



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO
PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA
AZUCARERA**

Jorge Clemente Veliz Rivera

Asesorado por el Ing. Helmut Federico Chicol Cabrera,

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO
PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA
AZUCARERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE CLEMENTE VELIZ RIVERA

ASESORADO POR EL ING. HELMUT FEDERICO CHICOL CABRERA,

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Angeles.
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Dr. Juan Carlos Córdova Zeceña
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 14 de febrero de 2018.

Jorge Clemente Veliz Rivera

Guatemala, 02 de Febrero de 2021

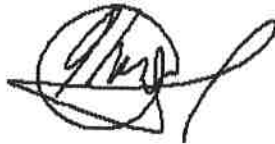
Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador de Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Solares:

Por este medio me complace dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA", desarrollado por la estudiante JORGE CLEMENTE VELIZ RIVERA con carné 200412527, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente



Helmut Federico Chicol Cabrera
Asesor
Colegiado No. 7350



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 26 de febrero de 2021

Señor Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA**, desarrollado por el estudiante **Jorge Clemente Veliz Rivera**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica





REF. EIME 171. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JORGE CLEMENTE VELIZ RIVERA titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO PARA LA ULTRAPURIFICACIÓN DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 23 DE NOVIEMBRE 2,021.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

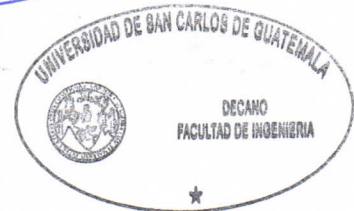
Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 713-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO APLICADO PARA LA ULTRAPURIFICACION DEL AGUA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Clemente Veliz Rivera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

IV. REVISIÓN DEL COORDINADOR (A) DE ÁREA O REVISOR(A)

13. Fecha de revisión 22/2/2021

14. Nombre del revisor o coordinador: Ing. Julio C. Solares

15. Observaciones del coordinador(a) del área _____

Vo.Bo. [Firma]
firma y sello

Julio César Solares Peñate
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 2330



V. REVISIÓN DE LINGÜÍSTICA

TURNO

16. Fecha de inicio de la revisión del trabajo: _____

17. Fecha de entrega del trabajo revisado: _____

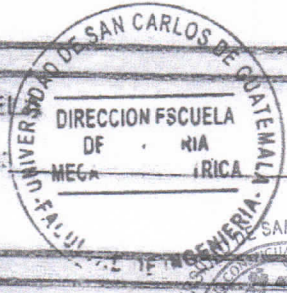
18. Fecha de verificación de correcciones: _____

f) _____
firma y sello

VI. REVISIÓN DEL DIRECTOR(A) DE ESCUELA

19. Fecha de revisión del director(a) del escuela: _____

f) _____
firma y sello



VII. REVISIÓN DEL SEÑOR DECANO

20. Fecha de entrega: 25/11/2021
Sello



VIII. ENTREGA DEL ORIGINAL IMPRESO A OFICINA DE LINGÜÍSTICA
Entrega de un original impreso al especialista para comprobación de que siguió el proceso establecido.

21. Fecha de entrega: _____ Vo.Bo. _____
firma y sello

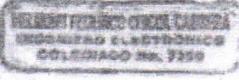
FIRMA DE CONFORMIDAD

f) _____
ASESOR(A)

f) _____
ESTUDIANTE

NOTAS

Este seguimiento es interno y no debe ser publicado en el Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, junio de 2009



las cartas que para el efecto determine el Reglamento de Trabajos de Grado de Ingeniería.

Aprobado por Junta Directiva mediante acta No. 19-2005, punto Décimo segundo, inciso 12.2, del 18 de julio de 2005.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme acompañado y guiado durante mi carrera universitaria, por darme fortaleza cuando me debilite, por darme la luz para el aprendizaje y sobre todo por su fidelidad para toda mi vida.
- Mis padres** Hugo Bernal Véliz Gudiel y Ana María Rivera Muñoz. Por estar en todo momento a mi lado y por su motivación y apoyo en todo momento.
- Mis Hermanos** Por ser base de mi inspiración y apoyo en todo momento.
- Mis Sobrinos** Poder darles el ejemplo que con trabajo duro y esfuerzo se logran las metas.
- Mis Abuelos** Jorge Augusto Rivera Ralda (q. e. p. d.), Lidia Muñoz, Clemente Véliz Dardón (q. e. p. d.) Valentina Gudiel Palencia. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
- Mi Novia** Lizbeth Lima, por estar conmigo durante todo este trayecto de mi vida y estar siempre en todo momento, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudio superior y por ser mi segunda casa durante un buen trayecto de mi vida y brindarme el saber académico.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis amigos de la Facultad	Max Chali, Alejandro Porras, Oscar Ramos, Johny Gómez.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Agua	1
1.1.1. Definición	1
1.1.2. Fuentes de agua ciclo hidrológico	2
1.1.3. Calidad del agua.....	2
1.1.4. Impurezas del agua	3
1.2. Análisis del agua	4
1.2.1. Análisis fisicoquímico.....	4
1.2.1.1. Alcalinidad	4
1.2.1.2. Amoníaco.....	5
1.2.1.3. Calcio.....	5
1.2.1.4. Cloruros	6
1.2.1.5. Color	6
1.2.1.6. Conductividad eléctrica.....	6
1.2.1.7. Dureza	7
1.2.1.8. Fluoruros.....	7
1.2.1.9. Hierro	7
1.2.1.10. Magnesio	8

	1.2.1.11.	Nitratos	8
	1.2.1.12.	Nitritos	9
	1.2.1.13.	Olor	9
	1.2.1.14.	Grado de acides-pH	9
	1.2.1.15.	Solidos disueltos	10
1.3.	Análisis bacteriológico según normas técnicas de COGUANOR 29001		10
1.3.1.	Prueba presuntiva		11
1.3.2.	Prueba confirmativa		12
1.3.3.	Prueba confirmativa verde bilis brillante		12
1.3.4.	Bacterias coliformes fecales.....		13
1.3.5.	Bacterias coliformes totales.....		13
1.3.6.	Método el número más probable.....		13
2.	SISTEMAS AUTOMATIZADOS		15
2.1.	Sistemas automatizados		15
2.1.1.	Objetivos de la automatización.....		15
2.1.2.	Componentes de un sistema automatizado		16
2.2.	Control de procesos		17
2.2.1.	Sistema de lazo abierto		18
2.2.2.	Sistema de lazo cerrado.....		18
2.3.	PLC, Programmable Logic Controller		19
2.3.1.	Estructura de un PLC		19
2.4.	Lenguajes de programación.....		21
2.4.1.	Lenguajes de contacto		22
2.4.2.	Comunicación.....		22
2.4.3.	HMI, Human Machine Interface.....		24
2.4.4.	Sensores		25
2.5.	Comunicación industrial		26

2.5.1.	Estructura de redes	26
2.5.2.	High way addressable remote transducer-HART...	26
2.5.3.	Process field bus-PROFIBUS	27
2.5.4.	Foundation Fielbus FF	28
2.5.5.	Protocolo de transmisión para sistemas de control MODBUS	31
2.5.6.	Red de bajo nivel DEVICENT	31
2.5.7.	Aplicación de redes industriales	33
3.	PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN	35
3.1.	Selección de componentes.....	35
3.1.1.	Componentes eléctricos	35
3.1.2.	Componentes mecánicos (Instrumentación)	36
3.1.3.	Componentes y su proceso de selección	39
3.1.4.	Electroválvulas.....	39
3.1.4.1.	Operación e instalación de electroválvulas	40
3.1.5.	Sensor de nivel	41
3.1.5.1.	Operación e instalación de sensor de nivel	41
3.1.6.	Relés y Contactores	42
3.1.7.	Fuente	43
3.1.8.	PCL.....	43
3.2.	Diagrama electrónico del sistema.....	44
3.2.1.	Diagrama de protección.....	44
3.2.2.	Diagrama de control	45
3.2.3.	Diagrama de potencia.....	47
3.3.	Sistema propuesto de purificación de agua.....	48
3.3.1.	La osmosis inversa	48

3.3.2.	Membranas de ósmosis inversa	49
3.3.3.	Conductividad.....	50
3.3.4.	Interferencias en la medida	50
3.3.5.	Conductividad inductiva u.....	51
3.3.6.	Sensor de conductividad	51
3.3.7.	Electrodesionizacion (edi)	52
3.3.8.	Filtro de Carbón Activado	53
3.3.9.	Esterilizador Ultravioleta UV	56
3.3.10.	Ablandador de agua	58
3.3.11.	Sistema propuesto	59
3.3.12.	Proceso de Osmosis	60
3.3.13.	El sistema contempla los siguientes elementos a controlar y monitorear:.....	62
4.	SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA.....	63
4.1.	Control automatizado	63
4.1.1.	Tolerancia de fallas	63
4.1.2.	Control de tolerancia de fallas	63
4.1.3.	Nivel de ejecución	64
4.1.4.	Nivel de supervisión	65
4.2.	Etapas de detección y diagnóstico de fallas.....	65
4.2.1.	Falla	65
4.2.2.	Causas asignables	65
4.3.	Controlador Lógico Programable PLC e Integración de señales.....	66
4.3.1.	Configuración De Entradas y Salidas de PLC	67
4.3.2.	Salida de programa	68
4.3.3.	Diagrama de flujo del purificador de agua	71
4.3.4.	Supervisión y control de la ejecución	89

CONCLUSIONES 91
RECOMENDACIONES 93
BIBLIOGRAFÍA 95
ANEXOS 99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Componentes de un sistema automatizado	16
2.	Sistema de lazo abierto.....	18
3.	Sistema de lazo cerrado.....	18
4.	Controlador lógico programable.....	19
5.	Arquitectura de un PLC.....	21
6.	Símbolos de los elementos básicos de programación	22
7.	Pines del conector DB-9.....	23
8.	Convertidor USB serial.....	24
9.	Estructura modular	24
10.	Sensor.....	25
11.	Componentes de un sistema.....	36
12.	Sensor capacitivo	38
13.	Sensor de nivel conductivo	39
14.	Dimensiones del cuerpo de la válvula	40
15.	Instalación de electroválvulas	41
16.	Sensor de nivel	42
17.	Diagrama eléctrico de protecciones	45
18.	Diagrama eléctrico de Control.....	47
19.	Diagrama eléctrico de Potencia	48
20.	Membrana del sistema de osmosis inversa	49
21.	Sensor de conductividad.....	52
22.	Electrodesionizacion (edi)	53
23.	Funcionamiento del carbón activado.....	55

24.	Esterilizador ultravioleta.....	57
25.	Radiación ultravioleta.....	58
26.	Ablandador de agua.....	59
27.	Sistema de purificación de agua	60
28.	Grafica de control.....	66
29.	Árbol de distribución de configuración de PLC	67
30.	Módulo de 8 entradas digitales	68
31.	Módulo de 8 entradas analógicas	69
32.	Módulo de 4 entradas analógicas	69
33.	Módulo de 8 salidas digitales	70
34.	Bloque de escalamiento.....	71
35.	Parámetros para el bloque de escalamiento.....	71
36.	Diagrama de flujo del purificador de agua	72
37.	Sección Osmosis1 en FBD	73
38.	(Sección Osmosis2 en LD).	74
39.	Partes en qué consiste el proyecto configuración, Variables, Comunicación y Programa.....	75
40.	Sección de variables del proyecto osmosis	76
41.	Elementos principales de configuración HMI Magelis.....	78
42.	Navegador o explorador de proyecto Inspector de propiedades	79
43.	Barra de herramientas de Vijeo Designer para HMIs.....	80
44.	Carpetas de contenidos prediseñados de Vijeo Designer	80
45.	Representación de proceso en HMI Magelis	81
46.	Botón de modo Operación	82
47.	Arranque en modo automático.....	83
48.	Apertura de electroválvula	84
49.	Arranque de bomba principal.....	84
50.	Visualización de llenado de tanque.....	85
51.	Visualización de superación de límite mínimo	85

