 2018)

3.5.15. SM 1234 Modulo de 4 entradas y 2 salidas analógicas

Con el módulo de entradas/salidas analógicas SM 1234 AE/AA - 6ES7234-4HE32-0XB0 de Siemens se puede ampliar el SIMATIC S7-1200 con 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas adicionales. El módulo de entradas/salidas analógicas SM 1234 AA - 6ES7234-4HD32-0XB0 trabaja o proporciona señal con +/-10V a una resolución de 14 Bit o 0(4)-20mA con una resolución de 13Bit.



Figura 3.30 SM1234 Módulo de 4 entradas y 2 salida analógicas. Configurable con VDC y mA. (Masvoltaje, 2018)

3.5.16. Signal Board de salidas analógicas SB 1232

La Signal Board SIMATIC S7-1200 SB 1232 AO - 6ES7232-4HA30-0XB0 de Siemens ofrece una expansión del Siemens S7-1200 con 1 salida analógica sin necesidad de espacio adicional. La Signal Board SB 1232 AO - 6ES7232-4HA30-0XB0 se conecta en la parte frontal de la CPU.



Figura 3.31 Tarjeta de señales analógicas SB 1232. (Masvoltaje, 2018)

3.5.17. Fuente de alimentación de 24 VDC

POWER MODUL PM1207 - 6EP1332-1SH71 de Siemens es la fuente de alimentación ideal para el PLC SIMATIC S7-1200. Gracias al diseño similar, la fuente de alimentación conmutada se ajusta perfectamente con el PLC S7-1200. Además de tener en la salida 20 A - 24 VDC. (Automation, Automation 24, 2018)



Figura 3.32 Fuente de alimentación, entrada 120/230 VAC, salida 24 VDC, 20 A. (Masvoltaje, 2018)

3.5.18. Caudalímetro SITRANS F M MAG 5100 W

El SITRANS F M MAG 5100 W es un sensor de caudal electromagnético que se utiliza para las aplicaciones de aguas subterráneas, potable, residuales, cloacales y lodos residuales. (Siemens, Siemens, 2018)

Características

- DN 15 a DN 1200/2000 ($\frac{1}{2}$ pulgada a 48/78 pulgadas) dimensiones
- Revestimiento de goma dura NBR y goma dura de ebonita para todas las aplicaciones de agua
- Longitud de instalación según ISO 13359, la norma incluye tamaños de hasta DN 400
- Fácil puesta en marcha, unidad SENSOR PROM que carga automáticamente los ajustes y valores de calibración.

- El sensor de medida estándar puede equiparse de forma sencilla en el sitio para IP68



Figura 3.33 Caudalímetro SITRANS F M MAG 5100 W. (Siemens, 2018)

3.5.19. Válvula Motorizada o Proporcional

Tasas de flujo reguladas por una amplia gama de señales eléctricas de entrada (sensores, transmisores, PLC y otros) a través de una Unidad de Control, con las siguientes características:

- Electroválvulas ideales para procesos químicos.
- Caja estanca IP67 con bobina de bornes de tornillo, según CEE-10
- Características:
 - Alimentación 24 VDC.
 - Señal de regulación de entrada analógica: 0 - 10 VDC, 0 - 20 mA 4 - 20 mA
 - Tensión de la bobina regulable (= caudal) según la señal de regulación requerida

- Función de cierre de la válvula desde la recaída al 2 % de la señal máxima de regulación
- Incorporado en una caja desenchufable según ISO 4400 / IP65 (ASCO, 2016)



Figura 3.34 Válvula proporcional o motorizada de media pulgada. (ASCO, 2016)

3.5.20. Electroválvulas

Electroválvula de media pulgada NC, 5 vatios, cuerpo de acero inoxidable, accionamiento directo, bobina de 110 VAC.



Figura 3.35 Electrovalvula de media pulgada. (ASCO, 2016)

Electrovalvula de 2 pulgadas con solenoide 2 vías de 5 vatios NC, bobinas de 110 o 220 VAC y mando manual, metálica pintura epóxica, membrana natural reforzada en Nylon, resortes de acero inoxidable, altura de 1.5 – 16 bar. (Aguamarket, Aguamarket, 2018)



Figura 3.36 Electrovalvula de 2 pulgadas. (Aguamarket, Aguamarket, 2018)

Electrovalvula EV220B de 3 ,4 y 6 pulgadas con solenoide 2 vías NC, de 10 vatios, bobinas de 110 o 220 VAC y mando manual, que se utilizan en aplicaciones industriales que requieren altas velocidades de flujo. La válvula se

ha diseñado con cuerpos de hierro de fundición y conexión con bridas, su conexión de golpe de ariete amortiguado y filtro piloto integrado garantiza su funcionamiento fiable. (Industry, Direct Industry, 2018)



Figura 3.37 Electrovalvula de 3 - 4 y 6 pulgadas. (Industry, Direct Industry, 2018)

3.5.21. Sensor de Presión

El transmisor SITRANS P es un transductor de presión digital que permite la medición de fluidos.

Disponible en diversas variantes para medir:

- Presión relativa
- Presión diferencial
- Caudal volumétrico
- Caudal másico

Ofrece los siguientes beneficios:

- Alta calidad y vida útil
- Gran fiabilidad, incluso en aplicaciones con solicitaciones químicas y mecánicas extremadas
- Para gases, vapores y líquidos corrosivos y no corrosivos
- Extensas funciones de diagnóstico y simulación
- Buena estabilidad a largo plazo
- Los elementos en contacto con el fluido son de materiales de alta calidad (acero inoxidable, Hastelloy)
- Alcances de medida ajustables gradualmente desde 0,01 a 700 bar (0.15 a 10153 psi)
- Precisión de medida de 0,075 %
- Parametrización con teclas integradas y vía interfaz HART (Siemens, Medida de Presion, 2018)



Figura 3.38 Sensor de Presión SITRANS P310. (Siemens, Medida de Presion, 2018)

3.5.22. Sensor de Nivel Ultrasónico EchoMax XPS

Los sensores son resistentes a las inundaciones, al vapor y a sustancias químicas agresivas, además, pueden instalarse sin bridas. (Siemens, Siemens, 2018)

Características:

- Compensación integrada de temperatura
- Sensores de baja resonancia con zona muerta limitada
- Revestimiento de espuma opcional para ambientes con polvo
- Insensibles a las adherencias y prácticamente exentos de mantenimiento
- Insensibles a sustancias químicas
- Herméticamente sellados



Figura 3.39 Sensor de nivel EchoMax XPS. (EQUYSIS, 2018)

3.5.23. Guardamotor Sirius

El Guardamotor es un interruptor termomagnético, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos.



Figura 3.40 Guardamotor Sirius 3RV2021-4NA10, 23 – 28 Amperios.
(Automation24, Automation24, 2018)

3.5.24. Arrancador Suave Sirius

Los arrancadores suaves electrónicos 3RW cuidan los elementos mecánicos de transmisión de los motores durante su arranque y parada, también protegen la red eficientemente contra altos picos de corriente gracias a un bajo consumo. La red, el motor y la carga quedan protegidos de manera óptima frente a sobrecargas.



Figura 3.41 Arrancador Suave Sirius, tensión de alimentación 220 VAC, 100 Amperios. (Siemens, 2018)

3.5.25. Temporizador

Un temporizador es un equipo con el que se puede regular la conexión y desconexión de un circuito eléctrico después de que se ha programado un tiempo específico de días, hora, minutos y segundos.



Figura 3.42 Temporizador. (Sodimac, 2018)

3.5.26. Manguera Politubo

La manguera politubo tiene una muy alta duración porque no se corroe, aun instalado en ambientes muy agresivos. Es ligero tiene un peso cinco veces menor que la tubería metálica. También es auto extingible es decir no propaga la flama lo cual es una condición de seguridad en las instalaciones eléctricas. Además, brinda seguridad en el cableado debido a sus paredes lisas y libres de filos cortantes, permiten un alambrado rápido y eficiente, sin peligro para el forro de los cables. (Politubo, 2018)



Figura 3.43 Manguera politubo. (ManFlex, 2018)

3.5.27. Cables eléctricos

Los fabricantes de cables eléctricos (como son INCABLE, ELECTROCABLE, entre otros) proporcionan tablas (refiérase a la Tabla 3.7) que permiten seleccionar el calibre óptimo de acuerdo a la intensidad de corriente eléctrica que circula a través de ellos.

Tabla 3.7 Cables Eléctricos. Fuente el Autor

Calibre AWG - MCM	Sección Real (mm ²)	Intensidad Admisible (Amperios)
14	2.081	30
12	3.309	40
10	5.261	55
8	8.366	70
6	13.3	100
4	21.15	130
3	26.67	150
2	33.63	175
1	42.41	205

3.5.28. Bomba horizontal Pedrollo

En la planta de tratamiento de agua potable actualmente existe una bomba horizontal trifásica marca Pedrollo de 7.5 HP y tensión de alimentación de 220 VAC, la misma que se usa para bombear el agua del reservorio azul (tanque D, refiérase al ANEXO 3.3.) de 1000 litros hacia la etapa de los filtros de carbón activo y ablandador para el tratamiento del agua.



Figura 3.44 Bomba horizontal Pedrollo, 220 VAC, 7.5 HP. Fuente el Autor

3.5.29. Bomba vertical GOULDS e-SV

En la planta de tratamiento de agua potable actualmente existe una bomba vertical trifásica marca GOULDS, cuya tensión de alimentación es de 220 VAC y una potencia de 25 HP, la cual se usa para enviar el agua ya tratada hacia el tanque de distribución de Chala, dicha bomba envía el agua a un kilómetro de distancia con una presión de agua de 230 psi.



Figura 3.45 Bomba GOULDS trifásica, 220 VAC, 25 HP. Fuente el Autor

3.5.30. **Gabinete de control**

En los gabinetes de control se encuentran los dispositivos de seguridad y mecanismos de maniobra, en los que se concentran los equipos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, los cuales permiten que la instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Para este proyecto se contempló el uso de dos gabinetes de control con las siguientes características:

- Protección IP 65
- Altura 1.7 metros
- Ancho 0.8 metros
- Profundidad 0.6 metros



Figura 3.46 Gabinete de control. (Indumelec, 2018)

3.5.31. **Contactador**

Un contactor es un dispositivo electromecánico que tiene por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente eléctrica, ya sea en el circuito eléctrico de potencia o en el de mando, se acciona alimentado con tensión eléctrica a la bobina.



Figura 3.47 Contactor, alimentación 220 VAC, 25 Amperios. (Automation24, Automation24, 2018)

3.5.32. Cantidad de equipos

En la Tabla 3.8 se muestran los equipos principales y el software necesario para la puesta en marcha del proceso de automatización de la Planta de Tratamiento de Agua potable de San Cristóbal. Además contiene los precios referenciales del mercado nacional, cabe recalcar que las etapas (1, 2 y 3) pueden ser implementadas por separado, pero para la instalación de cualquier etapa se necesitan los equipos de la Tabla 3.8. Al final se comanda todo desde los gabinetes de control ubicados en la casa de máquinas (refiérase a la Figura 4.5).

Tabla 3.8 Equipos adicionales y Software de control. Fuente el Autor

Equipos y software	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	Cantidad	Unidades
Software TIA PORTAL STEP 7 V.14	4736	4736	1	U
Panel touch de 15 pulgadas	3500	3500	1	U
Fuente de alimentación de 24 VDC	615	615	1	U
Riel DIN	4	16	4	U
Gabinete de control	400	800	2	U
	Total	9667		

En las siguientes tablas (refiérase a la Tabla 3.9, Tabla 3.10, Tabla 3.11, Tabla 3.12, Tabla 3.13, Tabla 3.14 y Tabla 3.15) se detallan la cantidad de equipos, el tipo, la tensión de alimentación, la potencia eléctrica, la corriente eléctrica que necesita y adicionalmente se adjunta los valores aproximados del mercado de cada equipo para tener una idea del costo de instalación de cada etapa.

Tabla 3.9 Etapa 1. INSUMOS QUÍMICOS (Parte I). Fuente el Autor

ETAPA 1. INSUMOS QUÍMICOS										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO (\$)	PRECIO TOTAL(\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
1	CAUDALÍMETRO	S.C.	220 VAC	20	20	0.091	1280	1280	1	PARA TUBO DE 4 PULGADAS
2	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	S.N.	220 VAC	6	18	0.027	700	2100	3	
3	PULSANTE NA	S					9.24	18.48	2	NA
4	PULSANTE NC/NA	S					33.59	33.59	1	NA/ NC
5	INTERRUPTOR NA	S					13.5	67.5	5	NA
6	LUZ PILOTO VERDE	F	24 VDC	1	2	0.042	13.58	27.16	2	LUZ VERDE
7	LUZ PILOTO VERDE	F	110 VAC	1	7	0.005	18.72	131.04	7	LUZ VERDE
8	LUZ PILOTO NARANJA	F	110 VAC	1	4	0.005	18.72	74.88	4	LUZ NARANJA
9	LUZ PILOTO ROJA	F	110 VAC	1	1	0.005	18.72	18.72	1	LUZ ROJA
10	BORNERAS RIEL						10	80	8	
11	DISYUNTOR SIMPLE (PARA RIEL)	C.B.				16.000	40	120	3	
12	DISYUNTOR TRIFÁSICO (CAJA MOLDEADA)	C.B.				20.000	150	150	1	

Tabla 3.10 Etapa 1. INSUMOS QUÍMICOS (Parte II). Fuente el Autor

ETAPA 1. INSUMOS QUÍMICOS										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO (\$)	PRECIO TOTAL(\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
13	RELÉ	KM	110 VAC	0	0	10.0	18.58	37.16	2	
14	RELÉ	KM	24 VDC	0	0	10.0	16.54	49.62	3	
15	PLC S7-1200		220 VAC	50	50	0.23	1160	1160	1	
16	MODULO DE EXPANSIÓN DIGITAL SM 1222		24 VDC	5	5	0.03	385	385	1	
17	MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234		24 VDC	5	5	0.03	623	623	1	
18	TARJETA SB 1232 AQ		24 VDC	0	0	0.00	202	0		SALIDAS ANALÓGICAS
19	VÁLVULAS MOTORIZADAS	VM	24 VDC	8	24	0.33	40	120	3	PARA TUBO DE MEDIA PULGADA
20	ELECTROVÁLVULA NC	E	110-220 VAC	10	10	0.42	340	340	1	PARA TUBO DE 3 PULGADAS NC
21	ELECTROVÁLVULA NA	E	110-220 VAC	10	10	0.05	340	340	1	PARA TUBO DE 3 PULGADAS, NA
22	CABLE 4x16					15.0	3.1	204.6	66	METROS
23	CABLE 3X16					15.0	2.7	178.2	66	METROS
24	CABLE 2X14					20.0	2.2	88	40	METROS
					POTENCIA TOTAL	156	PRECIO TOTAL	7156.15		

Tabla 3.11 Etapa 2. FILTROS (Parte I). Fuente el Autor

ETAPA 2. FILTROS										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO UNIDAD (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
1	CAUDALÍMETRO	S.C.	220 VAC	20	40	0.09	1280	2560	2	PARA TUBO DE 4 PULGADAS
2	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	S.N.	220 VAC	6	6	0.03	700	700	1	
3	PULSANTE NA	S					9.24	55.44	6	NA
4	PULSANTE NC	S					9.24	9.24	1	NC
5	PULSANTE NC/NA	S					33.59	33.59	1	NA / NC
6	INTERRUPTOR TIPO BOYA (2 CABLES)	F					25	75	3	
7	INTERRUPTOR NA	S					13.5	297	22	NA
8	LUZ PILOTO VERDE	F	220 VAC	1	1	0.00	18.72	18.72	1	LUZ VERDE
9	LUZ PILOTO VERDE	F	110 VAC	1	27	0.01	18.72	505.44	27	LUZ VERDE
10	LUZ PILOTO ROJA	F	110 VAC	1	1	0.01	18.72	18.72	1	LUZ ROJA

Tabla 3.12 Etapa 2. FILTROS (Parte II). Fuente el Autor

ETAPA 2. FILTROS										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO UNIDAD (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
11	BORNERAS RIEL						10	100	10	
12	DISYUNTOR SIMPLE (PARA RIEL)	C.B.				16.00	40	360	9	
13	DISYUNTOR TRIFÁSICO (CAJA MOLDEADA)	C.B.				100.00	150	150	1	
14	TEMPORIZADOR	KT	220 VAC			10.00	50	50	1	
15	CONTACTOR	KM	220 VAC			25.00	60.86	182.58	3	
16	RELÉ	KM	110 VAC			10.00	18.58	408.76	22	
17	PLC S7-1200		220 VAC	50	50	0.23	1160	1160	1	
18	MODULO DE EXPANSIÓN DIGITAL SM 1222		24 VDC				385	770	2	
19	MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234		24 VDC				623	623	1	
20	RELÉ TÉRMICO		220 VAC				65	65	1	

Tabla 3.13 Etapa 2. FILTROS (Parte III). Fuente el Autor

ETAPA 2. FILTROS										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO UNIDAD (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
21	ELECTROVÁLVULAS	E	110-220 VAC	10	50	0.05	450	2250	5	PARA TUBO DE 4 PULGADAS
22	ELECTROVÁLVULAS	E	110-220 VAC	20	40	0.09	520	1040	2	PARA TUBO DE 6 PULGADAS
23	ELECTROVÁLVULAS	E	110-220 VAC	10	20	0.05	400	800	2	PARA TUBO DE 3 PULGADAS
24	ELECTROVÁLVULAS	E	110-220 VAC	5	95	0.02	340	6460	19	PARA TUBO DE 2 PULGADAS
25	ELECTROVÁLVULAS NA	E	110-220 VAC	5	10	0.05	300	600	2	PARA TUBO DE MEDIA PULGADA
26	ELECTROVÁLVULAS NC	E	110-220 VAC	6	12	0.05	301	602	2	PARA TUBO DE MEDIA PULGADA
27	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL	M	220VAC	5500	5500	14.71		0	1	Actualmente existe la bomba en la planta de agua
28	CABLE 3X8					50.00	4.5	90	20	METROS
29	CABLE 3X16					15.00	2.7	113.4	42	METROS
30	CABLE 2X14					20.00	2.2	770	350	METROS
					POTENCIA TOTAL	5852	PRECIO TOTAL	20867.9		