52.	Visualización de superación límite máximo	86
53.	Operación de despacho de agua permeada	86
54.	Inicio de HMI para sistema de osmosis.....	87
55.	Gráfico de tendencias en HMI para sistema de osmosis	88
56.	Visualización de alarma activa	88
57.	Visualización de alarma reconocida	89

TABLAS

I.	Parámetros de selección de la electroválvula	40
II.	Entradas y salidas del sistema	43
III.	Valores de breaker y fusibles	44
IV.	Entradas del controlador	45
V.	Salidas del controlador.....	46
VI.	Actuadores del proceso.....	47
VII.	Entradas del programa.....	67
VIII.	Salidas del programa	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWG	American Wire Gauge
AP	Autómata Programable
BD	Board
BSI	British Standards Institution
c/u	Cada uno
COT	Carbono Orgánico Total
CTS	Clear To Send
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
C	Grados Celsius
g/mL	Gramos por mililitros
CPU	Unidad Central de Proceso

GLOSARIO

Conductividad eléctrica	Indicador de iones disueltos en el agua, se define como la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica, se relaciona con la condición de sólidos disueltos y sales. La unidad de medición utilizada es el Siemens/cm (S/cm), microSiemens/cm (μ S/cm), miliSiemens/cm (mS/cm).
Cloruros	Son una de las sales presentes en el agua. Un alto contenido provoca corrosión. Tiene incidencia en el sabor, dependiendo de la composición química del agua, el cloruro de sodio genera un sabor salado. Su medida se realiza en miligramos/litro (mg/L).
pH (pondus Hydrogenium, peso del hidrógeno)	Es una de las características para determinar la calidad del agua, que indica la acidez o alcalinidad del líquido, midiendo en una escala logarítmica del 0 al 14, las concentraciones de iones hidrógeno. El 7 representa una solución neutra. El agua con pH menor que 7 se considera ácida y corrosiva, pudiendo estar presente iones metálicos disueltos como: hierro, magnesio, cobre. Un pH arriba del 7 es una solución básica o alcalina, que representa problemas de incrustaciones por dureza.

Resistividad

La resistividad es la medida recíproca de la conductividad, representa la pureza iónica, la unidad para la resistividad es el Ohm (Ω), pero se emplea el MegaOhm/cm ($M\Omega/cm$), acotado a $M\Omega$.

RESUMEN

La Industria Azucarera produce residuos que tienen en su composición química, materia orgánica; calcio; fósforo; nitrógeno; potasio; entre otras y cuyo empleo agrícola constituye un tratamiento efectivo de los mismos. Las aguas residuales; la cachaza y la vinaza provenientes de esta actividad, poseen entonces, alto contenido de materia orgánica y nutriente, por lo que se consideran una valiosa fuente de elementos fertilizantes. Por ello, se han desarrollado en la industria sistemas de aplicación de estos efluentes en el riego de una gran diversidad de suelos; lográndose de esta forma, dar un destino adecuado a los residuos y producir beneficio en los cultivos donde son aplicados. Mejoran las características agro-fisicoquímicas del suelo; aumentan los rendimientos culturales e importan un ahorro de fertilizantes químicos.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un sistema de control automatizado para el proceso de purificación del agua utilizada en la industria azucarera.

Específicos

1. Dotar a los profesionales de Ingeniería Mecánica Electrónica de una herramienta técnica de información, que contemple el funcionamiento de sistemas de purificación de agua.
2. Determinar los procedimientos para el control de calidad del agua en los procesos industriales dentro de la industria azucarera.
3. Identificar el equipo necesario para mejorar el sistema de purificación de agua en el proceso de la producción de la caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

El agua purificada se obtiene a partir de agua potable, de origen mineral con gases y sales disueltos, cumple con atributos de calidad como: no contener sustancias extrañas biológicas, orgánicas, inorgánicas o radiactivas. El agua potable se somete algún proceso de purificación para tratarla obteniendo diversas calidades con diferentes métodos, estos pueden ser por filtración, ultrafiltración, destilación, osmosis inversa, adsorción con carbón activado, desionización, de acuerdo a la aplicación que se le dará.

Los sistemas automatizados buscan que los equipos o procesos actúen de una manera independiente basándose en la utilización de elementos especializados y software que permiten el control del sistema.

Los principales componentes de un sistema automatizado son la parte operativa y la parte de mando que logran el cometido de la automatización, pero también se agregan etapas de supervisión útiles para los operadores y para la toma de decisiones dentro de una empresa.

1. GENERALIDADES

1.1. Agua

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivientes sobre la tierra, siendo un elemento vital en la base de la vida y ejerce una gran influencia en el desarrollo del ser humano¹.

El agua cubre tres cuartas partes en la base de la Tierra, hay un constante cambio en el ciclo hidrológico y este es finito. El volumen de agua que hay en la tierra es aproximadamente de 1 500 millones de kilómetros cúbicos; sin embargo, se encuentran áreas del planeta en donde el agua es muy escasa.

1.1.1. Definición

El agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno (H_2O) es un líquido insípido, incoloro e inodoro, que en su composición pura es difícil de obtener debido a que casi cualquier sustancia es soluble en ella. Es una mezcla de diferentes moléculas debido a la existencia de los diferentes isótopos del hidrógeno y oxígeno, esta complicación, unida a su polaridad hace que todas sus constantes físicas sean anormales².

¹ SOLÓRZANO, Rita. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, departamento del Progreso, Guatemala*. p.4.

² *Ibíd.* p. 3.

1.1.2. Fuentes de agua ciclo hidrológico

El aprovechamiento del agua del ciclo hidrológico se clasifica de la siguiente manera.

- Agua atmosférica: el agua que de una manera natural se condensa y que constituye en gran parte la humedad de las nubes y que después precipita en forma de granizo, nieve y lluvia.
- Agua superficial Esta interfase se refiere a la cantidad de agua contenida en los lagos, ríos, pantanos, mares, lagunas, canales y océanos.
- Aguas subterráneas Se refiere a que está formada por manantiales, pozos pocos profundos y profundos, galerías de infiltración y acuíferos³.

1.1.3. Calidad del agua

“La calidad obedece a su fuente e historia. Las aguas naturales manifiestan, universalmente, las calidades más peculiares de sus nacimientos. No obstante, varios factores provocan diferenciaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de nacimiento”⁴.

Estas variaciones descienden de la circunstancia que tiene el agua de absorber sustancias en forma de solución o tenerlas en suspensión. Los contextos climatológicos, geográficos y geológicos son factores muy significativos para establecer la calidad del agua⁵.

³. SOLÓRZANO, Rita. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, departamento del Progreso, Guatemala.* p. 2.

⁴ American Water Works Association, p. 1.

⁵ *Ibíd.* p. 1.

1.1.4. Impurezas del agua

Habitualmente, no hay sustancia química que se encuentre en un estado de pureza bastante alto, ya sea en su forma natural o preparada en un laboratorio. La gran mayoría de las sustancias químicas utilizadas en las industrias presentan un nivel de impurezas, éstas se miden en porcentaje o partes por cientos⁶.

El analista de aguas infrecuentemente trabaja con muestras acuosas que posean niveles porcentuales de impurezas, únicamente en los siguientes casos: aguas proveniente del mar (aproximadamente 3 % de impurezas minerales disueltas), aguas connatas (que brotan junto con algunos petróleos crudos, que poseen regularmente del 20-30 % de sales disueltas), aguas salobres, y algunas aguas industriales de desecho⁷.

El analista de aguas suele trabajar con agua dulce, mide los parámetros de impurezas en partes por millón (ppm), 10 000 ppm es igual al 1 %; una muestra de agua proveniente del lago Michigan, contiene alrededor de 150 mg/L, tiene un parámetro de impurezas de 0,015. Debido a que un litro de agua destilada pesa 1 000 g o 1 000 000 mg, es claro que 1 mg de impurezas en un litro representa 1 ppm. No obstante, un litro de agua proveniente del mar pesa aproximadamente 1 032 g, de forma que 1 mg de impureza en el agua de mar es menos de 1ppm. Esto se da a que la densidad del agua puede ser bastante alta, el uso de mg/l es más preciso que ppm, no obstante para fines prácticos son iguales cuando se trabaja con agua dulce⁸.

Toda cosa en el agua que no sea H₂O es un contaminante o impureza. Cualquier agua es impura y el trabajo principal del analista de agua es precisar estas impurezas, mostrar las especificaciones para cada impureza admisibles para el uso que se le va a dar al agua posteriormente del tratamiento, y buscar métodos económicos de tratamiento para alcanzar los límites de calidad establecidos⁹.

Hay que reconocer que los términos impureza, contaminación y polución son términos subjetivos. Un contaminante se puede tomar como un polutante cuando

⁶ KEMMER, Frank; MCCALLION, John. *Manual del agua / Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. p. 3-3.

⁷ *Ibíd.*

⁸ *Ibíd.*

⁹ *Ibíd.*

su concentración alcanza un nivel que pueda resultar perjudicial para la vida acuática o para la salud, si el agua se va destinada como potable¹⁰.

Las impurezas disueltas en el agua pueden catalogar en una forma amplia como sales inorgánicas, disueltas de los minerales que son parte de las formaciones geológicas que contienen el nacimiento de agua, y la materia orgánica, respectiva de la vida acuática y el revestimiento vegetal de los lechos acuíferos. En la mayoría de las aguas dulces, la materia disuelta es principalmente inorgánica¹¹.

1.2. Análisis del agua

Para determinar la calidad del agua potable se deben realizar varios análisis fisicoquímicos que se describen a continuación.

1.2.1. Análisis fisicoquímico

Los análisis físicos y químicos indican si el agua está contaminada y para lo cual se analizan parámetros como la alcalinidad, contenido de calcio, cloruros, el color que presenta la muestra de agua que se examinan, entre otros factores que se describen a continuación¹².

1.2.1.1. Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de neutralizar ácidos. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico. Es también añadir carbón al agua. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH neutro.

¹⁰ KEMMER, Frank; MCCALLION, John. *Manual del agua / Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. p. 3-3.

¹¹ *Ibíd.*

¹² RAMOS, Francisco. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de san José, departamento de escuintla*. p. 8.

La alcalinidad total del agua es la suma de la alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido. La determinación de la alcalinidad no tiene incidencia desde el punto de vista sanitario, pero es importante considerarla cuando se relaciona al proceso de coagulación y corrección del poder corrosivo del agua¹³.

1.2.1.2. Amoniaco

El amoníaco en el medio ambiente proviene de procesos metabólicos, agropecuarios, industriales y de la degradación natural de sustancias orgánicas tales como plantas o animales en proceso de descomposición¹⁴.

El amoniaco puede disminuir la eficiencia de la desinfección, la formación de nitrito en sistemas de distribución y producir problemas organolépticos¹⁵.

1.2.1.3. Calcio

El calcio son los cationes más abundantes en el agua, la actividad química da a la formación de sales de carbonato y es un factor limitante en los procesos biológicos. La presencia de Calcio (Ca) en agua potable la dota de sabor que dependerá del anión mayoritario presente¹⁶.

¹³ RAMOS, Francisco. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de san José, departamento de escuintla*. p. 15.

¹⁴ MONROY, Elia. Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de san Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99. p. 13.

¹⁵ *Ibíd.* p. 13.

¹⁶ ROLDÁN, Gabriel. *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola*. p. 229.

1.2.1.4. Cloruros

La determinación de este análisis fisicoquímico es de suma importancia para determinar la calidad del agua de la fuente de abastecimiento, regularmente la contaminación se da por excretas humanas. El valor máximo aceptable para un análisis es de 350 mg/l.¹⁷

1.2.1.5. Color

El color en el agua es generalmente dado por hojas, semillas, sustancias orgánicas. El color verdadero del agua se debe a la presencia de material en solución, pero este color puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión.

Las aguas que poseen mucho color se derivan de la descarga de residuos industriales y no se utilizan para alimentar calderas y para consumo humano provocan un daño al organismo por su contaminación¹⁸.

1.2.1.6. Conductividad eléctrica

Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la presencia de iones. Proviene de una base, un ácido o una sal, disociadas en iones. La conductividad y la dureza son dos parámetros cuyos

¹⁷ SOLÓRZANO, Rita. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, departamento del Progreso, Guatemala.* p.9.

¹⁸ *Ibíd.*

valores están relacionados y reflejan el grado de mineralización (sales disueltas) de las aguas¹⁹.

1.2.1.7. Dureza

La dureza del agua está formada por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella. Las aguas poco productivas son aquellas que poseen menos de 10 mg.l⁻¹ de calcio; aguas medianamente productivas las que poseen valores entre 10 y 25mg.l⁻¹ y aguas muy productivas las que poseen valores superiores a los 25 mg.l⁻¹.²⁰

1.2.1.8. Fluoruros

Los fluoruros suelen presentarse en forma natural en el agua subterránea o superficial. El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados. Los fluoruros tienen acción de prevención de las caries en concentraciones adecuadas. Cuando supera los 2 mg/l se fija en fosfatos y calcio, en dientes y huesos, originando fluorosis.²¹

1.2.1.9. Hierro

El hierro es un elemento esencial en la nutrición humana, las necesidades diarias mínimas de este elemento varían en función de la edad, el sexo, el estado físico y la biodisponibilidad del hierro.

¹⁹ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de san Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99.* p.14.

²⁰ ROLDÁN, Gabriel. *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola.* p.230.

²¹ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de san Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99.* p.11.

El hierro está naturalmente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/L. En concentraciones mayores que 0,3 mg/l causa manchas en la ropa o utensilios de porcelana, produce sabores metálicos ²².

1.2.1.10. Magnesio

El magnesio se encuentra combinado como carbonato, $MgCO_3$, constituyendo el mineral llamado magnesita o giobertita. Se halla en las aguas en cantidades mucho menores que el calcio, pero su importancia biológica es grande, ya que es indispensable en el desarrollo de ciertos sistemas enzimáticos, actuando igualmente en la constitución de los huesos. Una persona adulta debe de tomar por término medio 200 a 300 mg por día. Si la cantidad de magnesio en el agua es muy grande, puede esta actuar como laxante e incluso adquirir un sabor amargo²³.

1.2.1.11. Nitratos

Los nitratos se producen de forma natural. Todos los acuíferos pluviales y subterráneos contienen algo de nitrógeno-nitrato. Sin embargo, los suministros de agua rural contaminados proporcionan una pista para descubrir otras fuentes de nitratos.

²² MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de san Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99*. p. 12.

²³ ZAMORA, Johel. *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS)*. p.128.

El nitrato se acumula en las cuencas hidrográficas agrícolas donde los agricultores esparcen fertilizantes inorgánicos y abono animal en las tierras de cultivo ²⁴.

1.2.1.12. Nitritos

Son una etapa intermedia en el ciclo de nitrógeno. Pueden estar en el agua como resultado de la descomposición biológica de los materiales proteicos, cuando está correlacionada con otros tipos de nitrógeno puede indicar contaminación orgánica. Sanitariamente indica que existe la presencia de materia orgánica. El límite de concentración máxima permisible es de 0,01 mg/l²⁵.

1.2.1.13. Olor

El olor son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva. El olor que genera el agua se puede dar por la presencia de compuestos químicos como fenoles, cloro o materias orgánicas en descomposición. Los olores desagradables, hacen que las aguas no sea para el consumo humano²⁶.

1.2.1.14. Grado de acides-pH

La evaluación del pH se utiliza para caracterizar un agua, dar seguimiento a un proceso (neutralización, biológico, anaerobio, corrosión), o bien, para monitorear las condiciones de operación (precipitación, floculación, sistemas

²⁴ PennStateExtension. *Nitratos en el agua potable*. <https://extension.psu.edu/nitratos-en-el-agua-potable>. Consulta: 10 de diciembre 2020.

²⁵ Organización mundial de la Salud. *Normas para agua potable*. p.10.

²⁶ RIGOLA, Miguel. *Tratamiento de aguas industriales*. p.27.

biológico-anaerobios, desinfección) ya que la velocidad de las reacciones depende de él. El pH del agua natural varía entre 5 y 9²⁷.

1.2.1.15. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua dado por la evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Los sólidos disueltos pueden originarse de forma orgánica e inorgánica, tanto en aguas subterráneas como superficiales²⁸.

1.3. Análisis bacteriológico según normas técnicas de COGUANOR 29001

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.

²⁷ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de san Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99.* p.13.

²⁸ *Ibíd.* p. 32.

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Se excluyen a las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas²⁹.

1.3.1. Prueba presuntiva

Está se realiza sembrado volúmenes apropiados de la muestra de agua en tubos con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un periodo de incubación de 24-28 horas a 35 grados centígrados.

Para determinar si existen bacterias coliformes, se determinar por la ausencia de gas pasada las 48 horas.

La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado constituye una prueba positiva pero no necesariamente confirma la presencia de coliformes, ya que existe la posibilidad que la formación de gas se deba a otro tipo de microorganismo que no constituyen índices de polución, y para ello es necesario que se lleve a cabo la prueba confirmativa³⁰.

²⁹ Norma Técnica Guatemalteca NTG 2900. *Agua para consumo humano (agua potable)*. p. 4.

³⁰ ARGUETA, Adhemar. *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 73.

1.3.2. Prueba confirmativa

Básicamente consiste en inocular todos los tubos que den un resultado positivo en la prueba presuntiva, en un medio de cultivo adecuado que depende del grupo coliforme a investigar.

Las condiciones en las cuales se llevan a cabo estas determinaciones se pueden observar en las características del grupo coliforme descritas anteriormente. Al igual que la prueba presuntiva, la ausencia de gas después del período de incubación constituye una prueba negativa y la presencia de gas una prueba positiva, lo que confirma la presencia del grupo coliforme que se haya investigado.³¹

1.3.3. Prueba confirmativa verde bilis brillante

Este medio está recomendado para el recuento de coliformes totales y fecales, por la técnica del número más probable.

- Fundamento En el medio de cultivo, la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano, la bilis y el verde brillante son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas y Gram negativas a excepción de coliformes, y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable. Es una propiedad del grupo coliforme, la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas.

³¹ ARGUETA, Adhemar. *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.* p. 73.

1.3.4. Bacterias coliformes fecales

Es un grupo conformado por bacilos Gramnegativo, no esporulados, fermentadores de lactosa a 44 – 45 °C e incluye por lo menos a los miembros de 3 géneros de la familia Enterobacteriaceae: *Escherichia* sp, *Enterobacter* sp, y *Klebsiella* sp³².

1.3.5. Bacterias coliformes totales

El total de bacterias coliformes (o coliformes totales) incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C. *Escherichia coli* y los coliformes termotolerantes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas³³.

1.3.6. Método el número más probable

La determinación del número más probable de bacterias coliformes es una muestra que se hace a partir de la técnica de los tubos múltiples, en el cual volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) son inoculadas en un medio de cultivo adecuado³⁴.

³² CASTILLO, Edna. *Determinación del contenido de coliformes fecales y E. coli en porciones de almuerzos que venden en cafeterías formales e informales de 10 Centros Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p.19.

³³ LIÑAN, José. *Análisis bacteriológico del agua de la fuente de abastecimiento y de jeringa triple de las unidades dentales de clínicas odontológicas en Tarma (Junín)*. p. 25.

³⁴ VÁSQUEZ, Víctor. et. al. *Ecología aplicada*. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162018000100005&lng=es&nrm=iso. Consulta: 20 de diciembre 2020.

El método consta de tres partes.

- Prueba presuntiva: consisten en colocar volúmenes determinados de muestra en una serie de tubos conteniendo caldo lauril triptosa y son incubados a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 horas.
- Prueba confirmativa: consiste en transferir todos los tubos positivos de la prueba presuntiva a tubos conteniendo caldo lactoso verde brillante bilis 2 % y son incubados durante 24-48 horas $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Prueba complementaria: esta prueba consiste en transferir por inoculación en estrías, las bacterias a partir de los tubos de caldo lactoso verde brillante bilis positivos, a placas de Agar Endo o Agar Eosina Azul de Metileno (E.A.M.), luego son incubadas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. 24 ± 2 horas.

2. SISTEMAS AUTOMATIZADOS

2.1. Sistemas automatizados

La automatización se basa en sistemas capaces de recibir información, procesar, realizar acciones de control y monitorear el proceso sobre el cual actúan; comprende el uso de programas o elementos computarizados y electromecánicos. Esto con el propósito de reducir el mínimo de riesgo de daño en el proceso, mejorando la efectividad y optimizando la intervención humana con mano de obra calificada.

2.1.1. Objetivos de la automatización

Se definen los objetivos en base a:

- Aumentar la seguridad en los procesos, ya sean estos altamente peligrosos o no, mejorando las condiciones de trabajo de los operarios.
- Eliminar costes de producción y garantizar la calidad del proceso, aumentando así la productividad de una empresa.
- Reducir la supervisión constante de los operarios, con lo que se evitan errores a lo largo de la ejecución de los procesos y que por ende conlleva a cumplir los tiempos establecidos.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

- Realizar tareas que son repetitivas y complejas, imposibles de controlar intelectual o manualmente³⁵.

2.1.2. Componentes de un sistema automatizado

Los sistemas automatizados buscan que los equipos o procesos actúen de una manera independiente basándose en la utilización de elementos especializados y softwares que permiten el control del sistema.

Los principales componentes de un sistema automatizado son la parte operativa y la parte de mando que logran el cometido de la automatización, pero también se agregan etapas de supervisión útiles para los operadores y para la toma de decisiones dentro de una empresa.

Figura 1. Componentes de un sistema automatizado



Fuente: elaboración propia.

- Parte operativa. La parte operativa abarca la instrumentación industrial, que actúa sobre la máquina, sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables que intervienen en un proceso con el fin de optimizar recursos. Comprenden componentes de medición: sensores,

³⁵ Iزارo. *Automatización industrial*. <https://www.izaro.com/la-automatizacion-industrial-aumenta-sus-beneficios-y-sus-campos-de-aplicacion/c-1553687847/#>. Consulta: 20 de diciembre 2020.

transductores o transmisores, elementos finales de control o accionadores que permiten que el equipo realice las operaciones deseadas, como: motores de corriente alterna o continua, cilindros, bombas, electroválvulas, entre otros.

- Parte de mando. La parte de mando del sistema comanda a la parte operativa, es decir es el controlador del sistema que toma las decisiones en base a las mediciones de los sensores y que permite el accionamiento de los elementos finales de control o actuadores. Esta parte del sistema usa las tecnologías programables que pueden ser: autómatas programables PLC o microcontroladores, los cuales, a través del uso de relés y contactores permiten el accionamiento de diferentes tipos de cargas del sistema.
- Parte de supervisión. La parte de supervisión del sistema puede darse mediante: paneles de mando, paquetes SCADA, HMI, supervisión móvil, supervisión web, entre otros. Se utiliza para monitorear, controlar, gestionar alarmas del sistema, además algunos, permiten la extracción de datos útiles para la toma de decisiones dentro de los procesos y el área de gestión de la empresa.