Tabla 3.14 Etapa 3. BOMBEO (Parte I). Fuente el Autor

ETAPA 3. BOMBEO										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO UNIDAD (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
1	CAUDALÍMETRO	S.C.	220 VAC	20	20	0.091	1280	1280	1	PARA TUBO DE 3 PULGADAS
2	SENSOR DE PRESIÓN	P	220 VAC	20	20	0.091	250	250	1	PARA TUBO DE 3 PULGADAS
3	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	S.N.	220 VAC	6	6	0.027	700	700	1	
4	PULSANTE NA	S				0	9.24	18.48	2	
5	PULSANTE NC	S				0	9.24	9.24	1	
6	PULSANTE NC/NA	S				0	33.59	33.59	1	
7	INTERRUPTOR TIPO BOYA (2 CABLES)	F				0	25	25	1	DE TRES CABLES
8	LUZ PILOTO VERDE	F	220 VAC	1	1	0.005	18.72	18.72	1	
9	LUZ PILOTO NARANJA	F	220 VAC	1	1	0.005	18.72	18.72	1	
10	LUZ PILOTO ROJA	F	220 VAC	1	1	0.005	18.72	18.72	1	
11	LUZ PILOTO ROJA	F	110 VAC	1	1	0.009	18.72	18.72	1	
12	BORNERAS RIEL					0	10	60	6	

Tabla 3.15 Etapa 3. BOMBEO (Parte II). Fuente el Autor

ETAPA 3. BOMBEO										
LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS										
No.	EQUIPOS	NOMENCLATURA	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	CORRIENTE (A)	PRECIO UNIDAD (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	UNIDADES (U)	DESCRIPCIÓN
13	DISYUNTOR SIMPLE (PARA RIEL)	C.B.					40.00	40.00	1	
14	DISYUNTOR TRIFÁSICO (CAJA MOLDEADA)	C.B.					150.00	150.00	1	
15	GUARDAMOTOR	F	220 VAC			23-28	148.71	148.71	1	
16	ARRANCADOR SUAVE	Q	220 VAC				1063.27	1063.27	1	
17	RELÉ	KM	110 VAC				18.58	18.58	1	
18	PLC S7-1200		220 VAC	50	50	0.28	1160.00	1160.00	1	
19	MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234		24 VDC				623.00	623.00	1	
20	BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL		220 VAC	18650	18650	49.86	0.00	0.00	1	Actualmente existe la bomba en la planta de agua
21	CABLE 3X6					100	4.50	90.00	20	METROS
22	CABLE 3X16					15.	2.70	81.00	30	METROS
23	CABLE 2X14					20.	2.20	44.00	20	METROS
			POTENCIA TOTAL		18750	PRECIO TOTAL	5654.75			

3.5.33. Análisis de carga

Debido a los cálculos eléctricos, la carga instalada actualmente en la planta de tratamiento de agua potable y la carga proyectada a instalar (refiérase a la Tabla 3.16 y Tabla 3.17), se demuestra que el transformador trifásico instalado actualmente si es capaz de abastecer la carga adicional, debido que solo aumenta un 2.18 % del consumo implementando el equipo de control automático para mejorar el funcionamiento de la planta, teniendo al transformador al 82.52 % de su capacidad.

Tabla 3.16 Análisis de carga de las etapas implementadas. Fuente el Autor

ETAPAS	CARGA (KW)
ETAPA 1. INSUMOS QUÍMICOS	0.156
ETAPA 2. FILTROS	5.85
ETAPA 3. BOMBEO	18.75
TOTAL	24.756

Tabla 3.17 Comparación de carga actual con la carga proyectada. Fuente el Autor

CARGA (KW) EN OPERACIÓN MANUAL	CARGA (KW) EN OPERACIÓN AUTOMÁTICA
24.142	24.756



CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

Para la realización del diseño de automatización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Cristóbal, primero se reunió toda la información técnica necesaria (revisión de antecedentes, planos y memorias descriptivas, fichas técnicas, datos de las variables medidas en la planta, inspección preliminar de las instalaciones).

Se busca que el sistema de automatización abarque el control de toda la planta de tratamiento, razón por la cual se plantea la ubicación de un gabinete de control en el sitio con el fin de manejar desde ese lugar todos los elementos pertenecientes a la planta.

Los componentes principales del sistema de control y sus características básicas son:

- Tres controladores lógicos programables, con entradas y salidas analógicas y digitales, capacidad alta de procesamiento, y capacidad de comunicación a través de cableado estructurado categoría 6A
- Cinco sensores ultrasónicos de nivel, capaces de enviar el valor de nivel instantáneo vía señal analógica
- Tres caudalímetros para tubo de hierro de 4 pulgadas y uno para tubo de 2 pulgadas los cuales envían señales analógicas instantáneas
- Cuatro sensores tipo boya, los mismos que envían señales de 1 o 0, para determinar el llenado de los filtros de arena y tanque de reserva
- Cuatro válvulas motorizadas o proporcionales de media pulgada, que reciben una señal para abrir o cerrar y mantener el caudal adecuado de la dosificación de los químicos
- Cuatro electroválvulas de 3 pulgadas, tres normalmente abiertas y una normalmente cerrada, para dar paso de agua desde la etapa de tratamiento hacia los filtros de arena, las mismas que reciben una señal eléctrica para su funcionamiento
- Dos electroválvulas de 4 pulgadas para la salida de los filtros de arena y comandan la salida de agua hacia el tanque de reserva
- Veinte y dos electroválvulas, que servirán para comandar los filtros de carbón activo y los filtros ablandadores
- Un medidor de presión para tubo de 2 pulgadas para la salida de la bomba de agua vertical (GOULDS), cuya función es enviar señales analógicas al centro de control para el monitoreo de la bomba y el tiempo de llenado del tanque de distribución de Chala
- Un terminal de operador, con capacidad de opciones para controlar y monitorear todas las operaciones y variables del sistema, con comunicación Ethernet para integración a la red de la estación

4.2. DISEÑO DE FLUJO DEL PROCESO DE CONTROL

El diagrama de flujo del proceso de tratamiento de agua potable se realizó para facilitar la programación de la lógica de control para el controlador lógico de la planta de tratamiento de agua potable.

Se ha elaborado un diseño separado en tres etapas con el fin de facilitar el entendimiento del sistema de control y a futuro se pueda brindar la facilidad de incorporar los equipos necesarios a la planta según las etapas a continuación descritas.

El diagrama de flujo se ha dividido en las siguientes etapas:

- Etapa 1. Insumos Químicos
- Etapa 2. Filtros
- Etapa 3. Bombeo

4.2.1. Etapa 1. Insumos Químicos

Se plantea como primera etapa el instante en el que llega el agua cruda bombeada de la estación de El Descanso, la cual llega por un tubo de 4 pulgadas hacia la bandeja de aireación en donde se mezcla con los insumos químicos los mismos que son sulfato, cloro y polímero, dichos químicos son disueltos diariamente en 3 tanques de 1000 litros de capacidad cada uno de la siguiente manera:

- Se diluye 7 kg de sulfato en 1000 litros de agua el cual abastece a la planta por un día
 - Se diluye 2 kg de cloro en 100 litros de agua el cual abastece a la planta por un día
-

- Se diluye 2 kg de polímero en 1000 litros de agua el cual abastece a la planta por un día

El caudalímetro mide la cantidad de caudal que está ingresando a la planta de agua potable con el fin de determinar que la planta de bombeo está funcionando correctamente, de igual manera en los tanques de los insumos químicos se encuentran colocados tres sensores ultrasónicos de nivel (uno por cada tanque), los mismos que son resistentes a los productos químicos, he indican el nivel del líquido de cada tanque enviando la información al centro de control para que pueda ser monitoreado por el personal a cargo, y tomar decisiones sobres las tres válvulas motorizadas que se encuentran en la salida de los químicos, cuya función es regular el caudal de los químicos hacia el agua, controlando el aporte de los químicos al agua cruda para su correcta potabilización.

El agua tratada y mezclada con los químicos pasa de la bandeja de aireación hacia los floculadores y seguidamente a los sedimentadores cumpliendo la etapa de floculación y sedimentación del tratamiento del agua.

El agua debe pasar hacia los filtros de arena, pero para ello se debe preguntar, ¿los filtros de arena están en mantenimiento?

Al final de los sedimentadores se encuentran dos electroválvulas de 3 pulgadas las cuales responden a la pregunta anterior, en caso de que los filtros de arena, sedimentadores o floculadores estén en mantenimiento, estas electroválvulas se abren y cierran permitiendo el paso de agua hacia los filtros de arena si es el caso o si están en mantenimiento una de las dos etapas se acciona la segunda electroválvula permitiendo desviar el agua sobrante hacia el alcantarillado (refiérase al ANEXO 4.1.)

4.2.2. Etapa 2 Filtros

En la Etapa 2 Filtros, antes de ingresar el agua se pregunta, ¿los filtros de arena se encuentran en mantenimiento?, si están en mantenimiento se cierran las electroválvulas de ingreso y se abren las electroválvulas de salida, permitiendo la salida del agua para poder dar el respectivo mantenimiento a los filtros de arena, a los que se realiza un retrolavado a la arena una vez por semana. Si no están en mantenimiento el agua tratada ingresa a los filtros de arena, los cuales disponen de un sensor de nivel tipo boya (interruptor tipo boya) para asegurarse que existe o no agua en los filtros.

En la salida de los filtros de arena se encuentran colocadas dos electroválvulas que se cierran o abren cuando se realiza el retrolavado a los filtros de arena, de igual manera dos caudalímetros indican el caudal de cada filtro de arena, permitiendo tener una idea más clara por el indicador para realizar un retrolavado a los filtros de arena debido a que si varía el caudal de salida se debe realizar un mantenimiento a los mismos.

De ser el caso se realiza el retrolavado y luego regresa al proceso.

El agua pasa por tres electroválvulas para llegar al reservorio principal (tanque I), las mismas que son activadas dependiendo si los filtros o el reservorio de bombeo (tanque D) están en mantenimiento o si se encuentran en correcto funcionamiento, pero antes de ello se pregunta, ¿los filtros de carbon activo, ablandador o reservorio están en mantenimiento?, de ser el caso, se activan las electroválvulas permitiendo el paso del agua filtrada directo al tanque de reserva principal, caso contrario, el agua llega al tanque de bombeo para ser enviada a los filtros de carbon activo y ablandador con el fin de tratar la dureza del agua y eliminar la concentración de incrustaciones calcáreas.

Pasando el agua el proceso anteriormente descrito llega hacia el reservorio principal.

En los filtros de carbon activo y ablandador se encuentran electroválvulas las mismas que se abren o cierran dependiendo del funcionamiento que se necesite en su momento, en el filtro de carbon activo existen dos posiciones, normal y retrolavado de carbon activo, y en el filtro ablandador existen tres posiciones, normal, retrolavado del ablandador y regeneracion del ablandador (refierase al ANEXO 4.2.).

4.2.3. Etapa 3 Bombeo

En la Etapa 3 Bombeo, después de pasar el agua tratada por los filtros de carbón activo y ablandador llega al reservorio principal (tanque I, refiérase al ANEXO 3.3.), desde el cual luego de tener un nivel mínimo de agua puede ser bombeada o enviada a la planta de distribución de Chala, en donde se envía el agua potable a sus consumidores.

Se realiza el bombeo, por medio de una bomba GOULDS de 25 HP, la cual envía el agua potable a la planta de distribución de Chala, finalizando así el proceso de tratamiento de agua (refiérase al ANEXO 4.3.).

4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE FUERZA Y DE CONTROL

La ubicación de cada una de estas señales se encuentra diseminada por toda la planta de tratamiento de agua potable. Por tal motivo se decide utilizar un sistema de control distribuido, permitiendo así controlar procesos lejanos y enviar esta información al sistema de control. Para ilustrar la arquitectura de control diseñada, se muestran los esquemas de la planta de tratamiento de agua potable

de San Cristóbal (refiérase al ANEXO 4.4., ANEXO 4.6., ANEXO 4.7., ANEXO 4.9, ANEXO 4.10.).

Con las distancias y los datos sobre las señales, se buscaron los equipos a ser utilizados.

Para el proceso de las diferentes etapas insumos químicos, filtros y bombeo. Se configuró un sistema local capaz de utilizar un PLC en este caso el modelo S7-1200 con módulos de expansión de señales analógicas y digitales de Siemens. Un controlador es utilizado por cada etapa del proceso debido a la cantidad de señales como son la apertura y cierre de electroválvulas, la medición de nivel, control de encendido de las bombas, caudal y presión, a diferentes horas del día, esta operación se puede realizar de forma manual y automática.

El controlador PLC s7-1200 ofrece flexibilidad al permitir ampliar o disminuir la cantidad de señales a medir, producto de la adición o remoción de módulos de expansión, muchas de las señales de esta parte del proceso de tratamiento de agua potable vienen directamente de dispositivos de campo inteligentes, como electroválvulas, medidores de presión, caudalímetros, entre otros. Al tener una configuración distribuida el controlador no se encuentra junto a los dispositivos vigilando cada proceso, esto ahorra costos al emplear una topología de bus para la conexión de los controladores.

En sistemas trifásicos de corriente alterna, los colores de acuerdo con las normas nacionales e internacionales: Rojo, Amarillo, Azul para las fases A, B, C y blanco para el Neutro o conductores marcados en los extremos con cintas con los colores antes indicados. El color verde se utiliza para la conexión a tierra.

Color de cables para los circuitos de control con dispositivos electrónicos (PLC):

- Las entradas y salidas digitales AC, para las fases se debe utilizar color negro y para el neutro color blanco.
- Las entradas y salidas Digitales DC, para el positivo color rojo y para el negativo color blanco. Los conductores de conexión a tierra en color verde.
- Para entradas y salidas analógicas (4 - 20 mA) para dos hilos negro y blanco y para tres hilos negro, blanco y rojo.

Circuitos de control electromecánicos para las fases se debe utilizar color gris y para el neutro color blanco.

Todos los conductores llevan en forma independiente en ambos extremos, conectores y terminales apropiados para el calibre del conductor y el borne. Los cables que llegan o salen de cada borne son identificados con leyendas plásticas del tipo anillo o referenciados para terminal, conteniendo los caracteres de identificación.

Todos los puntos de los equipos que reciben señales externas son cableados hasta las borneras terminales de cada proceso.

4.3.1. **Etapa 1 Insumos Químicos**

En la denominada Etapa 1 Insumos Químicos, es en donde llega el agua cruda bombeada desde la planta de bombeo de El Descanso, en la misma se propone colocar un caudalímetro en el tubo de 6 pulgadas la misma que envía una señal analógica al módulo de expansión analógico SM 1234 del PLC s7-1200 indicando el valor de llegada del caudal.

El caudalímetro (S.C.1) tiene además la función de avisar si el caudal de llegada es el normal, caso contrario envía una señal de aviso a los focos F7 y F8, dando a conocer el estado de llegada del caudal y según eso se puede tomar

las medidas necesarias, ya que si el caudal de llegada es menor al deseado significa que se ha presentado algún fallo o error en la planta de bombeo o en los ductos que recorre el agua.

En los tanques de sulfato, cloro y polímero (tanques A, B y C), se propone colocar un sensor de nivel ultrasónico en cada tanque (S.N.1, S.N.2 y S.N.3), los mismos que son resistentes a los químicos, y sirven para mostrar los niveles en los tanques, enviando una señal de aviso a los focos F1, F2 para el sulfato, F3, F4 para el cloro y F5, F6 para el polímero, en la salida de los tanques se encuentran coladas las válvulas motorizadas VM1, VM2 y VM3 respectivamente, las cuales necesitan una tensión de alimentación de 24 VDC y son accionadas por medio del módulo de expansión analógico SM 1234 y de la tarjeta SB 1232, las mismas que envían señales de corriente de 4 a 20 mA (refiérase al ANEXO 4.4.), las válvulas motorizadas cuentan con su propia fuente de alimentación. Estas válvulas son abiertas de tal forma que el caudal de salida de los químicos dura el tiempo necesario y programado por los usuarios para tener una mejor calidad del agua tratada en ese punto.

Existen señales de aviso para cada sensor de nivel y caudalímetro, al igual que para las válvulas motorizadas y electroválvulas.

Al final de los sedimentadores existen dos electroválvulas E1 (NA) y E2 (NC), las cuales son comandadas desde los pulsantes S6 y S7 respectivamente, la electroválvula E1 conduce a los filtros de arena y la electroválvula E2 conduce hacia el alcantarillado. Estas electroválvulas se accionan dependiendo de la necesidad en ese momento, si se va a dar mantenimiento a la bandeja de aireación, floculación y sedimentadores se accionan las electroválvulas, cerrándose E1 y abriéndose E2, de la misma manera en caso de que se esté dando mantenimiento a los filtros de arena o si los filtros de arena están llenos.

En caso de falla o emergencia existe un pulsante S0 de paro de emergencia (con contactos NA - NC) para apagar o desactivar todo el mando automático de la etapa1 y para desenergizar todos equipos de esta etapa existe un disyuntor trifásico (breaker trifásico) como interruptor principal de 20 A (C.B.1).

En caso de que exista algún problema en el PLC o en sus módulos adicionales existe 5 interruptores (NA) desde los cuales se puede comandar manualmente el funcionamiento de la planta accionando unos relés industriales.

Los circuitos con los interruptores (S3, S4 y S5) tienen un interruptor termomagnético monofásico (C.B.2, C.B.3 y C.B.4) de 16 A como medio de protección para los relés (KM4 y KM5) y a su vez proteger las electroválvulas E1 y E2.

El interruptor S1 activa el relé KM1 el mismo que activa la válvula motorizada 1 la cual está en la salida del tanque de sulfato,

El interruptor S2 activa el relé KM2 el mismo que activa la válvula motorizada 2 la cual está en la salida del tanque de cloro.

El interruptor S3 activa el relé KM3 el mismo que activa la válvula motorizada 1 la cual está en la salida del tanque de polímero.

El interruptor S4 activa el relé KM4 el mismo que activa la electroválvula 1 (E1 NA) en caso de que no se necesite que pase agua hacia los filtros de arena o se vaya a dar mantenimiento a los sedimentadores.

El interruptor S5 activa el relé KM5 el mismo que activa la electroválvula 2 (E2 NC) en caso de que se necesite retirar el agua de los sedimentadores para

dar mantenimiento enviándola hacia el alcantarillado, o si los filtros de arena están llenos.

Para la conexión de los sensores de nivel se realiza por medio de cable concéntrico 3x16 el mismo que deberá ir dentro de una manguera politubo de media pulgada para proteger al conductor

Para la conexión de las válvulas motorizadas se realiza por medio de cable concéntrico 4x16 el mismo que deberá ir dentro de una manguera politubo de media pulgada para proteger al conductor.

Para la conexión de las electroválvulas E1 y E2 se realiza por medio de cable concéntrico 2x14 el mismo que deberá ir dentro de una manguera politubo de media pulgada para proteger al conductor (refiérase al ANEXO 4.4., ANEXO 4.5.).

En la Figura 4.1 se puede visualizar los equipos de control existentes dentro del software TIA PORTAL V.14

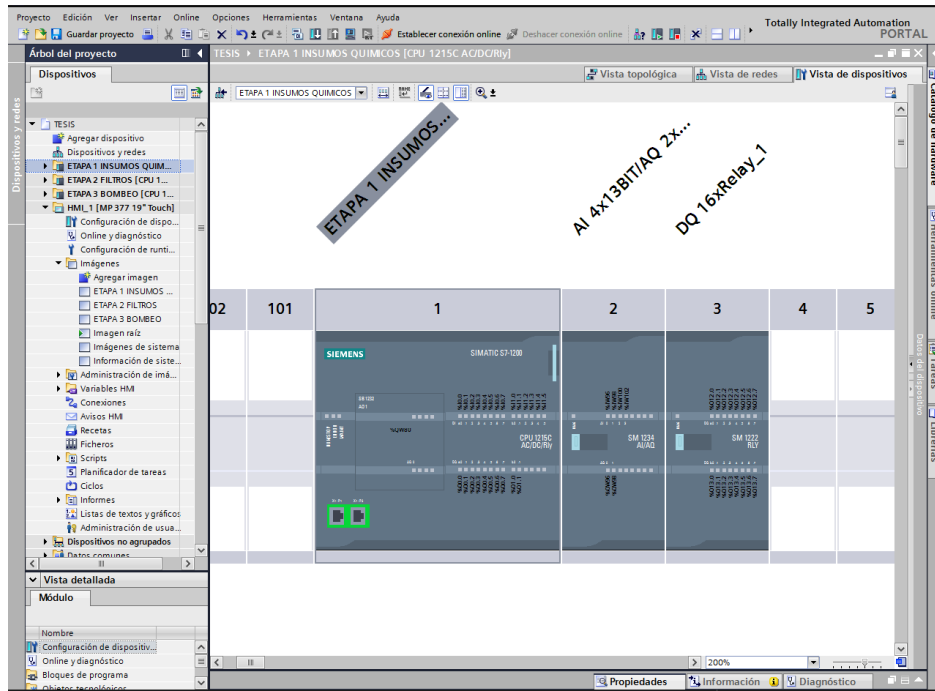


Figura 4.1 Programación de la etapa 1 Insumos Químicos en TIA PORTAL V.14. Fuente el Autor

4.3.2. Etapa 2 Filtros

En la denominada Etapa 2. Filtros, se encuentran los filtros de arena, carbón activo y de ablandador los cuales se propone implementar ciertos equipos para mejorar su funcionamiento y tener menos pérdidas de agua. A continuación, se detalla su funcionamiento.

En esta etapa se cuenta con un PLC S7-1200, un módulo de expansión analógico SM 1243 y dos módulos de expansión digitales con salida a relé SM 1222, a los cuales les llegan o salen las señales para el control de los filtros.

A la llegada de los filtros de arena se encuentran 4 electroválvulas (E1, E2, E3, E4) accionadas por los relés industriales (KM1, KM2, KM3 y KM4), las electroválvulas E1 y E2 (NA de tres pulgadas) sirven para dar paso al agua desde los insumos químicos hacia los filtros de arena, mientras que las electroválvulas E3 y E4 (NC de 6 pulgadas) sirven para dar paso al agua hacia el alcantarillado en caso de que los filtros de arena estén llenos o se vaya a dar mantenimiento (retrolavado de los filtros de arena).

En los filtros de arena existen dos sensores de nivel (S.N.1 y S.N.2) los cuales dan una señal analógica al PLC el mismo que avisa si se deben abrir o cerrar las electroválvulas para evitar el derrame del agua tratada.

En la salida de los filtros de arena existen dos electroválvulas E5 y E6 (NA de 4 pulgadas) además de dos caudalímetros (S.C.1 y S.C.2) los mismos que miden el caudal de salida de los filtros de arena enviando las señales al PLC, y tienen la función de avisar si el caudal de salida es menor al programado dando como resultado que los filtros de arena necesitan mantenimiento o no hay paso de agua desde la etapa de los insumos químicos.

En caso de retrolavado de los filtros de arena se deben cerrar las electroválvulas E5, E6, E1, E2 y abrir las electroválvulas E3, E4 pasar vaciar los filtros de arena enviando el agua al alcantarillado y poder realizar el respectivo mantenimiento (lavado de la arena).

Seguidamente existen tres electroválvulas (E7, E8, las dos NA y E9 NC, las tres de 4 pulgadas), estas electroválvulas dan paso de agua hacia el reservorio de agua de los filtros (tanque D) de carbón activo y ablandador o hacia el reservorio principal (tanque I), en caso de que los filtros de carbón activo y ablandador estén en mantenimiento se cierra la electroválvula E8 y se abre la electroválvula E9 dando paso de agua directamente desde los filtros de arena hacia el reservorio principal.

Si los filtros de carbón activo y ablandador están funcionando correctamente permanecen abiertas las electroválvulas E7, E8 cerrando la electroválvula E9, dando paso al agua hacia el reservorio de los filtros, en el cual se encuentra un sensor de nivel ultrasónico (S.N.3) y un sensor tipo boya (S.N.B.3) los cuales miden el nivel de agua y una vez que se tenga un nivel mínimo se acciona la bomba horizontal (tiene un arranque estrella triángulo) y se abre la electroválvula E10 (NA de 2 pulgadas) dando paso de agua hacia los filtros de carbón activo y ablandador y seguidamente al reservorio principal.

Los filtros de carbón activo tienen dos etapas: funcionamiento normal y retrolavado de los filtros. Para el funcionamiento normal se tiene las electroválvulas E11, E12, E15, E16 (NA de 2 pulgadas) las cuales permanecen abiertas y se cierran las electroválvulas E13, E14, E17, E18, E19, E20 (NC de 2 pulgadas) las cuales se activan con el pulsante S4 el mismo que envía la señal al PLC y se accionan los relés activando las electroválvulas. Para el retrolavado de los filtros se deben abrir las electroválvulas E13, E14, E17, E18 y se deben cerrar las electroválvulas E11, E12, E15, E16, E19, E20 las cuales se activan con el pulsante S5 el mismo que envía la señal al PLC y se accionan los relés activando las electroválvulas.

Los filtros ablandadores tienen tres etapas: funcionamiento normal, retrolavado del ablandador y regeneración del ablandador. Para el funcionamiento normal se tienen las electroválvulas E21, E22, E25, E26 (NA de 2 pulgadas) las cuales permanecen abiertas y se cierran las electroválvulas E23, E24, E27, E28, E29, E30, E31, E32 (NC de 2 pulgadas), las cuales se activan con el pulsante S1 el mismo que envía la señal al PLC y se accionan los relés activando las electroválvulas. Para el retrolavado del ablandador se deben abrir las electroválvulas E23, E24, E27, E28 y cerrar las electroválvulas E21, E22, E25, E26, E27, E28, E29, E30, E31, E32, las cuales se activan con el pulsante S2 el mismo que envía la señal al PLC y se accionan los relés activando las electroválvulas. Para la regeneración del ablandador se abren las electroválvulas

E29, E30, E31, E32 y se cierran las electroválvulas E21, E22, E23, E24, E25, E26, E27, E28 las cuales se activan con el pulsante S3 el mismo que envía la señal al PLC y se accionan los relés activando las electroválvulas.

Para la conexión de las electroválvulas se realiza por medio de cable concéntrico 2x14 AWG, para la bomba horizontal se utiliza de cable concéntrico 3x8 AWG y para de los caudalímetros y los sensores tipo boya se realiza por medio de cable concéntrico 3x16 AWG los mismo que deben ir dentro de una manguera politubo de 3/4 y media pulgada respectivamente para proteger al conductor.

Todas las electroválvulas disponen de indicadores luz piloto accionadas con los relés industriales, que sirven para dar una señal de aviso advirtiendo si las electroválvulas están activadas.

Se cuenta con un mando manual por medio de los interruptores del S7 al S28, los cuales accionan manualmente las electroválvulas una por una, así mismo los circuitos tienen un interruptor termomagnético monofásico (C.B.2, C.B.3 y C.B.4) de 16 A como medio de protección para los relés y a su vez proteger las electroválvulas.

El circuito principal cuenta con un interruptor termomagnético trifásico (C.B.1) de 100 A.

En caso de falla o emergencia existe un pulsante S29 de paro de emergencia (con contactos NA - NC) para apagar o desactivar todo el mando automático de la etapa 2 y para corte total de energía de esta etapa existe un disyuntor trifásico como interruptor principal (C.B.1) (refiérase al ANEXO 4.6., ANEXO 4.7., ANEXO 4.8.).

En la Figura 4.2 se puede visualizar los equipos de control existentes dentro del software TIA PORTAL V.14.

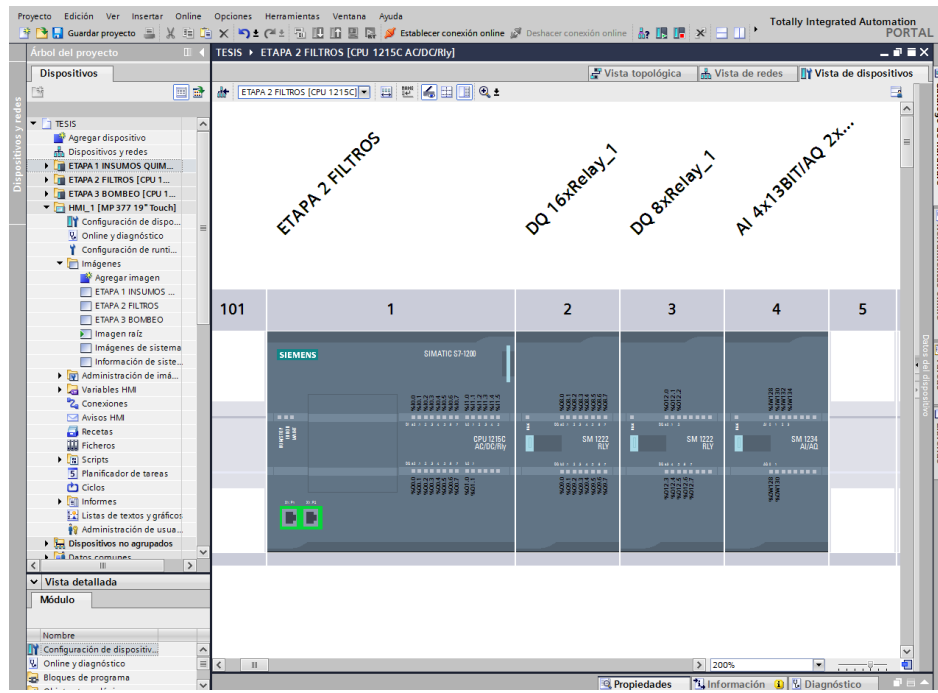


Figura 4.2 Programación de la etapa 2 Filtros en TIA PORTAL V.14. Fuente el Autor

4.3.3. Etapa 3 Bombeo

En la denominada Etapa 3 Bombeo, se encuentra el reservorio principal y la bomba vertical, y por medio de este diseño se propone mejorar el bombeo de agua hacia la planta de Distribución de Chala. A continuación, se detalla su funcionamiento.

En esta etapa se cuenta con un PLC S7-1200, un módulo de expansión analógico SM 1243, los mismos que reciben y envían las señales para el control del reservorio y de la bomba vertical.

Una vez que el reservorio principal tiene un nivel mínimo de agua el cual es medido por un sensor de nivel ultrasónico (S.N.4) y un sensor tipo boya (S.N.B.4), se puede activar la bomba vertical por medio del pulsante S1 el cual acciona un arrancador suave la bomba.

El agua enviada es medida por un caudalímetro (S.C.1) y un medidor de presión (S.P.1) colocados a la salida de la bomba, los cuales dan las señales de que la bomba está trabajando correctamente y se puede tener un control del agua enviada para su distribución.

En caso de que el nivel de agua sea mínimo el sensor tipo boya no permite que la bomba vertical se active, de igual manera si existiera algún problema el arrancador suave acciona una luz piloto indicando que existe una falla.

En caso de falla o emergencia existe un pulsante S3 de paro de emergencia (con contactos NA - NC) para apagar o desactivar todo el mando automático de la etapa 3 y para corte total de energía eléctrica de todos los dispositivos de esta etapa existe un disyuntor trifásico (Breaker trifásico) como interruptor principal (C.B.1). También se cuenta con un pulsante S0 para apagar solo la bomba vertical en caso de falla.

La conexión del caudalímetro, sensor de presión y el sensor tipo boya se realiza por medio de cable concéntrico 3x16 AWG el mismo que va dentro de una manguera politubo de media pulgada para proteger al conductor

Para la conexión de la bomba vertical se realiza por medio de cable número 6 AWG de 7 hilos el mismo que debe ir dentro de una manguera politubo de 3/4 de pulgada para proteger al conductor.

Se cuenta con un mando manual por medio del pulsante S2 el cual acciona manualmente la bomba vertical por medio del arrancador suave siempre

y cuando se tenga un nivel de agua permitido (refiérase al ANEXO 4.9., ANEXO 4.10., ANEXO 4.11.).

En la Figura 4.3 se puede visualizar los equipos de control existentes dentro del software TIA PORTAL V.14

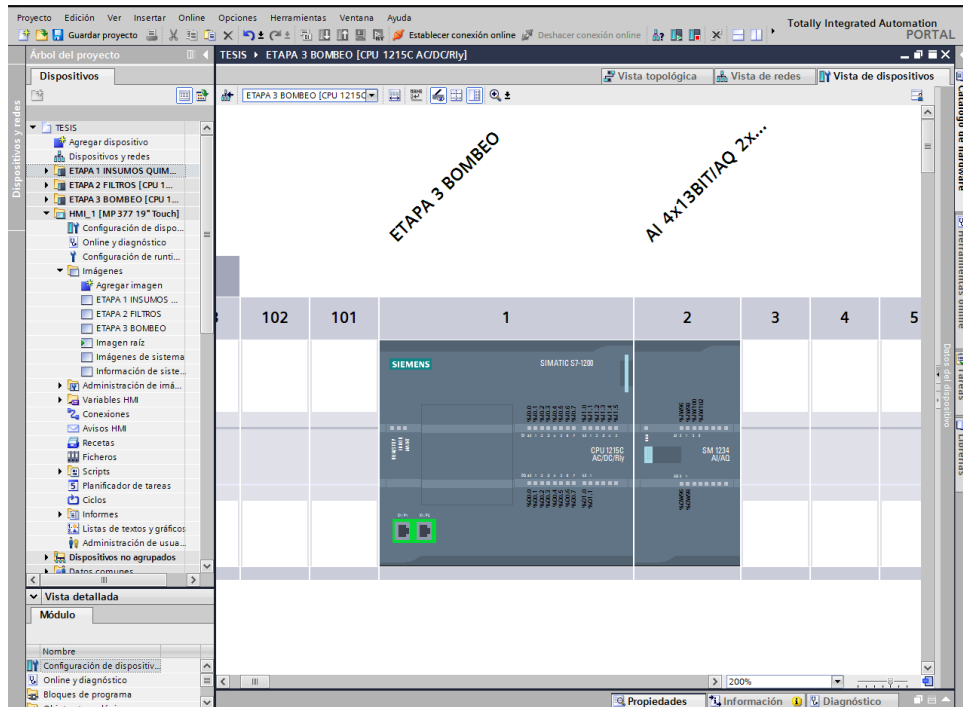


Figura 4.3 Programación de la etapa 3 Bombeo en TIA PORTAL V.14.
Fuente el Autor

En la Figura 4.4 se puede visualizar el PLC de cada etapa conectado a una pantalla HMI con el propósito de tener en una sola interfaz las etapas del proyecto y poder coordinar todo el funcionamiento.