2.2. Control de procesos

Smith & Corripio (1997, p. 17)³⁶, Establece que el control de procesos consiste en mantener dentro de un valor deseado a las variables del proceso estas pueden ser temperatura, niveles, presiones, flujos, entre otros. Mediante un conjunto de elementos interrelacionados, se puede emprender acciones

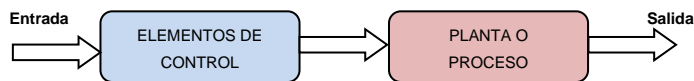
³⁶ SMITH & CORRIPIO, Carlos. *Control Automático de procesos*. p. 17.

correctivas cuando se presentan perturbaciones que pueden afectar a la seguridad, calidad del producto y los índices de producción.

2.2.1. Sistema de lazo abierto

Cuando se trata de un sistema de lazo abierto la entrada se establece en base a la experiencia con el proceso, para obtener la salida deseada, la acción de control es independiente de la salida.

Figura 2. Sistema de lazo abierto

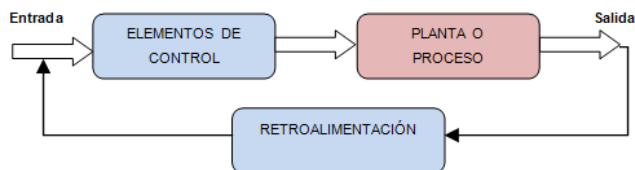


Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Sistema de lazo cerrado

En los sistemas de lazo cerrado la entrada del sistema es realimentada por la salida, con lo que se detectan perturbaciones y se pueden tomar acciones de control.

Figura 3. Sistema de lazo cerrado



Fuente: elaboración propia.

2.3. PLC, Programmable Logic Controller

El Controlador Lógico Programable (PLC) o autómatas programables (AP), es un dispositivo electrónico, que se usa en ambientes industriales para realizar acciones de maniobra, control y señalización permitiendo controlar procesos en tiempo real.

Figura 4. **Controlador lógico programable.**



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC. *Controlador lógico programable.*

<https://www.se.com/ar/es/product-range/1468-modicon-m340/?parent-subcategory-id=3950>.

Consulta: 05 de enero 2021.

2.3.1. Estructura de un PLC

La arquitectura de un PLC, consta de: CPU, memoria, dispositivos de programación y comunicación, fuente de alimentación e interfaces de entradas y salidas.

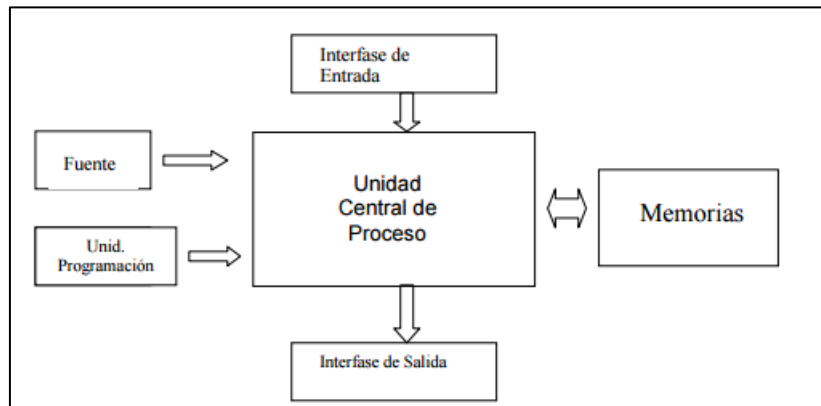
- CPU. Es la unidad central de proceso, permite la ejecución de una lista de instrucciones denominada programas, que son cargados en la memoria y en base a las entradas realiza cálculos y toma decisiones

sobre las salidas. Los programas que se ejecutan en un CPU son de autoconfiguración cuando el sistema arranca y del usuario, diseñado para una aplicación específica.

- **Memorias.** La memoria es donde el PLC guarda el programa y los datos a ser ejecutados. Existe la memoria programable que es donde se almacena el programa escrito por el usuario y son de tipo RAM batería o EPROM/EEPROM. Cuenta con la memoria de datos que también es denominada tabla de registros, que se utiliza para grabar datos necesarios para la ejecución del programa y almacenar datos durante su ejecución.
- **Dispositivos de programación y comunicación.** Los dispositivos de programación y comunicación permiten al PLC comunicarse con el usuario para programar desde un ordenador personal y con otros dispositivos como pueden ser: redes de control, pantallas, otros PLCs.
- **Fuente de alimentación.** La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de todo el circuito del sistema. La alimentación común suele ser de 24 Vcc, de 110 Vac o 220 Vac que se distribuye a través de un bus interno desde la CPU hasta los módulos de entrada y salida.
- **Interfaz de entrada y salida.** En las entradas y salidas es donde los sensores y los actuadores son conectados al PLC estas pueden ser señales analógicas o digitales, mediante los cuales se monitorea y controla el proceso. Por lo general, los dispositivos de entrada, de salida y el microprocesador trabajan a diferentes niveles de tensiones y de corriente, por lo tanto, las señales que entran y salen del PLC deben ser

aconditionadas mediante interfaces o módulos para que puedan ser interpretadas por el microprocesador.

Figura 5. **Arquitectura de un PLC**



Fuente: elaboración propia.

2.4. **Lenguajes de programación**

El programa de usuario de un PLC, puede ser escrito en diferentes lenguajes de programación. Los softwares actuales permiten convertir programas de un lenguaje a otro, por lo que el programador escoge el que más le convenga. Los controladores programables se estandarizan bajo la norma IEC 1131 de la Comisión Electrotécnica Internacional. El IEC 1131-3 define cinco lenguajes de programación:


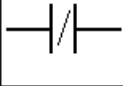
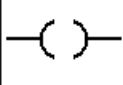
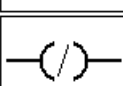

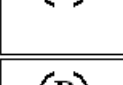
- Diagrama Escalera (LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)
- Lista de Instrucciones (IL)
- Texto Estructurado (ST)

- Función secuencial de caracteres (SFC).

2.4.1. Lenguajes de contacto

Es un lenguaje gráfico, se basa en representar las líneas de alimentación, cableados, arreglos de contactos, bobinas de relés, por medio de símbolos que se encuentran normalizados, como se muestran en la figura 6.

Figura 6. **Símbolos de los elementos básicos de programación**

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Comunicación

El protocolo RS-232, es un modo de comunicación serial. Se usa para conectar un ordenador a un modem, la comunicación se realiza con el puerto

serial en forma asíncrona. Utiliza velocidades bajas de comunicación, se puede usar en comunicación simplex, half duplex o full dúplex.

Figura 7. Pines del conector DB-9

#	Pin	E/S	Función	Conector DB 9
1			Tierra de Chasis	
2	RXD	E	Recibir Datos	
3	TXD	S	Transmitir Datos	
4	DTR	S	Terminal de Datos Listo	
5	SG		Tierra de señal	
6	DSR	E	Equipo de Datos Listo	
7	RTS	S	Solicitud de Envío	
8	CTS	E	Libre para Envío	
9	RI	S	Timbre Telefónico	

Fuente Catarina.Udlap. *Pines del conector.*

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/morales_h_oe/capitulo3.pdf. Consulta: 05 de enero 2021.

Este protocolo consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, o un conector de 9 pines DB-9, cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica, figura 7. Las señales TXD, DTR, RTS son de salida, RXD, DSR, CTS son de entrada, la tierra de referencia es SG.

- Convertidor USB a Serial Los ordenadores portátiles, en la actualidad ya no cuentan con puertos RS-232. El uso del puerto serial se realiza mediante un cable, que transforma el dispositivo de conexión USB al conector serial DB9. Mediante un driver de la interfaz se crea un puerto virtual COM en la PC.

Figura 8. **Convertidor USB serial**



Fuente: STARTECH. *Convertidor USB*. <https://www.startech.com>. Consulta: 05 de enero 2021.

2.4.3. **HMI, Human Machine Interface**

El HMI es una interfaz de usuario, es decir, permite la interacción del operador con la máquina, mediante una representación gráfica del proceso que está siendo controlado. En la actualidad la mayoría de procesos de industriales cuentan con un HMI, para dar seguimiento a cada una de sus etapas, controlando, monitoreando y gestionando alarmas. Los HMI pueden ser sistemas de software desarrollado en una PC o sistemas *standalone* como; pantallas táctiles o dispositivos móviles, figura 9.

Figura 9. **Estructura modular**

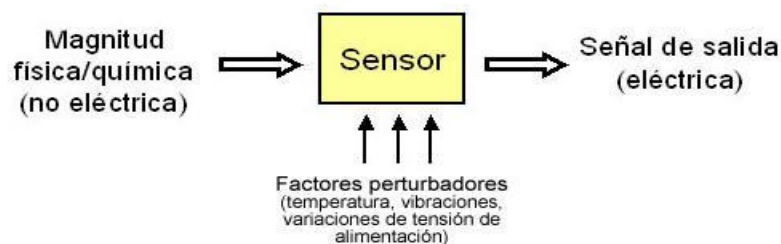


Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC. *Estructura modular*. <http://www.schneider-electric.com.ar/es/product-category/3900-pac--plc-y-otros-controladores/>. Consulta: 05 de enero 2021.

2.4.4. Sensores

Un sensor es conocido como un elemento primario dentro de un sistema de control, se encarga de la medición de magnitudes físicas estas pueden ser: intensidad lumínica, presión, temperatura, fuerza, humedad, entre otras y las convierte en señales eléctricas analógicas o digitales que pueden ser interpretadas por dispositivos de control.

Figura 10. **Sensor**



Fuente: elaboración propia.

- **Sensor de Temperatura:** Son dispositivos que permiten la evaluación de la temperatura. En muchos procesos industriales, la temperatura es fundamental, por lo que es necesario medirla con precisión. Una medición imprecisa puede traer consecuencias; por ejemplo: un sobrecalentamiento de unos pocos grados puede acortar la vida útil de un equipo. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura entre los cuales se destacan los termopares; termocuplas tipo J y K junto con las RTD; PT100 usadas comúnmente a nivel industrial por ser económicas y fáciles de reemplazar.
- **Sensor de Nivel:** Es un dispositivo que mide la altura del material dentro de un tanque u otro recipiente. Los sensores de nivel basan su medición

en principios de capacitancia, conductividad y resistencia. La medición de agua en tanques utiliza los tipos de nivel de punto, que marcan una altura determinada y los de nivel continuo que realizan el seguimiento del nivel en todo el sistema.

2.5. Comunicación industrial

Se describe la comunicación industrial a través de protocolos y estructuras.

2.5.1. Estructura de redes

La forma más sencilla de Red son las llamadas redes de igual a igual, o peer-to-peer. Todos los ordenadores tienen los mismos privilegios: no existe lo que llamamos un Servidor, es decir, un ordenador central.

2.5.2. Highway addressable remote transducer-HART

HART es un estándar de comunicación para equipos de campo usado a gran escala. El estándar HART transforma la señal analógica de 4–20 mA en una señal digital modulada apta para uso industrial.

La ventaja es la combinación de transmisión analógica de medidas, ampliamente probada en campo, y comunicación digital simultánea con transmisión bidireccional y acíclica, lo que permite transferir información de diagnóstico, mantenimiento y proceso de los equipos de campo a los sistemas de orden superior. Juegos de parámetros estandarizados permiten operar todos los dispositivos HART en sistemas con equipos de varios fabricantes.

Las EDD (HART Device Descriptions) se usan para integrar dispositivos HART en SIMATIC PDM, con lo cual se asegura una fácil operación y puesta en marcha de equipos de campo incluso en puntos de difícil acceso.