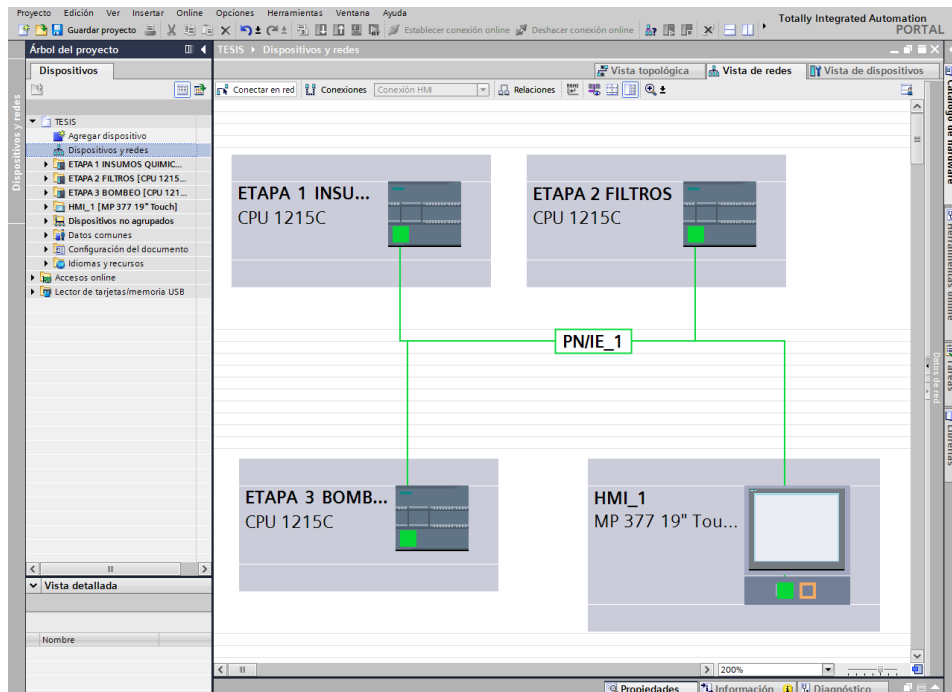


Figura 4.4 Programación de las comunicaciones entre los equipos (PLC) en TIA PORTAL V.14. Fuente el Autor

4.3.4. Gabinete de control

En un entorno industrial el uso de tableros o gabinetes es necesario para encapsular y proteger los equipos. Esto supone un orden y un medio de protección para los equipos instalados en su interior. El diseño de estos gabinetes abarcan aspectos estéticos y funcionales que se adaptan al entorno de la planta.

En el diseño de los gabinetes de control propuestos (refiérase al ANEXO 4.12.) se encuentran colocados los dispositivos eléctricos de mando manual y automático. Los gabinetes tienen 1.7m de alto, 0.8m de ancho y 0.6m de profundida cada uno.

Se tiene una gran variedad de equipos existentes y propuestos para la automatización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Cristóbal, los mismos que tienen una simbología, para la identificación cada equipo en los diseños de control y fuerza (refiérase al ANEXO 4.13.).

4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALARMA EN CASO DE FALLA

Con el S7-1200 se pueden detectar errores en los equipos e informar de éstos. Estos errores también son conocidos como errores de diagnóstico. Se puede trabajar con los siguientes:

- No hay sensor o potencia de carga (módulo / tarjeta de señal)
- Límite superior excedido (valor en una entrada o salida analógica)
- Límite inferior excedido (valor en una entrada o salida analógica)
- Rotura de hilo (salida analógica de corriente)
- Cortocircuito (salida analógica de tensión)

Todos los eventos de error de diagnóstico realizan la ejecución del bloque de organización "Interrupción por error de diagnóstico" (OB82).

El OB82 "Interrupción por error de diagnóstico" incluye una información de arranque que le ayuda a determinar las circunstancias en las que se ha producido el error:

- Que equipo y canal informó del error
- Si el evento se ha debido a la aparición o desaparición de un error

Se pueden programar instrucciones dentro del OB82 para examinar estos valores de arranque y para tomar la decisión adecuada.

Evaluación de los eventos de error de diagnóstico con el bloque de organización "interrupción por error de diagnóstico" (OB82).

La aparición o desaparición de cualquiera de las diversas condiciones de error de diagnóstico provocan un evento de error de diagnóstico si se cumplen las siguientes condiciones:

- El programa del PLC S7-1200 tiene un OB82
- Se ha habilitado en el módulo el evento de error de diagnóstico

Si el OB82 no existe, entonces la CPU ignora el error. El OB82 "interrupción de error de diagnóstico" interrumpe la ejecución del programa cíclico normal tan pronto como un módulo con capacidad de diagnóstico detecta un error.

Cuando se crea un proyecto nuevo no está presente el OB82 "interrupción por error de diagnóstico".

4.4.1. Evaluación de los eventos de error de diagnóstico con el bloque de organización OB82 "interrupción por error de diagnóstico"

Añadir el OB82 de "interrupción por error de diagnóstico" (Siemens, Siemens Industry, 2018)

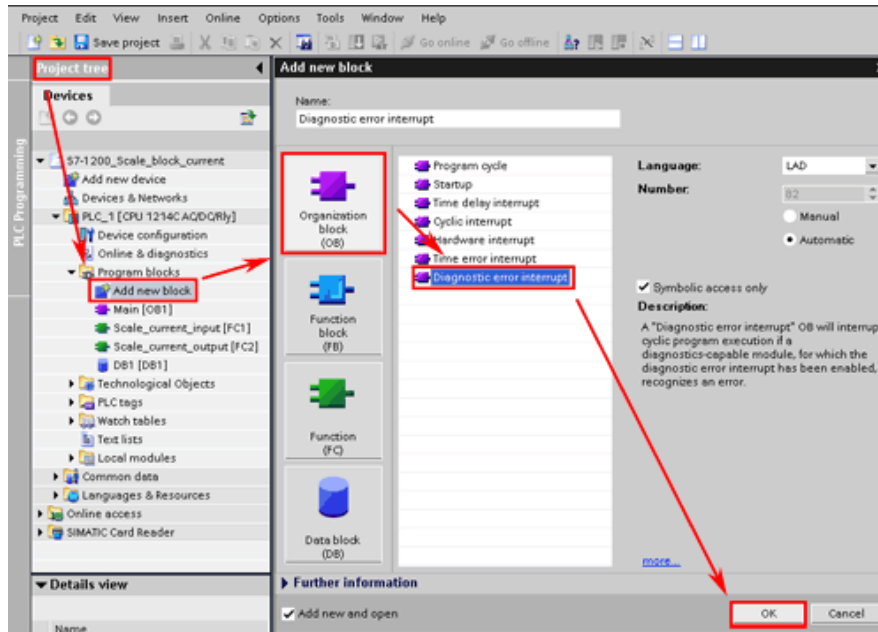


Figura 4.5 Añadir el OB82 de "interrupción por error de diagnóstico".
Fuente el Autor

Lectura de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico"

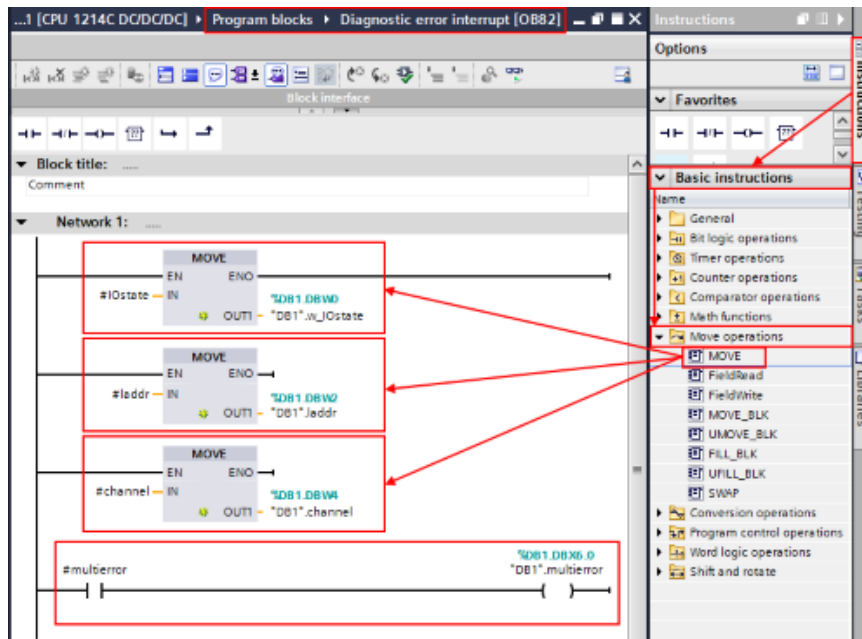


Figura 4.6 Lectura de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico". Fuente el Autor

Evaluación de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico"

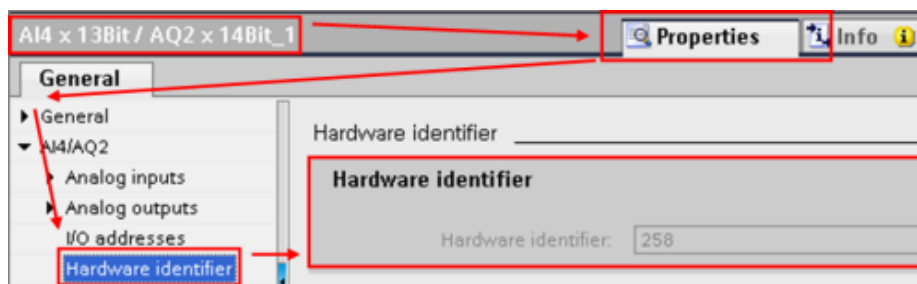


Figura 4.7 Evaluación de la información inicial del OB82 "interrupción por error de diagnóstico". Fuente el Autor

Habilitar y entender los diferentes eventos de error de diagnóstico. El sistema operativo supervisa a los equipos con capacidad de diagnóstico ante

los errores de diagnóstico mencionados con anterioridad. Los eventos de error de diagnóstico avisan mediante indicadores led rojos que parpadean.

4.4.2. Comprensión de los diferentes eventos de error de diagnóstico

4.4.2.1. "Sin sensor o potencia de carga"

La alimentación es insuficiente o no está presente. (Siemens, Siemens Industry, 2018)

Los siguientes indicadores led del PLC S7-1200 comienzan a parpadear (color del indicador led rojo):

- El indicador led de "ERROR" en la CPU
- Todos los indicadores led del módulo / tarjeta de señal

"Habilitar diagnóstico de potencia"

- Seleccione su S7-1200 en el "Árbol del proyecto" bajo "Configuración de dispositivos"
- Hacer clic sobre el módulo de señal en la ventana de "Configuración de dispositivo"
- Seleccionar la pestaña de "Propiedades" y hacer clic en el elemento "AI4/AO2" en el directorio "General"
- Hacer clic en la caja de selección de "Habilitar diagnóstico de potencia"

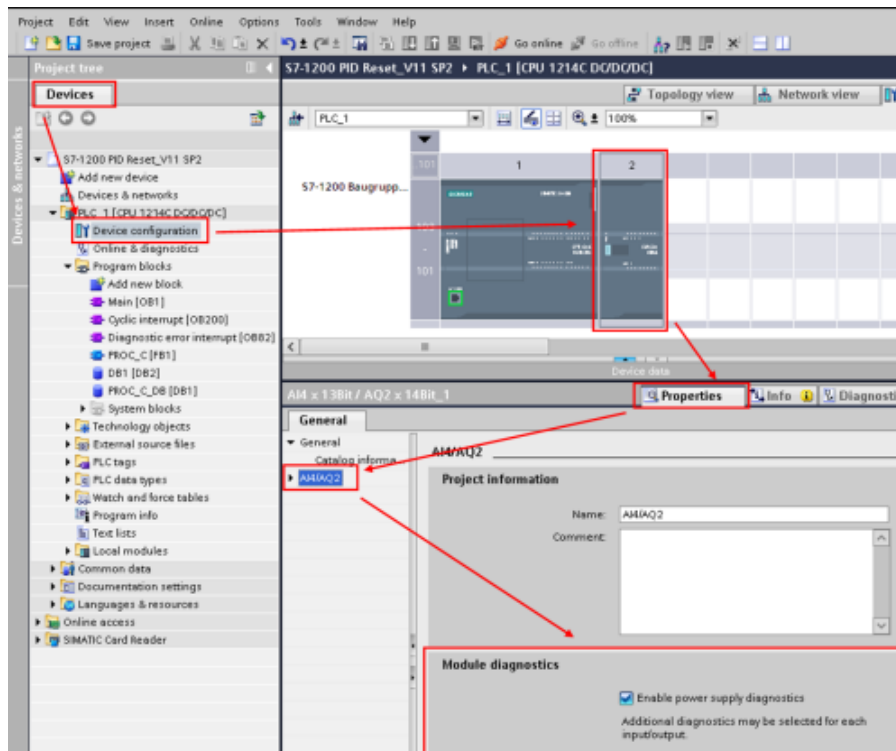


Figura 4.8 "Sin sensor o potencia de carga". Fuente el Autor

4.4.2.2. "Límite superior sobrepasado"

El límite superior de una entrada / salida analógica se ha excedido (valor de salida superior a "+32511").

Los siguientes indicadores led del PLC S7-1200 comienzan a parpadear (color del indicador led rojo):

- El indicador led de "ERROR" en la CPU
- El indicador led "DIAG", si es un módulo de señal
- El indicador led del canal asociado

"Habilitar diagnóstico de desbordamiento superior" :

- Seleccione su PLC S7-1200 en el "Árbol del proyecto" bajo "Configuración de dispositivos"
- Hacer clic sobre el módulo de señal en la ventana de "Configuración de dispositivo"
- Seleccionar la pestaña de "Propiedades" y hacer clic en el elemento "AI4/AO2" en el directorio "General"
- Desplazarse hacia abajo hasta el canal que se desea supervisar
- Comprobar la caja de selección de "Habilitar diagnóstico por desbordamiento superior"

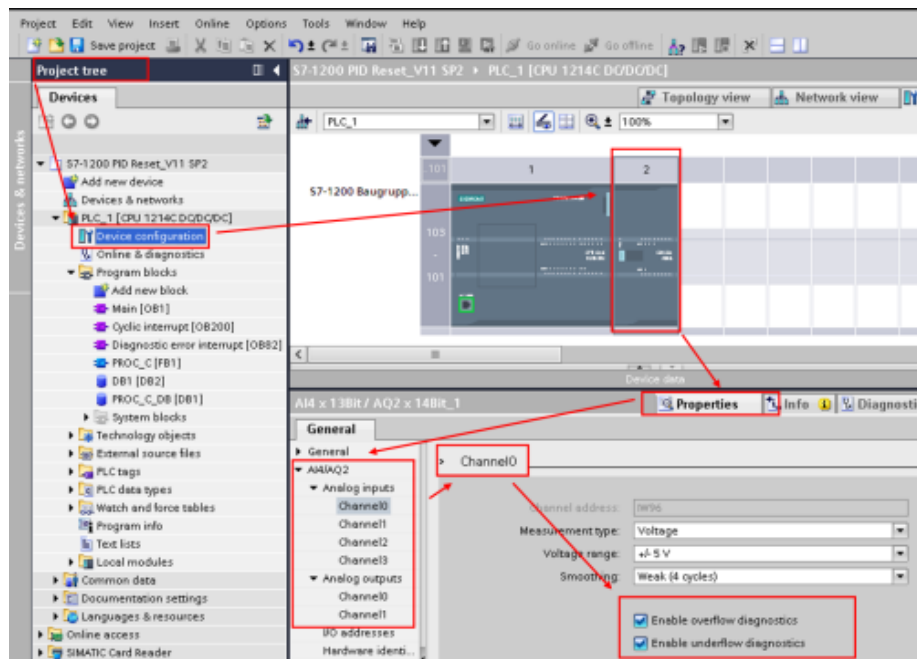


Figura 4.9 "Límite superior sobrepasado". Fuente el Autor

4.4.2.3. "Límite inferior sobrepasado"

El límite inferior de una entrada / salida analógica se ha excedido (valor de salida inferior a "0" para corriente, inferior a " - 32512" para voltaje).

Los siguientes indicadores led del PLC S7-1200 comienzan a parpadear (color del indicador led: rojo).

- El indicador led de "ERROR" en la CPU
- El indicador led "DIAG", si es un módulo de señal
- El indicador led del canal asociado

"Habilitar diagnóstico de desbordamiento inferior"

- Seleccione su PLC S7-1200 en el "Árbol del proyecto" bajo "Configuración de dispositivos"
- Hacer clic sobre el módulo de señal en la ventana de "Configuración de dispositivo"
- Seleccionar la pestaña de "Propiedades" y hacer clic en el elemento "AI4/AO2" en el directorio "General"
- Desplazarse hacia abajo hasta el canal que se desea supervisar.
- Comprobar la caja de selección de "Habilitar diagnóstico por desbordamiento inferior"

4.4.2.4. "Rotura de hilo"

El circuito de una salida analógica de corriente no está cerrado.