2.5.3. Process field bus-PROFIBUS

Profibus es un estándar de comunicaciones para buses de campo. Deriva de las palabras *process field bus*.

La versión más utilizada es profibus dp (periferia distribuida; *descentralized peripherals*), y fue desarrollada en 1993.

Profibus tiene, conforme al estándar, cinco diferentes tecnologías de transmisión, que son identificadas como:

- RS-485
- MBP
- RS-485 IS
- MBP IS
- Fibra óptica

rs-485 utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre 9.6 kbps y 12 mbps. Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.

mbp (*manchester coding y bus powered*) es transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31.25 kbps.

Las versiones is son intrínsecamente seguras, utilizadas en zonas clasificadas.

Fibra óptica incluye versiones de fibra de vidrio multimodo y monomodo, fibra plástica y fibra hcs.

- profibus dp está actualmente disponible en tres versiones:
 - DP-V0. Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones.
 - DP-V1. Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.
 - DP-V2. Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas.

2.5.4. Foundation Fielbus FF

Es un sistema de comunicación de dos vías digital que sirve como la red de nivel base en el ambiente de automatización de una planta o red.

- Estándares definidos por Fieldbus Foundation. Existen dos estándares o niveles definidos por Fieldbus Foundation.
 - Fieldbus Foundation H1: Está regulada por el estándar IEC11158-2, lo que lo hace compatible con Profibus PA. La comunicación se realiza a una velocidad relativamente baja de 31.25 Kbps. Las grandes ventajas de este tipo de red son la capacidad de reutilizar el mismo cableado de una red 4-20 mA. y la seguridad intrínseca que nos ofrece, especialmente para ambientes Industriales en donde existen ambientes explosivos o combustibles. La

alimentación hacia los dispositivos se realiza por el mismo conductor por donde viaja la señal digital. Este estándar permite diversas topologías de red tales como árbol, estrellas o mixtas.

- Fieldbus Foundation HSE (High Speed Ethernet): Esta orientado al control de una red industrial. A diferencia del nivel H1, el nivel HSE permite velocidades de 100 Mbps. y no permite alimentación a los dispositivos por el mismo cable, por lo cual es necesario una fuente de alimentación externa para los dispositivos. de acuerdo a su estructura lógica de red HSE está diseñada para ser combinada con redes H1.
- Fieldbus Foundation H2: Cuando recién había comenzado a desarrollarse la tecnología Fieldbus Foundation se consideró crear una versión que tuviera una velocidad intermedia entre H1 y HSE. Esta nueva tecnología operaría a velocidades de 1 y 2,5 Mbps. Debido al gran éxito de la tecnología HSE la fundación decidió desechar esta versión, aunque aún en literatura relacionada con Fieldbus Foundation se puede ver referencias hacia H2.
- Descripción de los protocolos H1 y HSE. La tecnología FF se puede dividir en dos estándares orientados a las comunicaciones Industriales, pero con distintas aplicaciones. Cuando se desarrolló HSE se pensó en integrar HSE con H1 y además de eso agregar servicios que H1 no ofrecía. Las características técnicas de H1 y HSE son las siguientes
 - Estándar Fieldbus Foundation H1. El nivel H1 de Fieldbus Foundation se encarga de la comunicación de los dispositivos de campo de una planta Industrial tales como Transmisores,

Válvulas, Switches, entre otros, con una red de control que posee mayor capacidad de datos y velocidad que puede ser el estándar HSE o alguna red de similares características. El estándar H1 fue creado pensando en ofrecer una comunicación digital segura y reducir el cableado punto a punto de las redes tradicionales para pasar a la transmisión de varias señales por sobre el mismo bus de datos, Además el estándar H1 presenta características adicionales como la seguridad intrínseca y alimentación por sobre el mismo bus que lo hacen un medio de transmisión eficaz para grandes plantas industriales.

- HSE (High Speed Ethernet). HSE es un estándar Fieldbus Foundation basado sobre Ethernet, entre sus ventajas se encuentra la posibilidad de transmisión de grandes cantidades de datos y la alta velocidad de transmisión que ofrece (100 Mbit/s y 1 Gbit/s), además de la posibilidad de realizar el tendido de cable sobre par trenzado y fibra óptica. HSE además nos ofrece la posibilidad de equipar la red de cableado tradicional y fibra óptica. HSE no fue desarrollado pensando en sustituir a H1, sino que complementarse con él. Al lograr unir una red de campo y una de control se crea una gran integración y el sistema continúa siendo abierto e interoperable sin perder funcionalidad. HSE trabaja en un nivel superior a H1 y puede conectar segmentos H1 y otros dispositivos de velocidad elevada con las estaciones de trabajo. Comparando H1 y HSE no podemos decir que uno es mejor al otro, simplemente tienen propiedades distintas para distintas aplicaciones.

2.5.5. Protocolo de transmisión para sistemas de control MODBUS

Modbus es un protocolo de comunicaciones, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Debido a que este protocolo fue público, de fácil uso y que requiere poco desarrollo (maneja bloques de datos sin suponer restricciones) se convirtió en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria. Es el protocolo de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. El protocolo Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo, un equipo de medición temperatura y humedad puede comunicar los resultados a una PC. Modbus también se usa para la conexión de un PC de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión de adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serial y Ethernet (Modbus/TCP).

2.5.6. Red de bajo nivel DEVICENT

DeviceNet es una red digital, multi-punto para conexión entre sensores, actuadores y sistemas de automatización industrial en general. Esta tecnología fue desarrollada para tener máxima flexibilidad entre los equipos de campo e interoperabilidad entre diferentes fabricantes.

Introducido originalmente en 1994 por Allen-Bradley, DeviceNet transfirió su tecnología a ODVA en 1995. La ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) es una organización sin fines de lucro compuesta por cientos de empresas alrededor del mundo que mantiene, difunde y promueve la tecnología DeviceNet y otras redes basadas en el protocolo CIP (Common Industrial

Protocol). Actualmente más de 300 empresas están registradas como miembros, y 800 más ofrecen productos DeviceNet de todo el mundo.

La red DeviceNet está clasificada en el nivel de red llamada devicebus, cuyas características principales son: alta velocidad, comunicación a nivel de byte que incluye comunicación con equipos discretos y analógicos y el alto poder de diagnóstico de los dispositivos de la red.

La tecnología DeviceNet es un estándar abierto de automatización con el objetivo de transportar 2 tipos principales de información:

- Datos cíclicos de sensores y actuadores, directamente relacionados al control.
- Datos no cíclicos indirectamente relacionados al control, como configuración y diagnóstico.

Los datos cíclicos representan la información intercambiada periódicamente entre el equipo de campo y el controlador. Por otro lado, los no cíclicos son informaciones intercambiadas eventualmente durante la configuración o diagnóstico del equipo de campo.

La capa física y de acceso a la red DeviceNet está basada en la tecnología CAN (Controller Area Network) y las capas superiores en el protocolo CIP, que define una arquitectura basada en objetos y conexiones entre ellos.

El CAN fue originalmente desarrollado por la BOSCH para el mercado de automóviles Europeos para sustituir el cableado costoso por un cable en red de

bajo costo en automóviles. Como resultado, el CAN tiene respuesta rápida y confiabilidad alta para aplicaciones principalmente en las áreas automovilística.

Una red DeviceNet puede tener hasta 64 dispositivos donde cada dispositivo ocupa un nodo en la red, direccionados de 0 a 63. Cualquiera de ellos puede ser utilizado. No hay ninguna restricción para el uso de ellos, aunque el uso de los 63 no es recomendable, ya que se utiliza para la puesta en marcha

2.5.7. Aplicación de redes industriales

Son las que se encargan en el intercambio y control de la información de la comunicación digital, en las distintas partes del proceso industrial, para lograr un proceso con la eficiencia requerida por el cliente.

Una de sus ventajas es la cantidad de flujos de datos que se pueden transmitir, como el ahorro en el costo de cableado ya que se logra una mayor optimización.

3. PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN

3.1. Selección de componentes

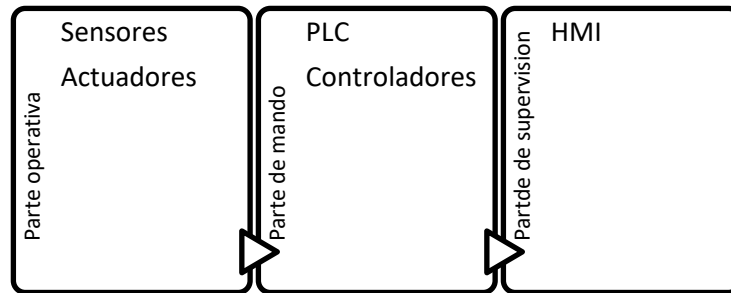
Una vez analizado el proceso, se seleccionan los componentes del equipo para implementar el sistema automatizado. Se estudia las opciones más aceptables y óptimas, considerando sus características y costos. A continuación, se describen estos componentes y su proceso de selección.

3.1.1. Componentes eléctricos

Los sistemas automatizados buscan que los equipos o procesos actúen de una manera independiente basándose en la utilización de elementos especializados como hardware y software que permiten el control del sistema.

Los principales componentes de un sistema automatizado son la parte operativa y la parte de mando que logran el cometido de la automatización, pero también se agregan etapas de supervisión útiles para los operadores y para la toma de decisiones dentro de una empresa.

Figura 11. **Componentes de un sistema**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Componentes mecánicos (Instrumentación)**

La instrumentación se refiere a los componentes eléctricos, electrónicos de control y monitorización.

Como elementos de monitorización como sensores, para la medición de presión, flujo, conductividad, pH, estos ayudan para tener un panorama en general del proceso y ver que este esté funcionando de manera adecuada.

Los elementos de control son por los cuales se hacen ciertas operaciones, dejar pasar o detener flujos, hacer circular agua por tuberías a cierta presión mediante una bomba, en este caso tenemos como elementos de acción y control una Electroválvula y dos bombas de agua (bomba de sistema osmosis y bomba de despacho de agua tratada).

Un elemento principal que ejecuta cada acción y hace uso de las mediciones que proporcionan los sensores en el sistema, es el PLC (Controlador Lógico Programable), este se encarga de recopilar toda la

información y de acuerdo a su lógica ejecuta acciones los cuales van destinados al correcto funcionamiento del sistema osmosis.

HMI (Interfaz Humano Maquina), enlaza el PLC con el operador para ejecutar las acciones pertinentes, en este se encuentran mímicos del proceso, información del sistema y comandos.

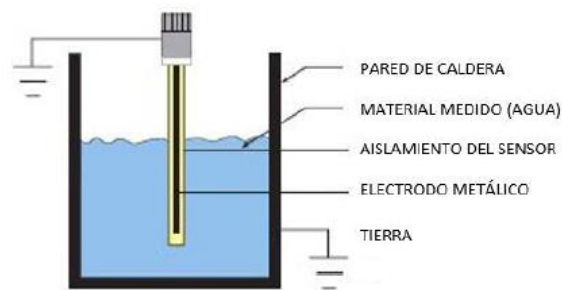
Detalle de los elementos utilizados para la operación del sistema completo que integra la osmosis inversa.

- Motor Principal, trifásico 120 VAC, 60Hz, 2Hp.
- Motor Secundario, trifásico 120 VAC, 60Hz, 2Hp.
- Electroválvula Neumática (aire 8 bares), presión de agua 2-3 bares.
- Sensores de presión (0-15 bar), señal de salida (4-20mA).
- Sensores de flujo (0-10 L/min), Señal de salida (4-20mA).
- Sensores de conductividad (0-500 MH/cm), señal de salida (4-20mA).
- Sensor de Nivel (0-5 m), señal de salida (4-20mA).
- Controlador Lógico Programable (120 VAC, Puerto Ethernet, Protocolo Modbus, 8 entradas digitales, 8 salidas digitales, 12 entradas análogas).
- HMI (Puerto Ethernet, Protocolo Modbus, 24 VDC).
- Fuente de Alimentación (120 VAC/24 VDC).