Los siguientes indicadores led del PLC S7-1200 comienzan a parpadear (color del indicador led rojo):

- El indicador led de "ERROR" en la CPU
 - El indicador led "DIAG", si es un módulo de señal
 - El indicador led del canal asociado
-

"Habilitar diagnóstico de rotura de hilo"

- Seleccione su PLC S7-1200 en el "Árbol del proyecto" bajo "Configuración de dispositivos"
- Hacer clic sobre el módulo de señal en la ventana de "Configuración de dispositivo"
- Seleccionar la pestaña de "Propiedades" y hacer clic en el elemento "AI4/AO2" en el directorio "General"
- Desplazarse hacia abajo hasta el canal que se desea supervisar
- Seleccionar el tipo de salida analógica "Corriente"
- Comprobar la caja de selección de "Habilitar diagnóstico por rotura de hilo"

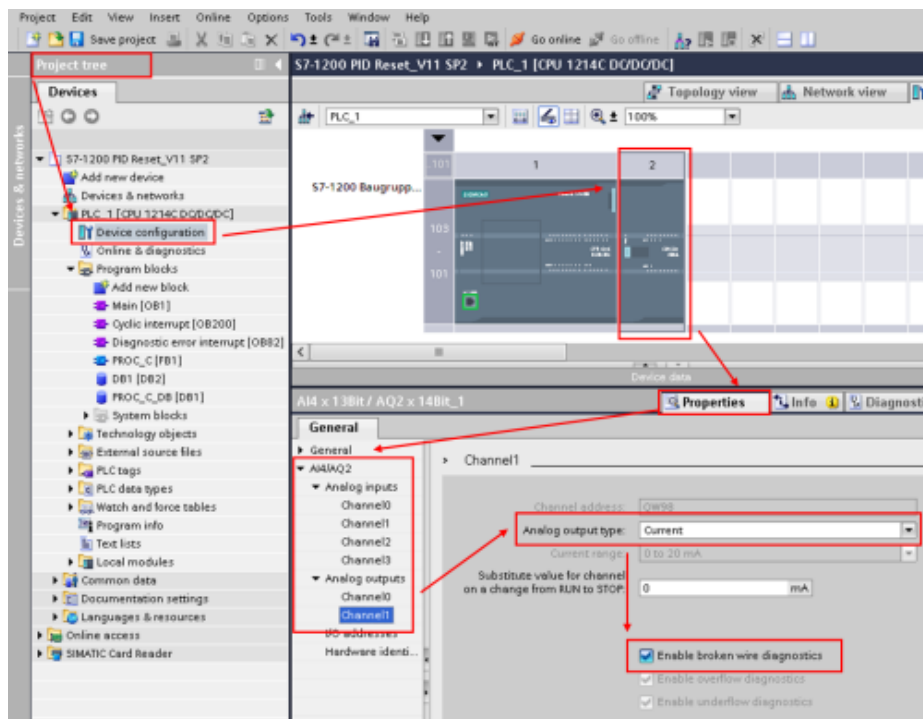


Figura 4.10 Rotura de hilo. Fuente el Autor

4.4.2.5. Diagnóstico en línea con STEP 7 Basic

Cuando se tiene acceso en línea al PLC S7-1200 con STEP 7 Basic, se puede usar la función "Online y diagnóstico":

- Ponerse en línea con el PLC S7-1200
- Navegar en el "Árbol del proyecto" hasta la entrada "Online y diagnóstico"
- Seleccionar el elemento "Búfer de diagnóstico" en la zona de "Acceso online"
- Seleccionar el evento de error de diagnóstico en la tabla de "Eventos".
- En la tabla de "Eventos" se muestran detalles del evento seleccionado. Aquí se mostrarán la identificación de hardware (HW ID), el número de canal y el tipo de evento

Nota

Un "evento entrante" indica el comienzo de un evento

Un "evento saliente" indica el final de un evento

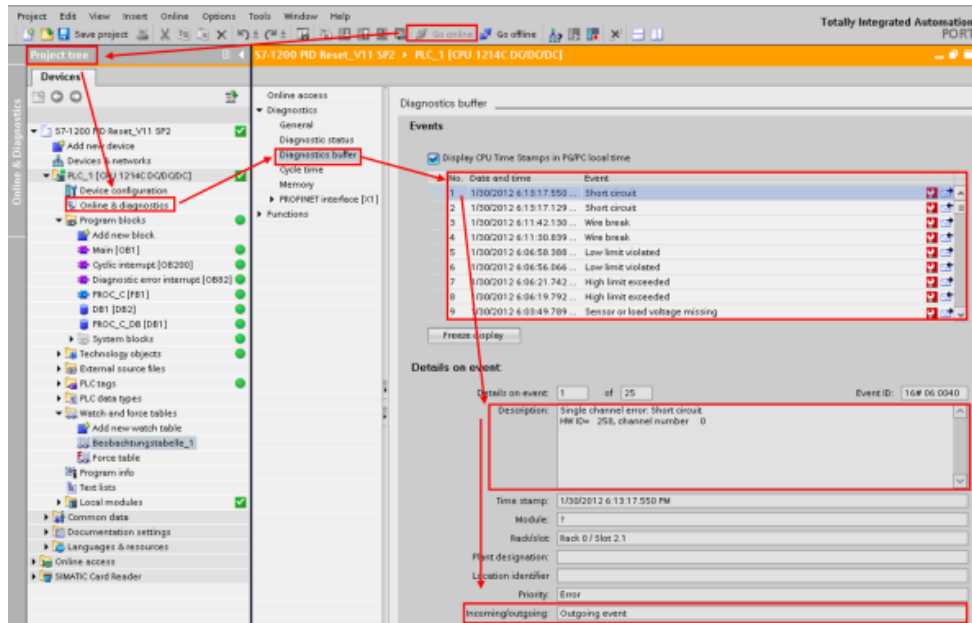


Figura 4.11 Diagnóstico en línea con STEP 7 Basic. Fuente el Autor

4.4.2.6. Variable "IOstate"

La Tabla 4.1 muestra los posibles estados de E/S de la variable "IOstate".

Tabla 4.1 Variable "IOstate". Fuente el Autor

BITS	Descripción
Bit	Configuración correcta:
	1 si la configuración es correcta
	0 si la configuración ya no es correcta
Bit 4	Error
	1 si hay un error presente (por ejemplo, una rotura de hilo)
	0 si el error ya no está presente
Bit 5	Configuración correcta:
	1 si la configuración es incorrecta
	0 si la configuración vuelve a ser correcta
Bit 6	no se puede acceder a la periferia:
	1 si se ha producido un error de acceso a la periferia
	en este caso, la variable "laddr" contiene el error identificador de hardware de la periferia con el error de acceso
	0 si se puede volver otra vez a acceder a la periferia

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La realización de una arquitectura adecuada de control se basa en parte en comprender el proceso que se desea supervisar/controlar, en este caso la planta de Tratamiento de Agua Potable de San Cristóbal – Paute y en el aporte de conocimientos que puede hacer el encargado de la automatización, para lograr un diseño óptimo. De esta forma el sistema de control podrá realizar un trabajo de forma eficiente. En el análisis del proceso de tratamiento de agua potable se logró un diseño satisfactorio para su operación y mantenimiento, debido a que se puede tener menos pérdidas de agua por sobrepasar el nivel.
- La utilización del software TIA PORTAL V.14 es de gran utilidad, permitiendo adaptar módulos de mayor número de entradas o salidas sin incumplir los requerimientos de potencia.

- La búsqueda y posterior análisis de los manuales y catálogos de los equipos de control asociados, permitieron establecer las dimensiones de tableros, ubicación de los equipos, cableado de señales, niveles de tensión entre otros.
- Los planos de conexión de los equipos no solo deben estar correctamente cableados, también deben tener su respectiva numeración de borneras, una clara enumeración de cables y demás componentes. Solo así el proveedor podrá realizar una cotización lo más cercana posible al precio del producto final, en las tablas de los equipos se colocó un valor referencial de los equipos dentro del mercado nacional. (refiérase a la Tabla 3.9, Tabla 3.10, Tabla 3.11, Tabla 3.12, Tabla 3.13, Tabla 3.14 y Tabla 3.15)
- Se realizó la ingeniería básica y de detalle del sistema de control automático basado lo que permitió la búsqueda de equipos existentes en el mercado local, eligiendo así la mayoría de los equipos de marca Siemens porque cumplen con las necesidades y características para la automatización de la planta de tratamiento de agua, con lo que se puede minimizar problemas de funcionamiento o compatibilidad entre los equipos existentes.
- La elección de un controlador lógico de altas prestaciones para el cuarto de control se realizó con la proyección de que en un futuro se incluya al sistema de control la automatización de la etapa de bombeo y distribución.

- Se estableció los criterios y procedimientos básicos de construcción, aplicables en la parte de automatización e implementación de pequeñas plantas de tratamiento de agua potable, además se determinó los parámetros de funcionamiento según los requerimientos del sistema de control automático de la planta de agua potable.
- Para el dimensionamiento, regulación y evaluación energética de la estación de bombeo es fundamental el conocimiento de la evolución del sistema, como es en la parte de protecciones eléctricas saber dimensionar lo equipos para que estas cumplan su función de protección al sistema y los equipos que lo constituyen.
- Se establece los criterios y procedimientos básicos de construcción, para la automatización e implementación de pequeñas plantas de tratamiento de agua potable, para mejorar sus rendimientos y calidad del servicio mediante los equipos propuestos en el proceso de potabilización.
- En la realización del diseño se determinó los parámetros de funcionamiento según los requerimientos del sistema de control automático de la planta de agua potable, detallando así su modo de operación y el detalle de los equipos necesarios.
- En los anexos se presentan los diseños del sistema de control para la automatización, separados mediante un diseño de fuerza y control de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, de igual manera se anexa el diseño de la planta con los equipos proyectados, diagramas de flujo de cada etapa y su respectiva lista de señales a ser utilizadas

5.2. RECOMENDACIONES

- Para buscar la solución óptima de regulación de una planta de tratamiento de agua potable se recomienda hacer una valoración de los costos de inversión y de los costos energéticos dependiendo del tipo de tarifa eléctrica contratada.
- El proceso de implementación y cableado de los instrumentos del grupo de bombeo deber realizarse conjuntamente con personal de la planta de tratamiento con el fin de que ellos estén al tanto de la ubicación de los equipos y así ellos estén en la capacidad de identificar y corregir posibles daños.
- La selección adecuada de válvulas provoca menores esfuerzos de operación, como tal no se debe pasar por alto dicha selección.
- Se recomienda tener precaución en el sobredimensionamiento de los equipos, ya que es producto de un mal cálculo, falta de previsión y algunos casos de falta de información, lo que ocasiona que se disponga de equipos que no cumplan con las características que requiere el sistema.
- Se debe tener cuidado con la programación de los controles lógicos con conexión Ethernet, ya que muchas veces el programador sobrescribe la dirección IP del mismo sin darse cuenta lo que produce un error de acceso.
- Se recomienda realizar un estudio de un sistema de puesta a tierra para el lugar, así como de la aclimatación del cuarto de máquinas para que lo equipos tengan un mejor funcionamiento y una mayor vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2010). Caudalímetro electromagnético. *ABB*, 1-5.
- ABB. (2016). Control y protección de motores, Contactores, relés de sobrecarga. 16-22.
- ABB. (03 de 2018). Accesorios de Gabinetes y Tableros. *Accesorios de Gabinetes y Tableros*.
- ABB. (s.f.). *Relés Térmicos de Sobrecarga*. Obtenido de <http://new.abb.com/low-voltage/es/productos/control-y-proteccion-de-motores/contactores-tripolares-y-reles-de-sobrecarga/reles-termicos-de-sobrecarga>
- Aguamarket. (03 de 2018). Obtenido de Aguamarket: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=5523>
- Aguamarket. (s.f.). *Aguamarket*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de Aguamarket: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=5523>
- aguas, C. d. (02 de 2018). Obtenido de Empresa Municipal de Aguas: <http://aguasdetorredelcampo.com/funcionamiento-de-una-etap/>
- Altec. (s.f.). *Electrovalvulas*. Obtenido de <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>
- Alvarez, A. (2018). *Entre Redes y Servidores*. Obtenido de Entre Redes y Servidores: <https://alexalvarez0310.wordpress.com/topologias-de-red/>
- ASCO. (2016). *Electrovavula Proporcional POSIFLOW*. Catalogo, ASCO.
- Automation. (03 de 2018). *Automation 24*. Obtenido de Automation 24: <https://www.automation24.es/fuente-de-alimentacion-siemens-power-modul-pm1207-6ep1332-1sh71>
- Automation. (03 de 2018). *Automation 24*. Obtenido de Automation 24: <https://www.automation24.es/siemens-sb-1232-ao-6es7232-4ha30-0xb0>
- Automation 24*. (03 de 2018). Obtenido de Automation 24: <https://www.automation24.es/siemens-sm-1234-ae-aa-6es7234-4he32-0xb0>
- Automation24. (03 de 2018). *Automation24*. Obtenido de Automation24: <https://www.automation24.es/contactor-siemens-sirius-3rt2028-1bb40>
- Automation24. (03 de 2018). *Automation24*. Obtenido de Automation24: <https://www.automation24.es/rele-de-sobrecarga-para-motores-siemens-sirius-3ru2126-4nb0>
- Automation24. (03 de 2018). *Automation24*. Obtenido de Automation24: <https://www.automation24.es/interruptor-automatico-siemens-sirius-3rv2021-4na10>
- Cardenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima, Peru.
- Caro Ramirez, M. A. (2011). *Automatización y Control de la Planta de Tratamiento de Agua Río Cauca*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- electroni, G. (03 de 2018). *Grenelectroni*. Obtenido de Grenelectroni: http://www.grelectroni.cl/index.php?id_producto=145&controller=product
- ElectronicaUNIMAG. (s.f.). Obtenido de <http://electronicaunimag.blogspot.com/2012/03/23-comparacion-entre-lazos.html>
- EPEC. (03 de 2018). La seguridad eléctrica. *EPEC*.
- EQUYS/S. (2018). Obtenido de https://www.equysis.com/producto/echomax-xps_445
- Estrada, V., & Gutiérrez, V. (2012). *Control y Monitoreo de una Potabilizadora de Agua por Medio de una Red de Controlnet*. México D.F.: Instituto politécnico nacional.
- Euchner. (03 de 2018). *Dispositivo de parada de emergencia*. Obtenido de Euchner: <https://www.euchner.de/es-es/Productos/Dispositivos-de-parada-de-emergencia/Dispositivo-de-parada-de-emergencia-ES>
- Finder. (2018). *Series - General purpose relays*.
- García, F., Pérez, F., & Carretero, J. (2002). *Libro de Prácticas de Sistemas Operativos*. Mc Grall Hill.
- García, J. Y. (2013). *Prototipo de sistema de monitoreo para la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad Tecnológica de la Mixteca*. Tesis , Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca.