Dentro de los componentes está el sensor de nivel es un dispositivo que mide la altura del material dentro de un tanque u otro recipiente. Los sensores de nivel basan su medición en principios de capacitancia, conductividad y resistencia. La medición de agua en tanques utiliza los tipos de nivel de punto, que marcan una altura determinada y los de nivel continuo que realizan el seguimiento del nivel en todo el sistema.

Sensor de nivel capacitivo, estos sensores eléctricos consisten en una sonda capacitiva insertada en el proceso, permiten controlar el nivel basándose en la modificación de la capacidad de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas; la sonda y el recipiente equivalen a las dos placas de un capacitor y el líquido al medio dieléctrico.

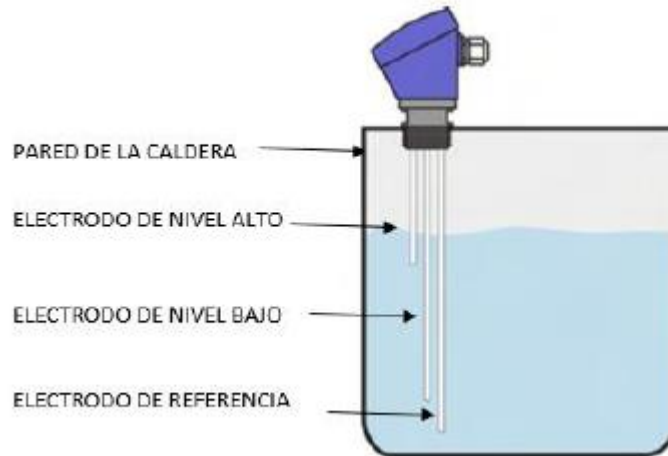
Figura 12. **Sensor capacitivo**



Fuente: BAGUI, F., M. A. Abdelghani-Idrissi y H. Chafouk. *Heat exchanger Kalman filtering with process Dynamic acknowledgement.*

Sensor de nivel conductivo, estos sensores basan su funcionamiento en la conductividad, se usan para medir líquidos conductores de electricidad como son la mayoría de las soluciones acuosas con sales, ácidos y álcalis. Consta de uno, dos o más electrodos que pueden marcar: un solo punto de referencia, un punto de nivel bajo o uno de nivel alto.

Figura 13. **Sensor de nivel conductivo**



Fuente: BAGUI, F., M. A. Abdelghani-Idrissi y H. Chafouk. *Heat exchanger Kalman filtering with process dynamic acknowledgement.*

3.1.3. **Componentes y su proceso de selección**

Cada componente se selecciona en base al proceso a trabajar en relación al fluido que se utiliza en el proceso industrial.

3.1.4. **Electroválvulas**

La válvula de ingreso y de desfogue es reemplazada por electroválvulas, para controlar la alimentación a la entrada del sistema de osmosis.

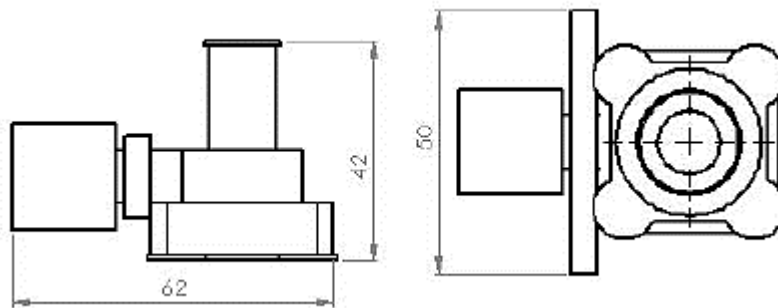
Para seleccionar las electroválvulas se considera los parámetros, a continuación, se dejará los parámetros tomados en cuenta para la selección de la EV de este sistema.

Tabla I. **Parámetros de selección de la electroválvula**

Parámetros	Indicadores
Fluido	Agua
Presión agua	2 a 3 Bares
Temperatura del Agua	17 °C – 90 °C
Diámetro del Orificio	½"

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Dimensiones del cuerpo de la válvula**



Fuente: elaboración propia.

3.1.4.1. **Operación e instalación de electroválvulas**

Las electroválvulas se unen al equipo por medio de uniones de ½", ubicados en la tubería del equipo, como se muestra en la figura.

Figura 15. **Instalación de electroválvulas**



Fuente: elaboración propia.

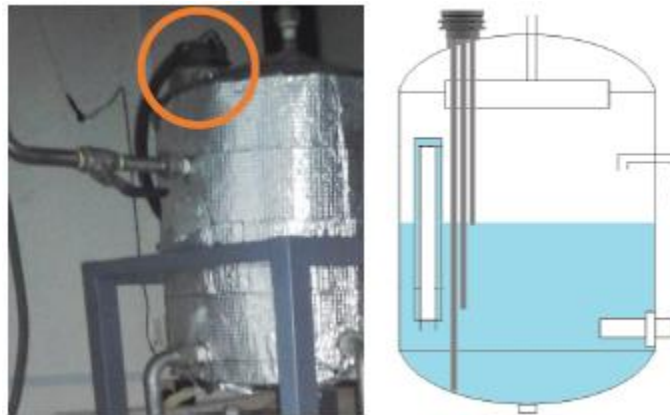
3.1.5. Sensor de nivel

Permite conocer cuando se alcanza el nivel óptimo de operación, enviando una señal al controlador.

3.1.5.1. Operación e instalación de sensor de nivel

El porta electrodos se instala por un acople de rosca de 2" soldado en el tanque, de esta manera los electrodos entran en línea recta. El dispositivo se remueve fácilmente, en caso de cambios. La señal del sensor se envía por medio de tres cables, conectados a los electrodos E1, E2 y E3, conectados en los bornes del relé de nivel, ubicado en el cuadro de control. El contacto normalmente abierto se conecta en la entrada del PLC entre los bornes.

Figura 16. **Sensor de nivel**



Fuente: Watlow. *Sensores de nivel*. www.watlow.com.mx/products/heaters/index.cfm. Consulta: 06 de enero 2021.

3.1.6. **Relés y Contactores**

El accionamiento automático de cada uno de los componentes se realiza por medio de relés y contactor, activados mediante salidas del controlador.

- Características de los relés:
 - Relés encapsulados de 8 pines planos
 - Marca CAMSCO, serie MY
 - Voltaje de 110 Vac, Cargas resistivas 5 A e inductivas 3 A
 - Contactos conmutados: 2 NA y 2 NC
 - Base para relé MY, 8 pines planos

- Características del contactor:
 - Contactor de fuerza 18A, 5HP, 220VAC
 - Marca Metasol, modelo G MC-18b LS
 - Contactos: 1 NA y 1 NC

- Características del relé térmico:
 - Relé térmico diferencial GTK-22 LS
 - Regulación de 12 a 18 A
 - Contactos: 1 NA y 1 NC

3.1.7. Fuente

Se seleccionó una fuente, para la alimentación del PLC, es de bajo costo y su tamaño permite ahorrar espacio en el cuadro de control.

3.1.8. PCL

El controlador permite activar las salidas digitales, medir los valores de nivel, presión y caudal del sistema, así como las confirmaciones de on/off de los diferentes dispositivos. Para seleccionar el PLC se establece las entradas y salidas del sistema.

Tabla II. **Entradas y salidas del sistema**

Entradas	Salidas
EV Confirmación	EV Comando
Bomba1 Confirm	Bomba1 Comando
Bomba2 Confirm	Bomba2 Comando
Sensor de Presion1	
Sensor de Presion2	
Sensor de Presion3	
Sensor de Presion4	
Sensor de Flujo1	
Sensor de Flujo2	
Sensor de Conduct1	
Sensor de Conduct2	
Sensor de Nivel	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Diagrama electrónico del sistema

Una vez estudiadas las características de los componentes del sistema, se establece los diagramas eléctricos que son de: protección, control y potencia.

3.2.1. Diagrama de protección

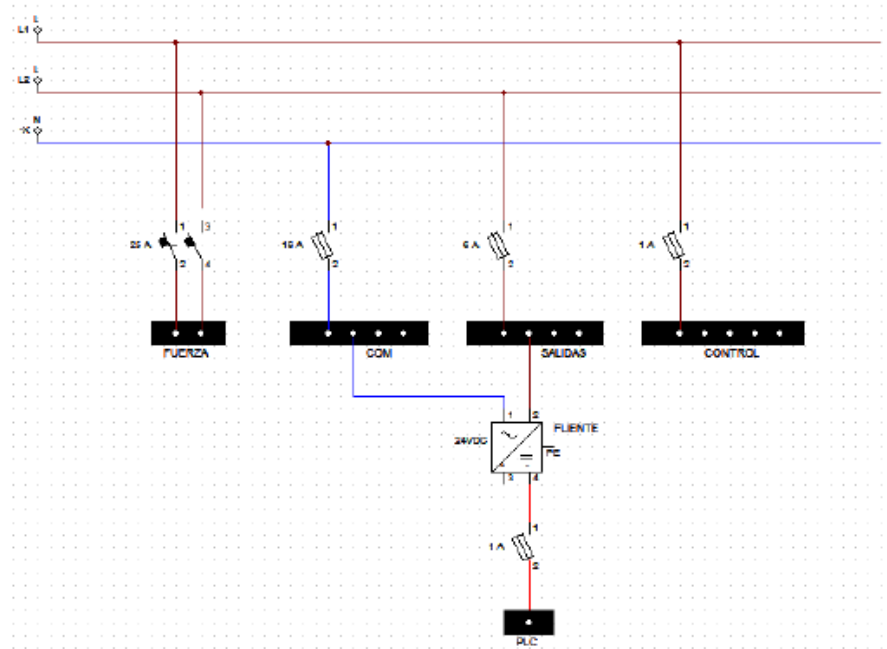
El sistema se alimenta con 220 Vac que se dividen a todo el proceso; trabaja con diferentes niveles de tensión: 24 Vdc, 110 Vac y 220 Vac. En la tabla, se describe los valores del breaker y los fusibles, que protegen contra sobrecarga la alimentación de las salidas, líneas de control y el PLC.

Tabla III. **Valores de breaker y fusibles**

Dispositivo	Amperaje	Fusible
Fuerza	13,64 A	25 A
COM	16 A	16 A
Salidas	2,72 A	5 A
Control	0,091 A	1 A
PLC	0,091 A	1 A

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Diagrama eléctrico de protecciones



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Diagrama de control

El diagrama de control considera las conexiones de entradas y salidas al controlador.

Tabla IV. Entradas del controlador

Entradas Digitales	Dispositivo
EV Confirmación	Electroválvula
Bomba Estado	Bomba Osmosis
Bomba Estado	Bomba Despacho

Continuación tabla IV.