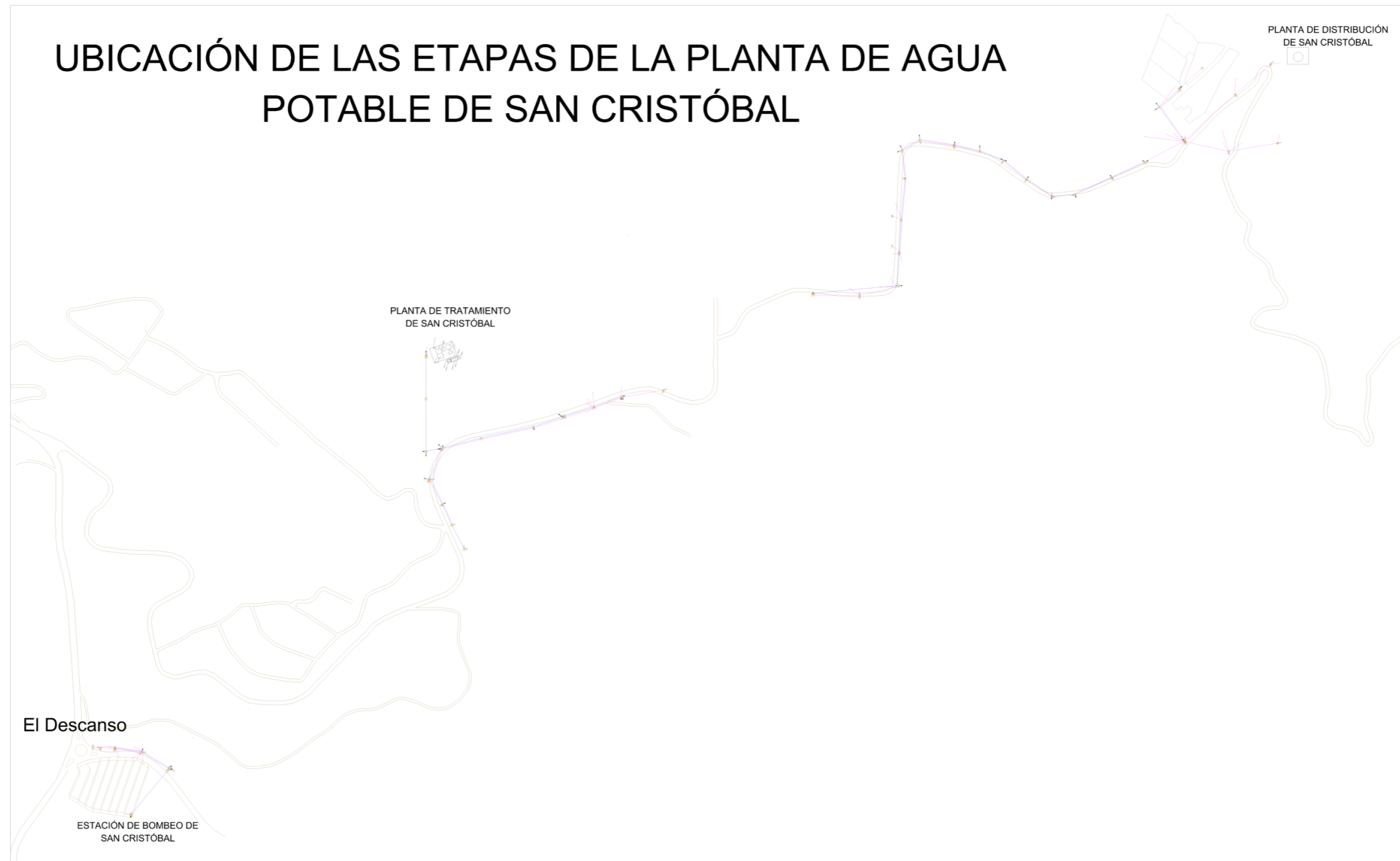
- Giraldo, G. M. (2016). *Evaluación de los procesos de operación de la planta de tratamiento para potabilización de agua Villasantana ubicada en la ciudad de Pereira, Risaralda*. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Google maps. (2018). Recuperado el 2018, de <https://www.google.com/maps/@-2.833796,-78.8715638,15.79z>
- gratuita, E. (03 de 2018). Obtenido de Electricidad gratuita: <http://www.electricidad-gratuita.com/calculo-de-cables-electricos-paneles-solares/>
- Hidalgo, R. G. (s.f.). *Silicon Technology*. Obtenido de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-rudy.pdf>
- Indumelec. (03 de 2018). Obtenido de Indumelec: <http://indumelec.cl/>
- Industry, D. (05 de 2017). *Direct Industry*. Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.fr/prod/utility-electrical-co-ltd/product-163278-1746732.html>
- Industry, D. (03 de 2018). Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.es/prod/danfoss-industrial-automation/product-40815-1290301.html>
- Industry, D. (s.f.). *Caudalímetro*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/caudalimetro-insercion-84910.html>
- LLAVE, L. (03 de 2018). Obtenido de LA LLAVE: <http://la-llave.com/ec/marca/goulds-pumps.html>
- ManFlex. (03 de 2018). Obtenido de ManFlex: <http://manguerasindustriales.com.pe/productos.php?code=3>
- Maristas. (2018). Recuperado el 09 de 04 de 2018, de https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiz2a_Z9q3aAhUPCKwKHxapBE4QjRx6BAgAEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.maristasccv.es%2Fcontent%2Fvisita-la-estaci%25C3%25B3n-de-tratamiento-de-agua-potable&psig=AOvVaw2r6X6UBAQCNrzUpWJwg4MV
- Masvoltaje. (2018). Obtenido de <https://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1234-simatic-s7-1200-modulo-de-e-s-analogicas-sm-1234-4-ea-2-sa-6940408100343.html>
- Masvoltaje. (2018). Obtenido de <https://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1231-simatic-s7-1200-modulo-de-salidas-analogicas-sb-1232-1-sa-6940408100435.html>
- Masvoltaje. (2018). Obtenido de <http://www.directindustry.com/prod/siemens-power-supplies/product-17494-1306277.html>
- Moromenacho Oña, E. J. (2008). *Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático de la Estación de Bombeo de Agua Potable Colinas Alto de la EMAAP-Q*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Panneso, J., Ceballos, J., & Reyes, J. (1995). Automatización de Plantas de Tratamiento de Agua. *Energía y Computación*, IV(2), 49-55.
- París, A. P. (2003). *RELÉS ELECTROMAGNÉTICOS Y ELECTRÓNICOS. PARTE I*.
- Pérez, E. (2014). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*. Recinto Grecia.
- Perez, M. A. (2007). *“INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.”*. San Juan.
- Politubo. (03 de 2018). Obtenido de Politubo: <http://politubo.com/conduit.php>
- Rojas, H. (s.f.). *Automatización Industrial mediante PLC*. Obtenido de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/category/7-arquitectura-de-los-plc/>
- Schneider Electric. (s.f.). Obtenido de <https://www.schneider-electric.com.ar/es/product-category/1500-contactores-y-rel%C3%A9s-de-protecci%C3%B3n/>
- Schneider Electric. (s.f.). *Guía de protección diferencial*.
- Schneider. (s.f.). *Manual Dispositivo diferencial Residual*.
- Siemens. (2011). *Manual Operativo Interruptor Automático Sirius*.
- Siemens. (2009). *Manual del Sistema SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*.
- Siemens. (03 de 2018). Obtenido de Siemens Industry: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/42781105/%C2%BFc%C3%B3mo-se-procede-cuando-el-s7-1200-detecta-errores-en-equipos-de-periferia-?dti=0&lc=es-WW>
- Siemens. (03 de 2018). Obtenido de <https://www.compra-venta.es/siemens-panel>

- Siemens. (2018). Obtenido de <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-caudal/electromagneticos/campo-continuo/sensor/pages/sitrans-f-m-mag-5100-w.aspx>
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/p/arrancadores-suaves/0420479/>
- Siemens. (03 de 2018). Medida de Presion. *Siemens*, 1, 378.
- Siemens. (03 de 2018). *Siemens*. Obtenido de Siemens: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_basico_s71200/pages/s7-1200.aspx
- Siemens. (03 de 2018). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjHppel0PXZAhVQEawKHalPB-cQjRx6BAgAEAU&url=http%3A%2F%2Fw3.siemens.com%2Fmcms%2Fsensor-systems%2Fes%2Finstrumentacion-de-procesos%2Fmedicion-de-caudal%2Felectromagn>
- Siemens. (03 de 2018). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-nivel/metodo-continuo/ultrasonidos/sensores/Pages/transductor-echomax-xrs-5.aspx>
- SIEMENS. (2018). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10045686>
- Siemens. (s.f.). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://pt.rs-online.com/web/p/displays-hmi-de-pantalla-tactil/6889174/>
- Sodimac. (03 de 2018). Obtenido de SODIMAC: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/118783X/Timer-digital-riel-din,-Completel/118783X>
- Tipos de redes informaticas.* (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/redes1118pc/home/redes-por-topologia>
- TodoElectrico. (03 de 2018). Obtenido de TodoElectrico: <https://www.todoelectrico.es/blog/39-que-son-las-bornas-de-conexion-electrica-y-para-que-sirven.html>
- U., M. A. (2000). *Medicion de Presion y Caudal*. Boletin INIA, Centro de Investigacion Kampenaike, Punta Arenas.
- Unicrom, E. (03 de 2018). *Electronica Unicrom*. Obtenido de Electronica Unicrom: <https://unicrom.com/luz-piloto-de-baja-potencia/>
- VIDRI. (2018). Obtenido de <https://www.vidri.com/sv/producto/47513/Guardamotor-de-14-a-20-amperios.html>

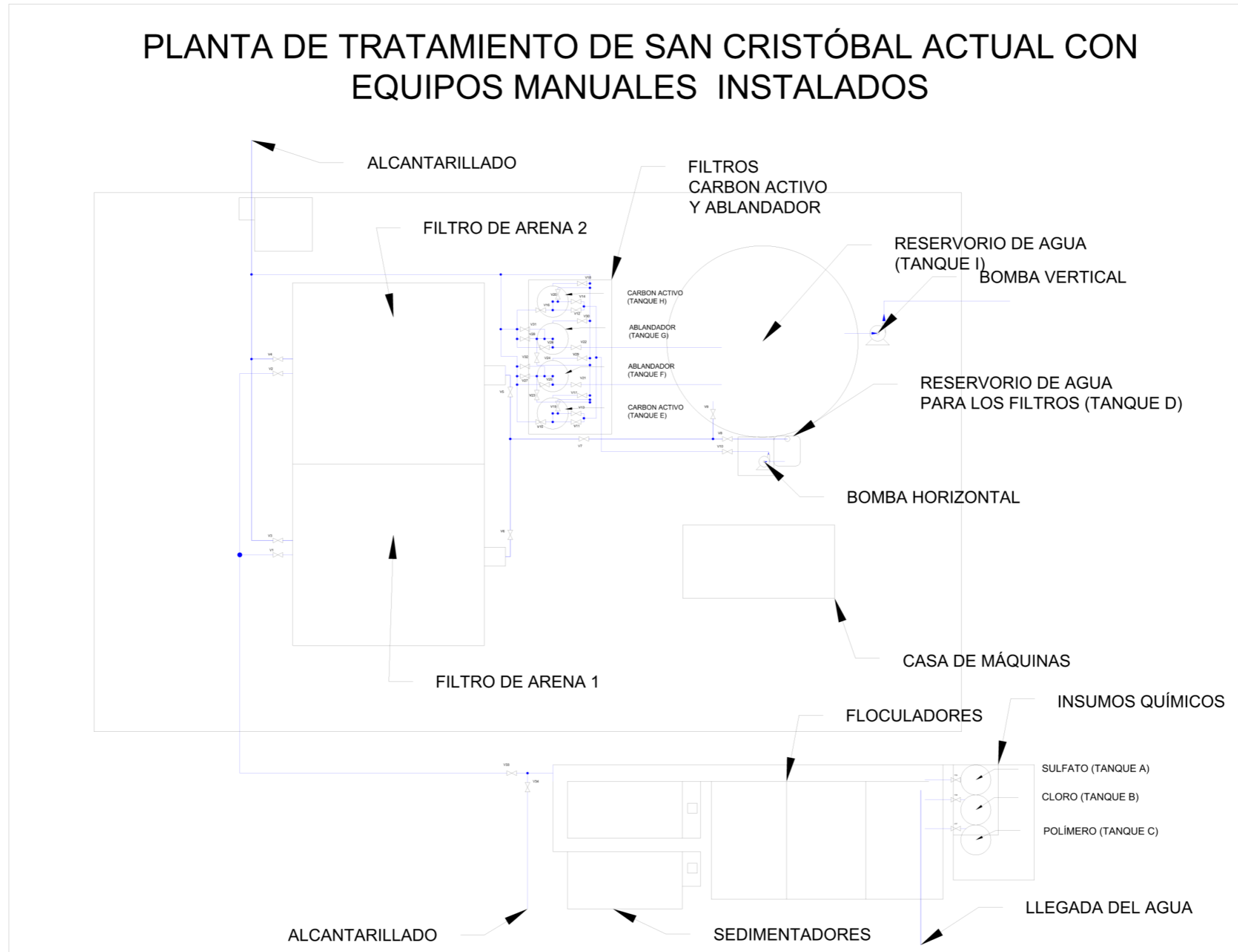


ANEXOS

ANEXO 3.1. Planta de Agua Potable de San Cristóbal – Paute



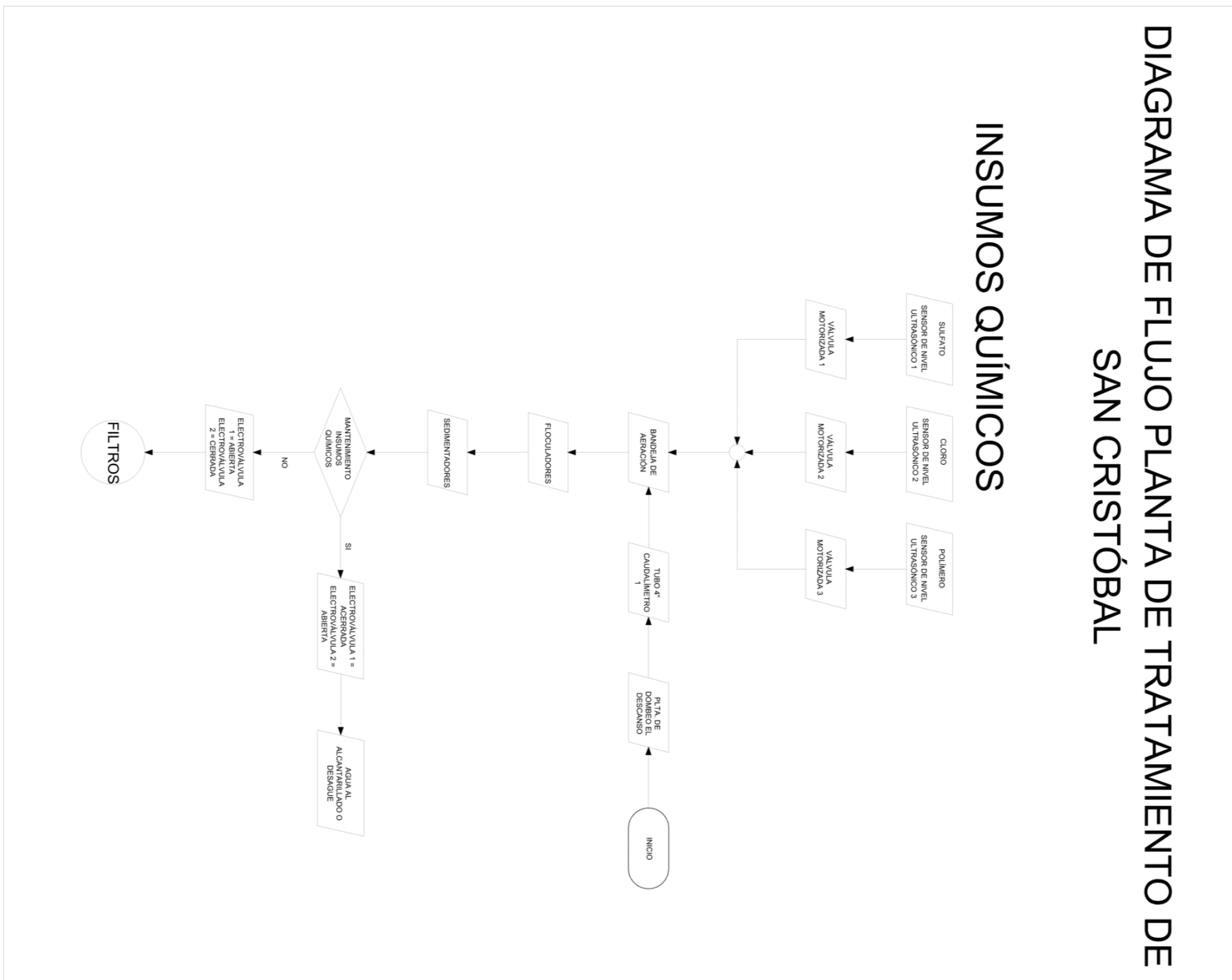
ANEXO 3.2. Planta actual de tratamiento de agua de San Cristóbal



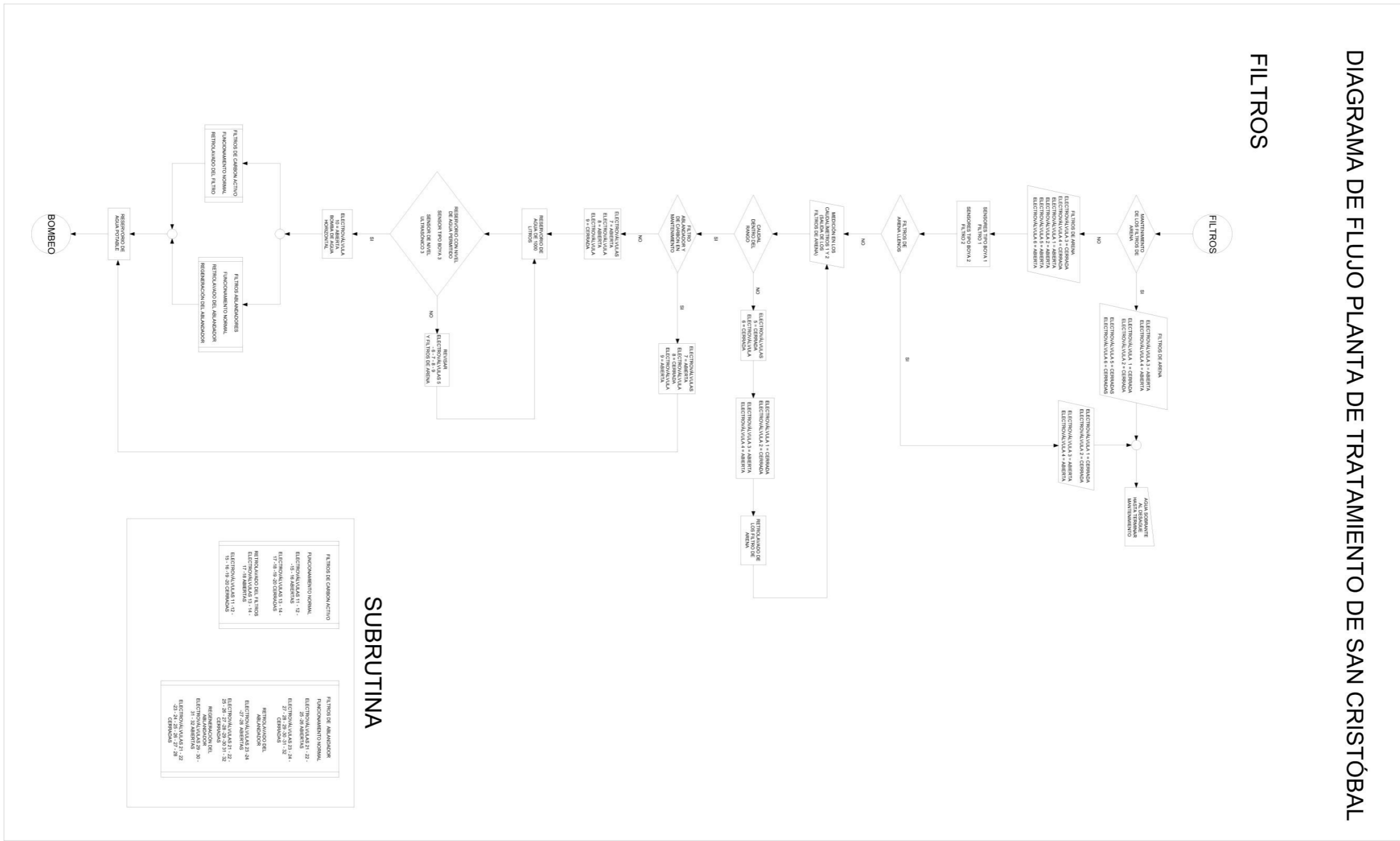
ANEXO 3.3. Planta de tratamiento de San Cristóbal con los equipos proyectados para su automatización.