Entradas Análogas	Dispositivo
Presión Pre-Filtro	Sensor Pre-Filtro
Presión Intermedio	Sensor Intermedio
Presión Pos Filtro	Sensor Pos Filtro
Presión Principal	Sensor Osmosis
Conductividad In	Sensor Inicial
Conductividad Fin	Sensor Final
Flujo Sistema	Sensor Osmosis
Flujo Final	Sensor Final
Nivel de Tanque	Sensor Tanque

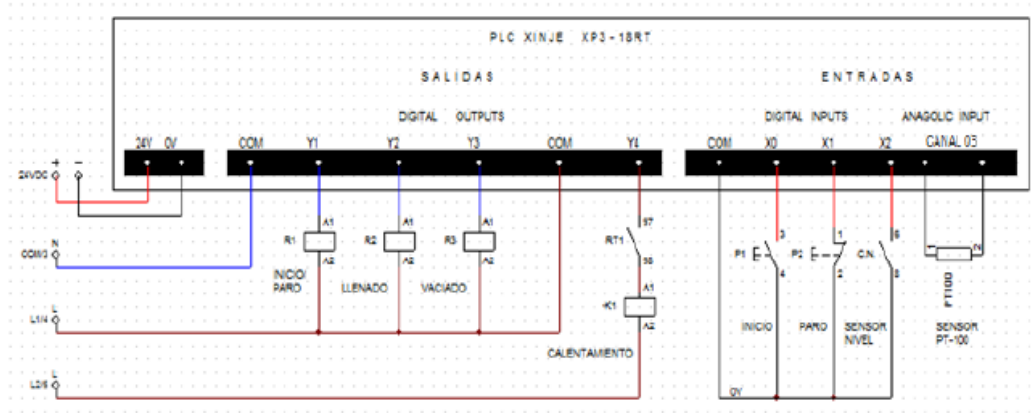
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Salidas del controlador.**

Salidas Digitales	Dispositivo	Accionamiento
EV Comando	Relé 1 (R1)	Bobina 24Vdc
Bomba1 Comando	Relé 2 (R2)	Bobina 24Vdc
Bomba2 Comando	Relé 3 (R3)	Bobina 24Vdc

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Diagrama eléctrico de Control**



Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Diagrama de potencia

Este diagrama representa el circuito de alimentación de los accionadores del sistema, a continuación, en la tabla VII se describe los actuadores y los contactos principales.

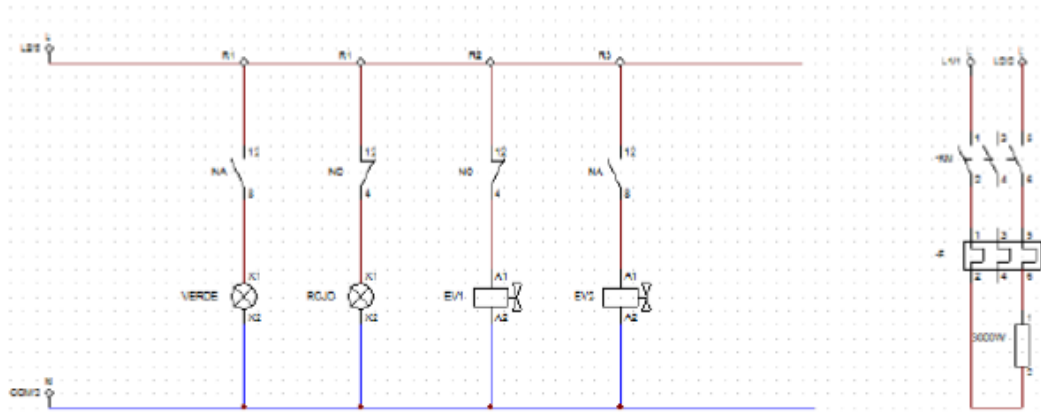
Tabla VI. **Actuadores del proceso**

Dispositivo	Voltaje	Contacto
Electro Válvula	110Vac	Contacto NA
Bomba Osmosis	220Vac	Contacto NA
Bomba Despacho	220Vac	Contacto NA

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la alimentación de estos elementos se realiza el diagrama de potencia del sistema que se describe a continuación en la figura.

Figura 19. Diagrama eléctrico de Potencia



Fuente: elaboración propia.

3.3. Sistema propuesto de purificación de agua

A continuación, se describe los componentes del purificador de agua propuesto para la mejora del sistema.

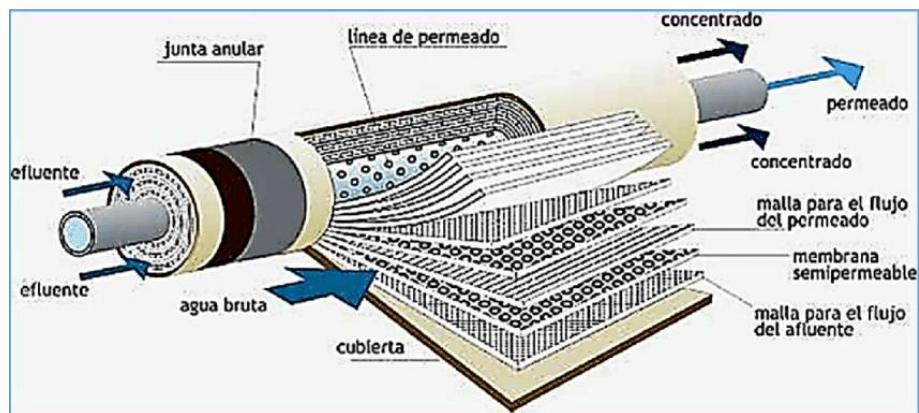
3.3.1. La osmosis inversa

es uno de los procesos mayormente utilizados en las industrias de tratamiento de agua, dentro de este proceso, el líquido vital recobra su pureza, pues es forzada a cruzar una membrana encargada de atrapar las impurezas que en ella se encuentran.

La osmosis normal toma lugar cuando el agua pasa de una solución menos concentrada a una solución más concentrada a través de una membrana semipermeable.

La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña, que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua.

Figura 20. **Membrana del sistema de osmosis inversa**



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. **Membranas de ósmosis inversa**

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar impurezas como:

- Sólidos disueltos
- Sólidos orgánicos
- Sólidos pirogénicos
- Algunas membranas tienen una habilidad de rechazo de 50 a 98 %.
- El material filtrante de la membrana tiene una multitud de poros submicroscópicos en su superficie.

El tamaño del poro de la membrana (0,0005 a 0,002 micrones) es mucho más pequeño que el de las aberturas de un filtro mecánico normal (1 a 25 micrones) que un diferencial de presión mucho más grande se requiere para hacer que el agua pase por la membrana que el diferencial requerido por un material filtrante normal.

3.3.3. Conductividad

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.

3.3.4. Interferencias en la medida

Sustancias no disueltas o materiales que precipiten lentamente en la muestra, pueden causar ensuciamiento en la superficie de los electrodos y causar lecturas erróneas. El ensuciamiento por sustancias orgánicas, bioensuciamientos y corrosión de los electrodos, causan lecturas inestables o erróneas. El factor de correlación para obtener los valores cuantitativos de los

sólidos totales disueltos solo es válido cuando la muestra tiene un pH entre 5 y 8, a valores mayores o menores de pH, los resultados no serán confiables.

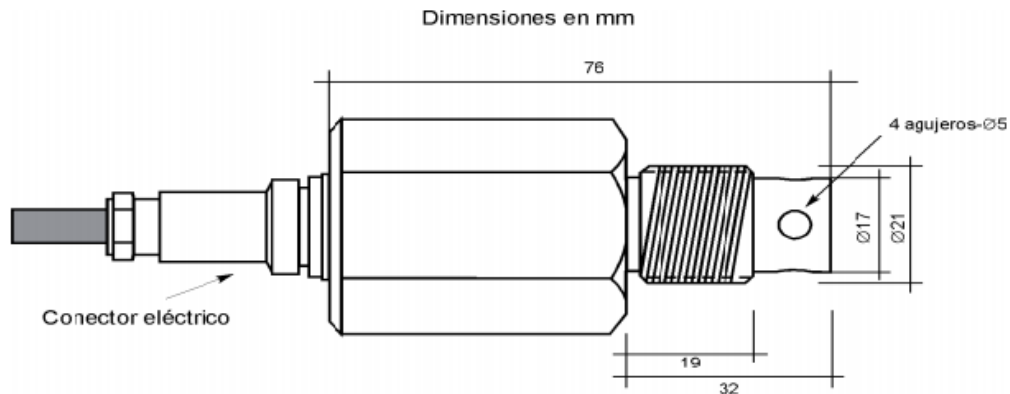
3.3.5. Conductividad inductiva u

Una célula de medición inductiva consiste en dos bobinas, una transmisora y otra receptora. Ambas bobinas están integradas en un alojamiento hueco. El alojamiento se sumerge en el fluido, que inunda su interior. A continuación, se aplica una tensión alterna sinusoidal a la bobina transmisora. Esto produce una corriente en el fluido proporcional a su conductividad. A su vez, esta corriente induce una tensión en la bobina receptora. La conductividad se determina midiendo esta segunda tensión y conociendo la constante de la célula. El sistema integra también un sensor de temperatura que permite aplicar correcciones de temperatura. Muy adecuada para entornos agresivos.

3.3.6. Sensor de conductividad

Este construido por un cuerpo de acero inoxidable y un electrodo de titanio. La celda de conductividad TECMES SC-5 es apta para operar en línea hasta presiones de 5 kg/cm². Construida en acero inoxidable AISI 316 y titanio, es sumamente confiable y precisa. Un termistor interno permite la compensación de la conductividad con la temperatura.

Figura 21. **Sensor de conductividad**



ESPECIFICACIONES

Rango:	<i>Hasta 50 mts</i>
Máxima presión de línea:	<i>5 kg/cm²</i>
Toma a proceso:	<i>1/2 NPT</i>
Linealidad:	<i>+/- 1%</i>
Compensación térmica:	<i>Por termistor encapsulado</i>
Temperatura de operación:	<i>De acero inoxidable AISI 316</i>
Cuerpo:	<i>Inoxidable AISI 316 Electrodo de titanio</i>

Fuente: elaboración propia.

3.3.7. Electrodesionización (edi)

La electrodesionización es un proceso continuo para en el cual se obtiene agua ultrapura, sin la necesidad de utilizar productos químicos. Consiste en la eliminación de iones y especies ionizadas presentes en el agua por medio de electricidad.

La Electrodesionización se utiliza comúnmente como afino para el agua de permeado obtenida de una ósmosis inversa, reemplazando los sistemas

tradicionales de lecho mixto y eliminando la necesidad del uso de productos químicos para la regeneración de las resinas de intercambio, evitando así, tanto el coste elevado de estos productos, como los problemas medioambientales que pueden ocasionar.

La simplicidad, el menor espacio ocupado, la facilidad de mantenimiento y el que sea un proceso continuo, son otras ventajas frente a los desmineralizadores por medio de resinas.

Figura 22. **Electrodesionizacion (edi)**



Fuente: elaboración propia.

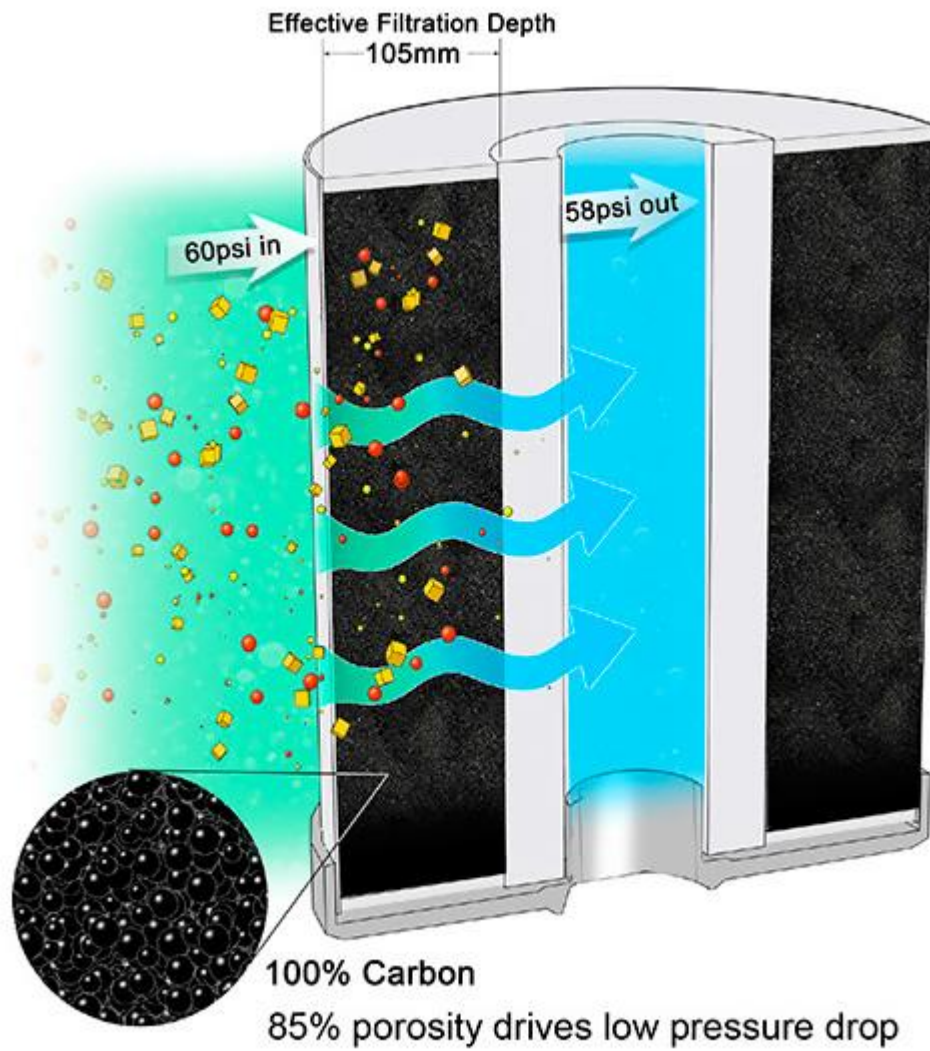
3.3.8. Filtro de Carbón Activado

El Carbón activado granular es un material que se utiliza para filtrar químicos y microorganismos nocivos del suelo y el agua contaminados. A

medida que el agua fluye a través de un filtro de carbón activado granular, los químicos se adsorben o se adhieren a la superficie y dentro de los millones de microporos de los gránulos del carbón activado. Los filtros de carbón activado se utilizan siempre como parte de un sistema de extracción y tratamiento para limpiar aguas subterráneas, de río, lago, pozo, manantial, aguas municipales o agua salobre, generalmente como segunda etapa después de un filtro multimedia. Un filtro de carbón activado consiste en un recipiente o columna empacada o rellena de gránulos. Su estructura y propiedades le permiten adsorber específicamente aquellos químicos peligrosos que se encuentran en el agua a tratar.

El tratamiento con carbón activado proporciona excelentes resultados al eliminar cloro (riesgos de usar cloro), mal olor, microorganismos y patógenos como virus y bacterias, mejora el sabor y color del agua, retiene una amplia gama de químicos como pueden ser combustibles, bifenilos policlorados, dioxinas y desechos radioactivos. Asimismo, puede eliminar ciertos tipos de metales como plomo, cadmio o mercurio, siempre que los metales pesados se encuentren presentes en pequeñas cantidades.

Figura 23. **Funcionamiento del carbón activado**



Fuente: elaboración propia.

3.3.9. Esterilizador Ultravioleta UV

La principal aplicación es la desinfección de agua. Cualquier industria que utilice agua en su proceso industrial es susceptible de usar estos equipos. Los equipos U.V. también están indicados para tratamientos de superficies y aire.

La radiación U.V. constituye una de las franjas del espectro electromagnético y posee mayor energía que la luz visible. La irradiación con rayos U.V. de los gérmenes presentes en el agua provoca una serie de daños en su molécula de ADN, que impiden la división celular y causan su muerte.

El esterilizador ultravioleta es un equipo avanzado de desinfección de agua. Los rayos ultravioleta UV alteran el ADN de los microorganismos (virus, bacterias, protozoos, entre otros), presentes en el agua, eliminándolos, o inactivándolos genéticamente, para impedir su reproducción. La eficiencia del UV en la eliminación de virus y bacterias es del 99,9 %; además, el UV es más efectivo que el cloro contra los virus y protozoos.

La desinfección de agua por radiación ultravioleta (U.V) es un procedimiento físico, que no altera ni la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. La seguridad de la desinfección U.V. está probada científicamente y constituye una alternativa segura, eficaz, económica y ecológica frente a otros métodos de desinfección del agua, como por ejemplo la cloración.

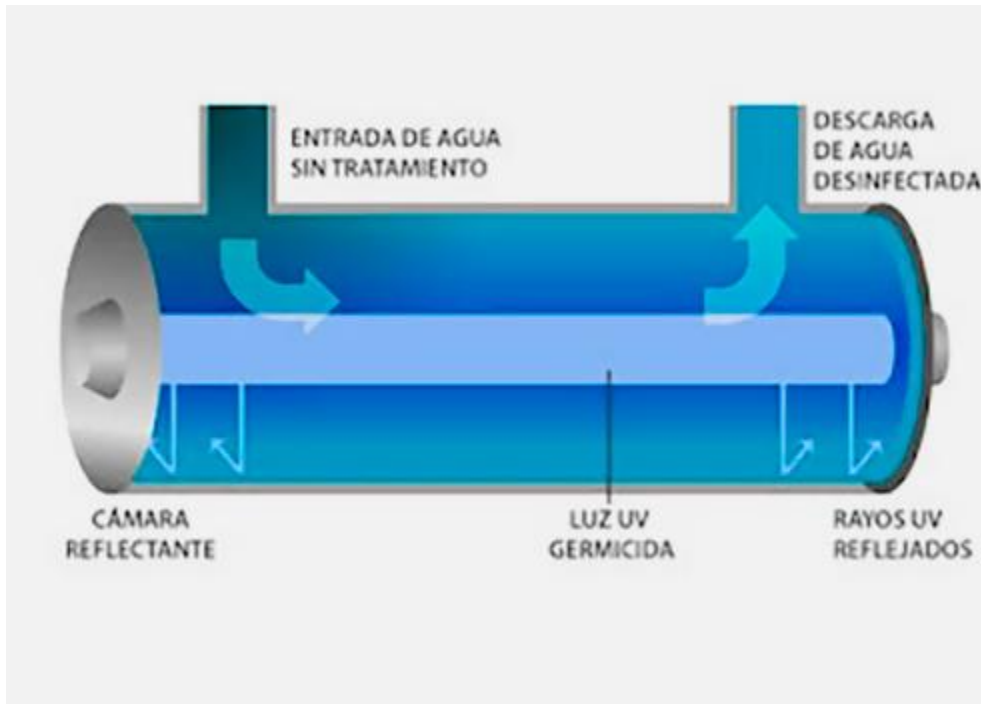
Figura 24. **Esterilizador ultravioleta**



Fuente. elaboración propia.

El equipo esterilizador ultravioleta está constituido por un tubo de acero inoxidable sanitario con interior totalmente pulido espejo. Dentro del tubo de acero inoxidable se encuentra otro tubo de cuarzo y dentro de este último la lámpara de radiación ultravioleta. El agua circula entre el tubo de acero inoxidable y el tubo de cuarzo y es a través de este último que el esterilizador irradia los rayos UV eliminando todo tipo de bacterias y virus dejando el agua esterilizada y lista para el consumo.

Figura 25. **Radiación ultravioleta**



Fuente: elaboración propia.

3.3.10. **Ablandador de agua**

El ablandamiento del agua se usa cuando el agua contiene una cantidad significativa de calcio y magnesio, esta es llamada agua dura. El agua dura es conocida por taponar las tuberías y complicar la disolución de detergentes en agua.

El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura, en la mayoría de los casos iones de calcio y magnesio. En algunos casos iones de hierro también causan dureza del agua. Iones de hierro pueden también ser eliminados durante el proceso de

ablandamiento. El mejor camino para ablandar un agua es usar una unidad de ablandamiento de aguas y conectarla directamente con el suministro de agua.

Figura 26. **Ablandador de agua**

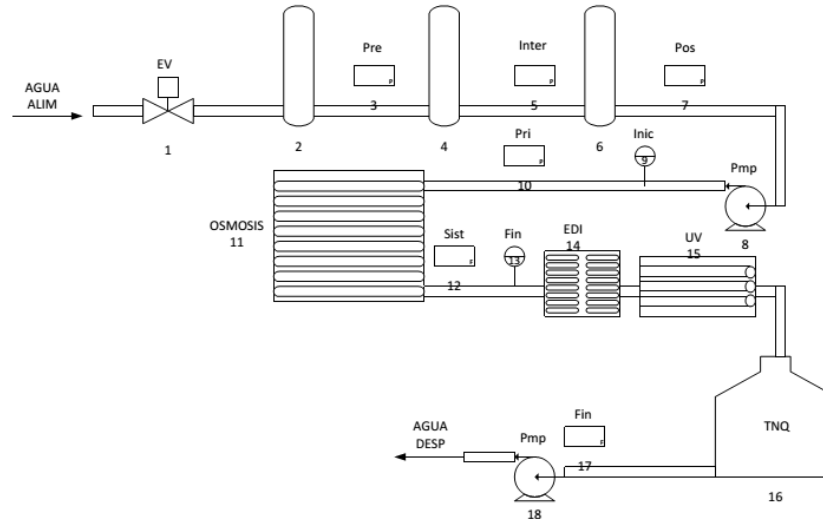


Fuente: elaboración propia.

3.3.11. Sistema propuesto

El sistema utiliza agua potable del grifo como alimentación y produce agua purificada que es dispensada por dispensadores independientes.

Figura 27. Sistema de purificación de agua



1. Válvula Neumática de entrada
2. Filtro Primario
3. Sensor de Presión Pre-Filtro
4. Filtro Secundario
5. Sensor de Presión Intermedio
6. Filtro Terciario
7. Sensor de Presión Post Filtro
8. Bomba Principal de Osmosis
9. Sensor de Conductividad Inicial
10. Sensor de Presión Primaria
11. Sistema de Osmosis
12. Sensor de Flujo Sistema
13. Sensor de Conductividad Final
14. Electro-deionización (EDI)
15. Sistema Esterilizador ultravioleta
16. Tanque de agua tratada
17. Sensor de Flujo Final
18. Bomba de despacho de agua.

Fuente: elaboración propia.

3.3.12. Proceso de Osmosis

El sistema consiste en eliminar del agua los elementos de como sólidos y otras impurezas como químicos:

- Primera etapa: Se abre la electro válvula de paso, para dejar circular agua de alimentación por unos filtros de carbón activado, siempre tomando en consideración los niveles de presión en la tubería, para que el agua tenga un buen desplazamiento en la tubería.

En esta etapa el agua que ingresa tiene un gran nivel de impurezas y sólidos, los cuales se buscan eliminar en su mayoría en el siguiente paso, aquí se controla y monitorea la Electroválvula, como elemento principal para el paso de agua al sistema en general, igualmente se monitorea las presiones de prefiltros, intermedio y posfiltros, para poder detectar si alguno de ellos está dañado o necesite de reemplazo inmediato.

- Segunda etapa: Unos segundos después de la apertura de la Electroválvula, se da el arranque del motor principal que bombea el agua a presión por el sistema de Osmosis, aquí se necesita una presión mayor a la inicial, ya que el sistema de osmosis contiene membranas por las cuales debe pasar el agua y el remanente queda con los sólidos que se pretenden eliminar en el proceso, este sale como agua concentrada en la tubería de rechazo.

En esta etapa se controla y monitorea el arranque del motor principal (Pmp1), la presión primaria (o principal) a la entrada del sistema de osmosis, el flujo del sistema (osmosis), se monitorea la conductividad a la entrada del sistema osmosis y conductividad a la salida de la misma, el cual ayuda a corroborar el buen funcionamiento de las