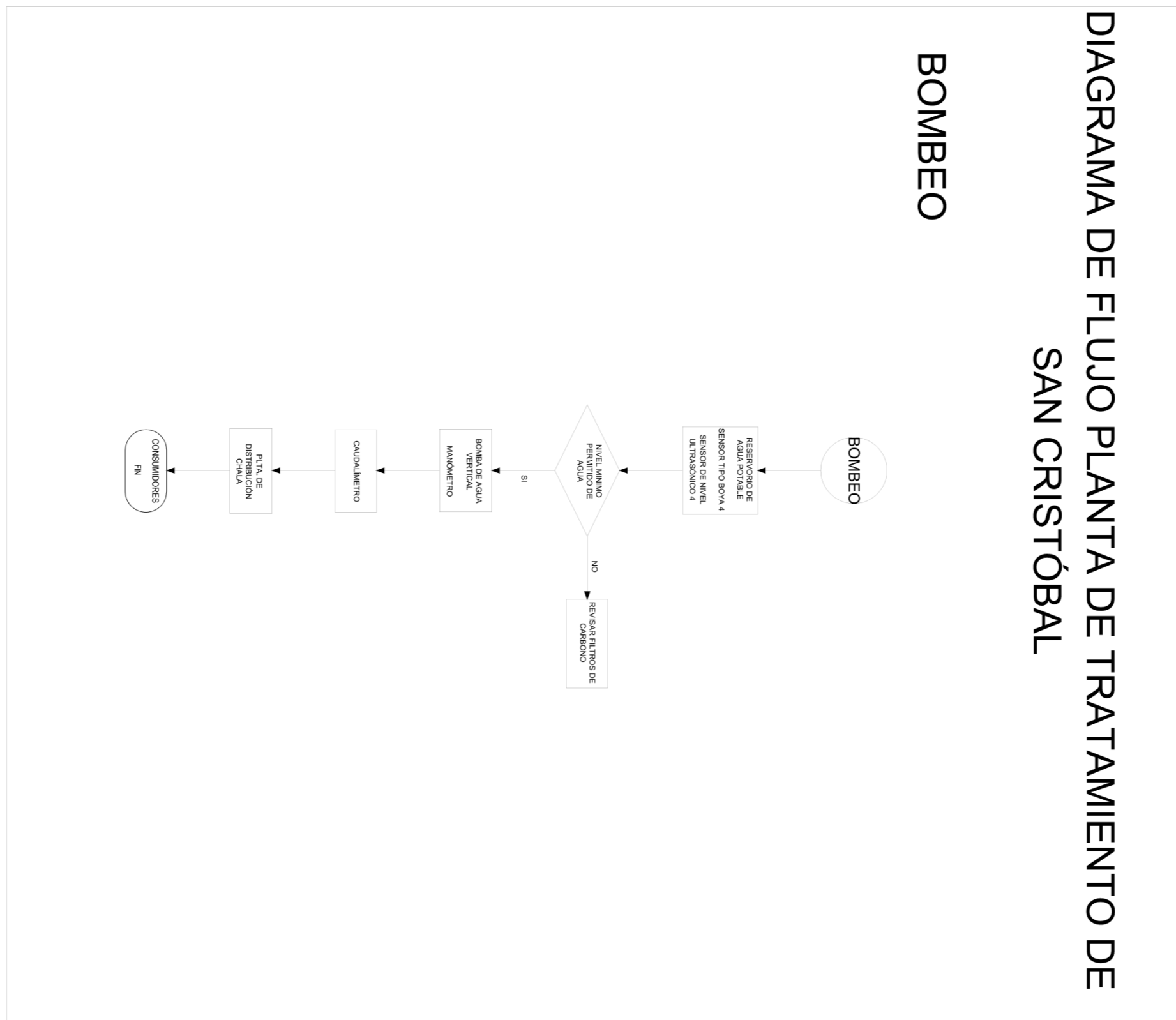
ANEXO 4.1. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 1 Insumos Químicos



ANEXO 4.2. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 2 Filtros



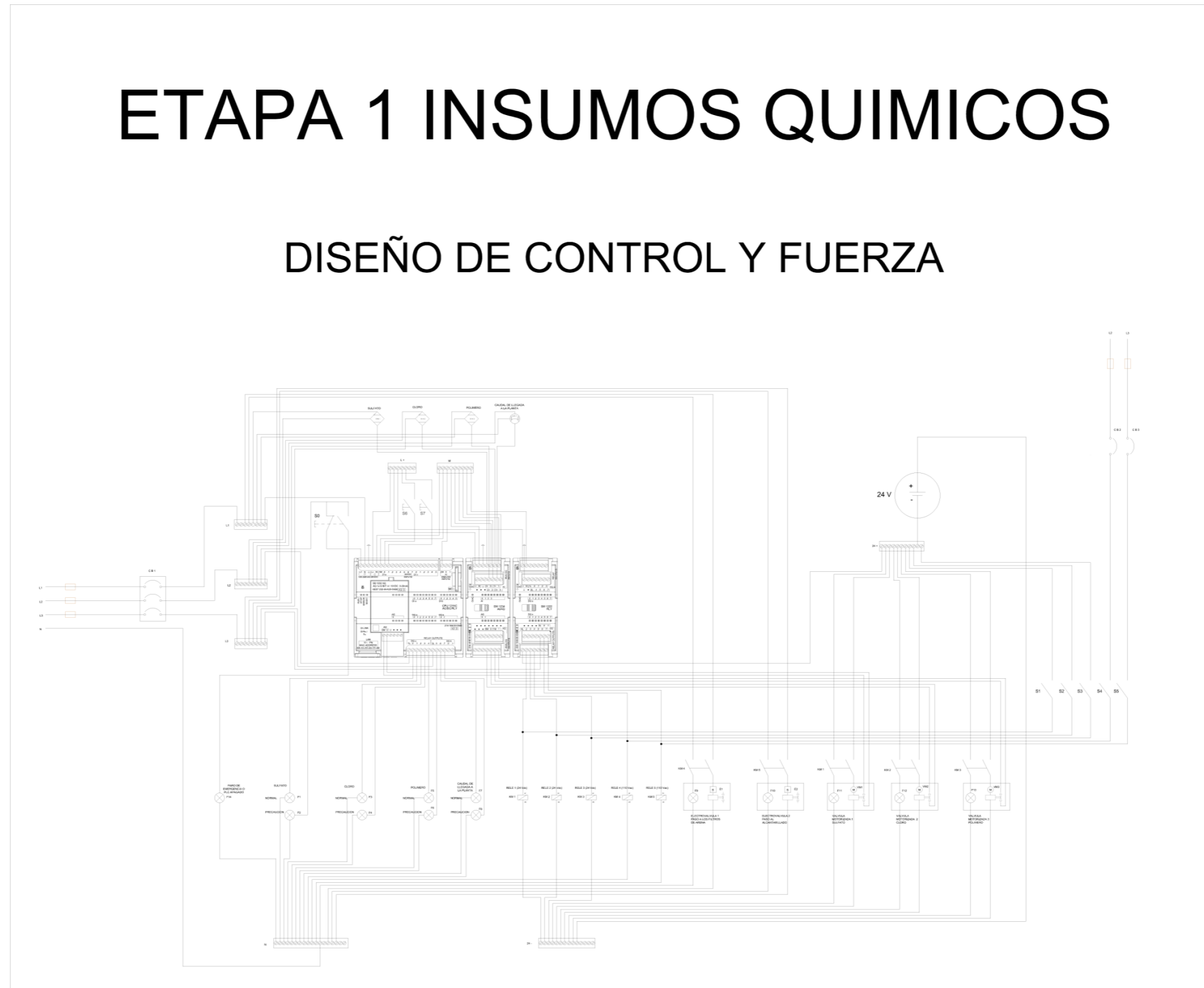
ANEXO 4.3. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de San Cristóbal etapa 3 Bombeo



ANEXO 4.4. Etapa 1 Diseño de fuerza y control

ETAPA 1 INSUMOS QUIMICOS

DISEÑO DE CONTROL Y FUERZA



ANEXO 4.5. Listado de señales de entrada salida de la etapa 1 Insumos Químicos

LISTA DE SEÑALES DE ENTRADA/SALIDA								
ETAPA 1 INSUMOS QUÍMICOS								
No.	EQUIPO	E/D	S/D	E/A	S/A	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	ALIMENTACIÓN
PLC S7-1200								
1	PULSANTE NA	10.0				S6	VALVULA SALIDA HACIA FILTROS DE ARENA	
2	PULSANTE NA	10.1				S7	VALVULA SALIDA HACIA EL ALCANTARILLADO	
3	PULSANTE NC/NA					S0	PARO DE EMERGENCIA ETAPA 1 INSUMOS QUÍMICOS	
4	LUZ PILOTO		Q0.0			F1	NIVEL NORMAL DE SULFATO	110 VAC
5	LUZ PILOTO		Q0.1			F2	PRECAUCIÓN NIVEL DE SULFATO	110 VAC
6	LUZ PILOTO		Q0.2			F3	NIVEL NORMAL DE CLORO	110 VAC
7	LUZ PILOTO		Q0.3			F4	PRECAUCIÓN NIVEL DE CLORO	110 VAC
8	LUZ PILOTO		Q0.4			F5	NIVEL NORMAL DE POLÍMERO	110 VAC
9	LUZ PILOTO		Q0.5			F6	PRECAUCIÓN NIVEL DE POLÍMERO	110 VAC
10	LUZ PILOTO		Q0.6			F7	NIVEL NORMAL DE CAUDAL	110 VAC
11	LUZ PILOTO		Q0.7			F8	PRECAUCIÓN NIVEL DE CAUDAL	110 VAC
12	ALIMENTACIÓN					L1-N	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO	220 VAC
13	ALIMENTACIÓN					DQ a 1L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELE	L2 (110 VAC)
14	ALIMENTACIÓN					DQ a 2L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELE	L3 (110 VAC)
SB 1232 AQ								
15	VALVULA MOTORIZADA				QW80	VM1	VALVULA MOTORIZADA CONTROL DE CAUDAL DE SALIDA SULFATO	
MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234								
16	SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO			IW96		S.N.1	NIVEL DE SULFATO	220 VAC
17	SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO			IW98		S.N.2	NIVEL DE CLORO	220 VAC
18	SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO			IW100		S.N.3	NIVEL DE POLÍMERO	220 VAC
19	SENSOR DE CAUDAL			IW102		S.C.1	CAUDAL DE LLEGADA A LA PLANTA	220 VAC
20	VALVULA MOTORIZADA			QW96		VM2	VALVULA MOTORIZADA CONTROL DE CAUDAL DE SALIDA CLORO	
21	VALVULA MOTORIZADA			QW98		VM3	VALVULA MOTORIZADA CONTROL DE CAUDAL DE SALIDA POLÍMERO	
22	ALIMENTACIÓN					L+ M	ALIMENTACIÓN DEL MODULO PARA SU FUNCIONAMIENTO	24 VDC
MODULO DE EXPANSIÓN DIGITAL SM 1222								
23	RELE		Q13.0			KM 1	ACTIVACIÓN BOBINA VM1 PARA PASO DE CAUDAL DE SULFATO	24 VDC
24	RELE		Q13.1			KM 2	ACTIVACIÓN BOBINA VM2 PARA PASO DE CAUDAL DE CLORO	24 VDC
25	RELE		Q13.2			KM 3	ACTIVACIÓN BOBINA VM1 PARA PASO DE CAUDAL DE POLÍMERO	24 VDC
26	RELE		Q13.3			KM 4	ACTIVACIÓN DE E2 PARA PASO HACIA ALCANTARILLADO	110 VAC
27	RELE		Q13.4			KM 5	ACTIVACIÓN DE E1 PARA PASO HACIA FILTROS DE ARENA	110 VAC
28	ALIMENTACIÓN					L+ M	ALIMENTACIÓN DEL MODULO PARA SU FUNCIONAMIENTO	24 VDC
29	ALIMENTACIÓN					DQ B 3L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELE	L3 (110 VAC)
30	ALIMENTACIÓN					DQ B 4L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELE	24 VDC
EQUIPOS ADICIONALES (EXTERNOS)								
31	LUZ PILOTO					F9	AVISO DE ACTIVACIÓN DE E1	110 VAC
32	LUZ PILOTO					F10	AVISO DE ACTIVACIÓN DE E2	110 VAC
33	LUZ PILOTO					F11	AVISO DE ACTIVACIÓN DE VM1	24 VDC
34	LUZ PILOTO					F12	AVISO DE ACTIVACIÓN DE VM2	24 VDC
35	LUZ PILOTO					F13	AVISO DE ACTIVACIÓN DE VM3	24 VDC
36	INTERRUPTOR NA					S1	ACTIVACIÓN MANUAL DE KM1	
37	INTERRUPTOR NA					S2	ACTIVACIÓN MANUAL DE KM2	
38	INTERRUPTOR NA					S3	ACTIVACIÓN MANUAL DE KM3	
39	INTERRUPTOR NA					S4	ACTIVACIÓN MANUAL DE KM4	
40	INTERRUPTOR NA					S5	ACTIVACIÓN MANUAL DE KM5	
41	FUENTE DE 24 VDC							

ANEXO 4.6. Etapa 2 Filtros, diseño de control

ETAPA 2 FILTROS

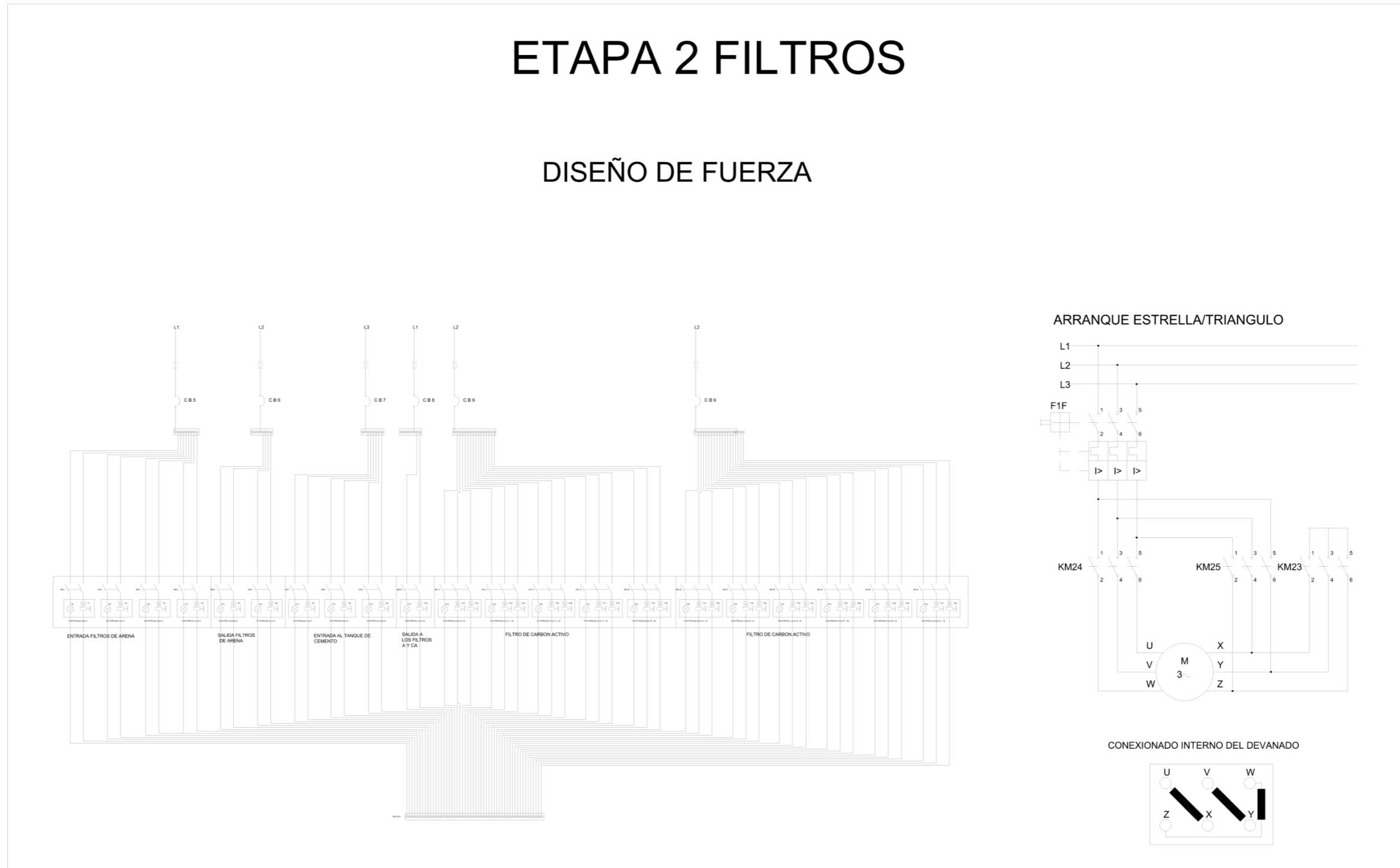
DISEÑO DE CONTROL



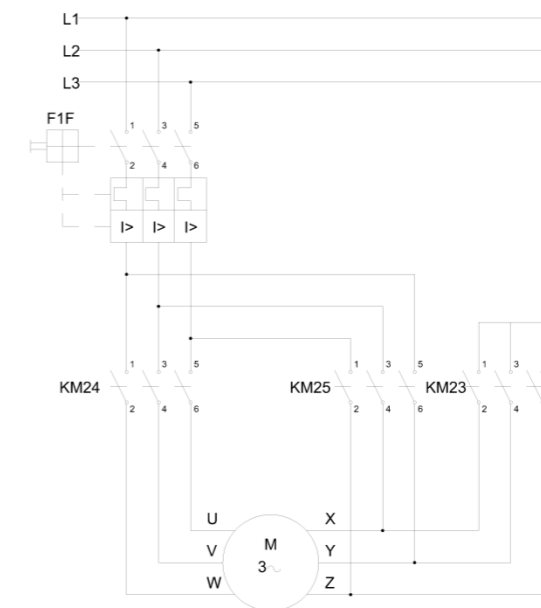
ANEXO 4.7. Etapa 2 Filtros, diseño de fuerza

ETAPA 2 FILTROS

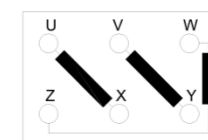
DISEÑO DE FUERZA



ARRANQUE ESTRELLA/TRIANGULO



CONEXIONADO INTERNO DEL DEVANADO



ANEXO 4.8. Listado de señales de entrada salida de la etapa 2 Filtros

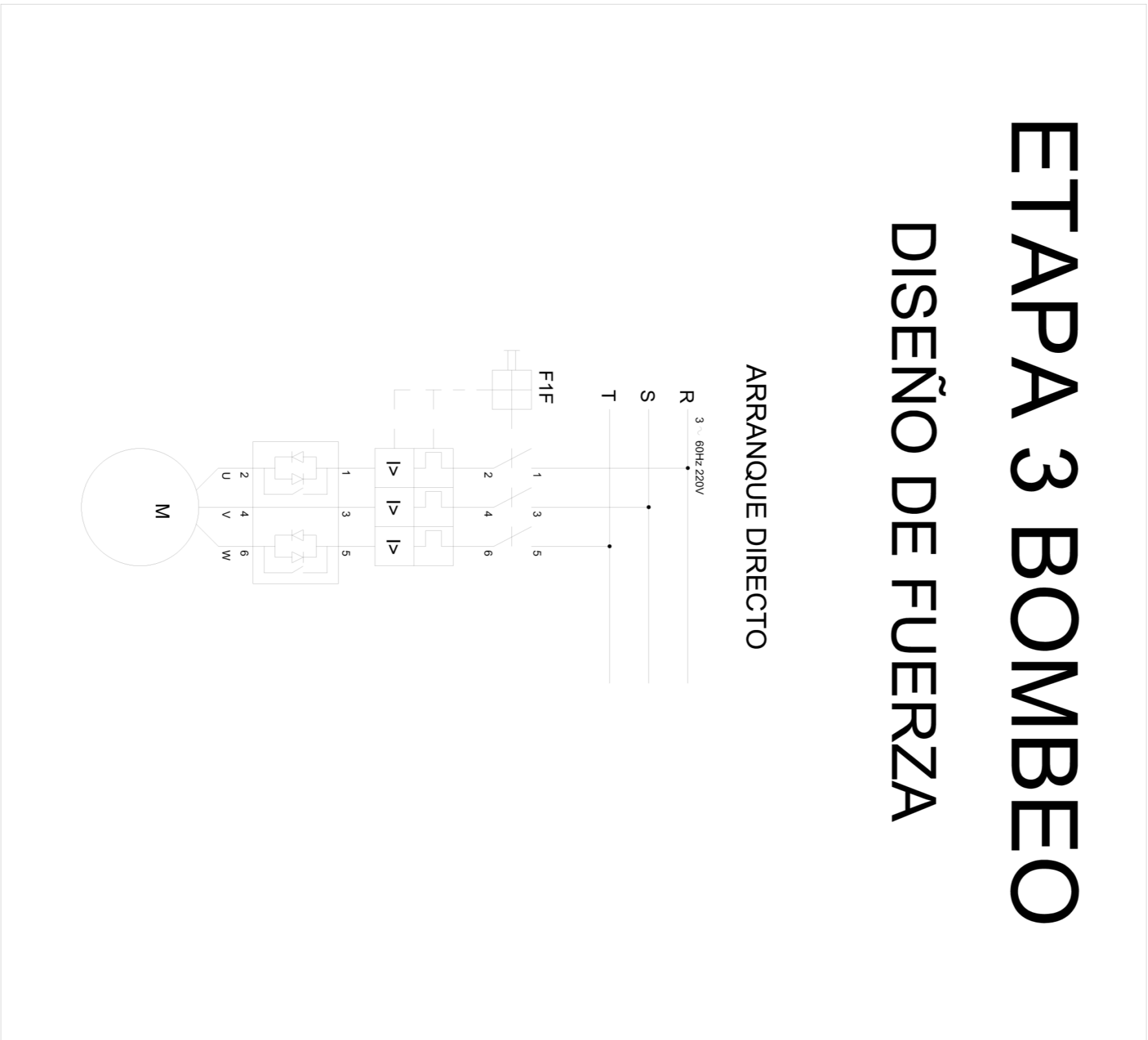
LISTA DE SEÑALES DE ENTRADA/SALIDA							ALIMENTACIÓN
ETAPA 2 FILTROS							
No.	EQUIPO	E/D	S/D	E/A	S/A	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
PLC S7-1200							
1	SENSOR TIPO BOYA	I0.0				F1	AVISO DE NIVEL DE AGUA DE FILTRO DE ARENA 1
2	SENSOR TIPO BOYA	I0.1				F2	AVISO DE NIVEL DE AGUA DE FILTRO DE ARENA 2
3	SENSOR TIPO BOYA	I0.2				F3	AVISO DE NIVEL DE AGUA PARA BOMBEO HACIA FILTROS DE C.A. Y A.
4	PULSANTE NC/NA					S29	PARO DE EMERGENCIA ETAPA 2 FILTROS
5	PULSANTE NA	I0.3				S1	FUNCIONAMIENTO NORMAL DEL ABLANDADOR
6	PULSANTE NA	I0.4				S2	RETROLAVADO DEL ABLANDADOR
7	PULSANTE NA	I0.5				S3	REGENERACIÓN DEL ABLANDADOR
8	PULSANTE NA	I0.6				S4	FUNCIONAMIENTO NORMAL DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVO (C.A.)
9	PULSANTE NA	I0.7				S5	RETROLAVADO DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
10	SENSOR DE CAUDAL			IW64		S.C.1	SENSA EL CAUDAL DE SALIDA DEL FILTRO 1 DE ARENA
11	SENSOR DE CAUDAL			IW67		S.C.2	SENSA EL CAUDAL DE SALIDA DEL FILTRO 2 DE ARENA
12	ALIMENTACIÓN					DQ a 1L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
13	ALIMENTACIÓN					DQ a 2L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
14	ALIMENTACIÓN					L1-N	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO
15	LUZ PILOTO		Q0.0			F1 (S.C.1)	CAUDAL NORMAL SALIDA DE FILTRO DE ARENA 1. FUNCIONANDO
16	LUZ PILOTO		Q0.1			F2 (S.C.2)	CAUDAL NORMAL SALIDA DE FILTRO DE ARENA 2. FUNCIONANDO
17	LUZ PILOTO		Q0.2			F3 (S.N.1)	AVISO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL DEL SENSOR DE NIVEL
18	LUZ PILOTO		Q0.3			F4 (F1)	AVISO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL DE INTERRUPTOR TIPO BOYA
19	LUZ PILOTO		Q0.4			F5 (F2)	AVISO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL DE INTERRUPTOR TIPO BOYA
20	LUZ PILOTO		Q0.5			F6 (F3)	AVISO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL DE INTERRUPTOR TIPO BOYA
21	RELE		Q0.6			KM1	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 1
22	RELE		Q0.7			KM2	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 2
23	RELE		Q1.0			KM3	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 3
24	RELE		Q1.1			KM4	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 4
MODULO DE EXPANSIÓN DIGITAL SM 1222 (1)							
25	RELE		Q8.1			KM 22	COMANDO PARA ACTIVACIÓN DE BOMBA DE LOS FILTROS C.A. Y A.
26	RELE		Q9.2			KM 5	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 5 SALIDA FILTRO DE ARENA 1
27	RELE		Q9.3			KM 6	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 6 SALIDA FILTRO DE ARENA 2
28	RELE		Q9.4			KM 7	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 7 PASO HACIA LOS TANQUES
29	RELE		Q9.5			KM 8	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 8 PASO AL TANQUE AZUL
30	RELE		Q9.6			KM 9	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 9 PASO AL RESERVORIO PRINCIPAL
31	RELE		Q9.0			KM 10	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 10 SALIDA DEL TANQUE AZUL
32	RELE		Q9.7			KM 11	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 11 - 12 FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
33	RELE		Q9.1			KM 12	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 13 - 14 FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
34	ALIMENTACIÓN		Q8.0			L+ M	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 15 - 16 FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
35	ALIMENTACIÓN					DQ a 1L	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO
36	ALIMENTACIÓN					DQ b 3L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
37	ALIMENTACIÓN					DQ b 4L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
MODULO DE EXPANSIÓN DIGITAL SM 1222 (2)							
25	RELE		Q12.3			KM 14	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 17 - 18 FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
26	RELE		Q12.4			KM 15	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 19 - 20 FILTRO DE CARBÓN ACTIVO
27	RELE		Q12.5			KM 16	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 21 - 22 FILTRO ABLANDADOR
28	RELE		Q12.6			KM 17	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 23 - 24 FILTRO ABLANDADOR
29	RELE		Q12.7			KM 18	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 25 - 26 FILTRO ABLANDADOR
30	RELE		Q12.0			KM 19	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 27 - 28 FILTRO ABLANDADOR
31	RELE		Q12.1			KM 20	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 29 - 30 FILTRO ABLANDADOR
32	RELE		Q12.2			KM 21	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 31 - 32 FILTRO ABLANDADOR
34	ALIMENTACIÓN					L+ M	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO
35	ALIMENTACIÓN					DQ a 1L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
36	ALIMENTACIÓN					DQ a 2L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ
MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234							
37	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO				IW128	S.N.1	NIVEL DE AGUA EN EL RESERVORIO AZUL
38	ALIMENTACIÓN					L+ M	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO

EQUIPOS ADICIONALES (EXTERNOS)							
39	LUZ PILOTO				F7	MOTOR HORIZONTAL ENCENDIDO	220 VAC
40	LUZ PILOTO				F8	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 1	110 VAC
41	LUZ PILOTO				F9	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 2	110 VAC
42	LUZ PILOTO				F10	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 3	110 VAC
43	LUZ PILOTO				F11	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 4	110 VAC
44	LUZ PILOTO				F12	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 5	110 VAC
45	LUZ PILOTO				F13	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 6	110 VAC
46	LUZ PILOTO				F14	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 7	110 VAC
47	LUZ PILOTO				F15	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 8	110 VAC
48	LUZ PILOTO				F16	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 9	110 VAC
49	LUZ PILOTO				F17	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 10	110 VAC
50	LUZ PILOTO				F18	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 11	110 VAC
51	LUZ PILOTO				F19	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 12	110 VAC
52	LUZ PILOTO				F20	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 13	110 VAC
53	LUZ PILOTO				F21	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 14	110 VAC
54	LUZ PILOTO				F22	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 15	110 VAC
55	LUZ PILOTO				F23	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 16	110 VAC
56	LUZ PILOTO				F24	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 17	110 VAC
57	LUZ PILOTO				F25	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 18	110 VAC
58	LUZ PILOTO				F26	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 19	110 VAC
59	LUZ PILOTO				F27	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 20	110 VAC
60	LUZ PILOTO				F28	AVISO DE ACTIVACIÓN DE KM 21	110 VAC
61	LUZ PILOTO				F29	AVISO DE PARO DE EMERGENCIA O PLC APAGADO	220 VAC
62	INTERRUPTOR NA				S7	ACTIVACIÓN DE KM 1	
63	INTERRUPTOR NA				S8	ACTIVACIÓN DE KM 2	
64	INTERRUPTOR NA				S9	ACTIVACIÓN DE KM 3	
65	INTERRUPTOR NA				S10	ACTIVACIÓN DE KM 4	
66	INTERRUPTOR NA				S11	ACTIVACIÓN DE KM 5	
67	INTERRUPTOR NA				S12	ACTIVACIÓN DE KM 6	
68	INTERRUPTOR NA				S13	ACTIVACIÓN DE KM 7	
69	INTERRUPTOR NA				S14	ACTIVACIÓN DE KM 8	
70	INTERRUPTOR NA				S15	ACTIVACIÓN DE KM 9	
71	INTERRUPTOR NA				S16	ACTIVACIÓN DE KM 10	
72	INTERRUPTOR NA				S17	ACTIVACIÓN DE KM 11	
73	INTERRUPTOR NA				S18	ACTIVACIÓN DE KM 12	
74	INTERRUPTOR NA				S19	ACTIVACIÓN DE KM 13	
75	INTERRUPTOR NA				S20	ACTIVACIÓN DE KM 14	
76	INTERRUPTOR NA				S21	ACTIVACIÓN DE KM 15	
77	INTERRUPTOR NA				S22	ACTIVACIÓN DE KM 16	
78	INTERRUPTOR NA				S23	ACTIVACIÓN DE KM 17	
79	INTERRUPTOR NA				S24	ACTIVACIÓN DE KM 18	
80	INTERRUPTOR NA				S25	ACTIVACIÓN DE KM 19	
81	INTERRUPTOR NA				S26	ACTIVACIÓN DE KM 20	
82	INTERRUPTOR NA				S27	ACTIVACIÓN DE KM 21	
83	INTERRUPTOR NA				S28	ACTIVACIÓN DE KM 22	
84	PULSANTE NC				S29	PARO DE EMERGENCIA DE LA BOMBA HORIZONTAL	
85	PULSANTE NA					MANDO MANUAL DE PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA HORIZONTAL	

ANEXO 4.9. Etapa 3 Bombeo, diseño de control



ANEXO 4.10. Etapa 3 Bombeo, diseño de fuerza





ANEXO 4.11. Listado de señales de entrada salida de la etapa 3 Bombeo

LISTA DE SEÑALES DE ENTRADA/SALIDA								
ETAPA 3 BOMBEO								
No.	EQUIPO	E/D	S/D	E/A	S/A	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	ALIMENTACIÓN
PLC S7-1200								
1	PULSANTE NC/NA					S3	PARO DE EMERGENCIA	
2	PULSANTE NA	I0.0				S1	DA LA SEÑAL DE ARRANQUE A LA BOMBA VERTICAL	220 VAC
3	SENSOR DE PRESIÓN			IW64		P1	MIDE LA PRESIÓN DE SALIDA DEL AGUA DE LA BOMBA VERTICAL	220 VAC
4	SENSOR DE CAUDAL			IW66		S.C.1	MIDE EL CAUDAL DE SALIDA DE LA PLANTA	
5	ALIMENTACIÓN					DQ a 1L	ALIMENTACIÓN DE LA SALIDA A RELÉ	L1 (110 VAC)
6	ALIMENTACIÓN					L1-N	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO	220 VAC
7	RELÉ		Q0.0			KM1	COMANDO DE ELECTROVÁLVULA 1	110 VAC
MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO SM 1234								
8	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO			IW96		S.N.1	NIVEL DE AGUA EN EL RESERVORIO AZUL	220 VAC
9	ALIMENTACIÓN					L+ M	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO	24 VDC
EQUIPOS ADICIONALES (EXTERNOS)								
10	LUZ PILOTO					F1	BAJO NIVEL DE AGUA	220 VAC
11	LUZ PILOTO					F2	FALLA SOBRETENSIÓN	110 VAC
12	LUZ PILOTO					F3	FUNCIONANDO NORMAL	110 VAC
13	LUZ PILOTO					F4	PARO DE EMERGENCIA O PLC APAGADO	110 VAC
14	PULSANTE NC					S0	PARO DE EMERGENCIA DE LA BOMBA VERTICAL	
15	PULSANTE NA						MANDO MANUAL DE PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA VERTICAL	
16	SENSOR TIPO BOYA					F1	DA LA SEÑAL AL ARRANCADOR SUAVE	
17	ARRANCADOR SUAVE					Q1	ENCIENDE EL MOTOR SIN PICOS DE CORRIENTE	220 VAC
18	GUARDAMOTOR					F1F	PROTEGE AL MOTOR DE SOBRETENSIONES	

ANEXO 4.13. Simbología General

SIMBOLOGÍA	
EQUIPOS	DESCRIPCIÓN
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 24 VDC, 20(A)
	MOTOR TRIFÁSICO
	PULSANTE NORMALMENTE CERRADO
	PULSANTE NORMALMENTE ABIERTO
	RELÉ INDUSTRIAL
	DISYUNTOR MONOFÁSICO (BREAKER)
	DISYUNTOR TRIFÁSICO (BREAKER)
	BONERAS PARA RIEL
	SENSOR DE NIVEL TIPO BOYA
	INTERRUPTOR
	TEMPORIZADOR
	ELECTROVÁLVULA
	VÁLVULA MOTORIZADA
	PULSANTE PARO DE EMERGENCIA
	SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO
	PUESTA TIERRA
	SENSOR DE CAUDAL
	SENSOR DE PRESIÓN
	POSTE DE CEMENTO DE 12M
	ARRANCADOR SUAVE
	CONTACTOR
	RELÉ TÉRMICO
	BOMBA DE AGUA TRIFÁSICA
	VÁLVULA MANUAL
	GABINETE DE CONTROL
	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO
	SENSOR
	TUBO DE AGUA DE 6 PULGADAS
	TUBO DE AGUA DE 4 PULGADAS
	TUBO DE AGUA DE 3 PULGADAS
	TUBO DE AGUA DE 2 PULGADAS
	PLC S7-1200 Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN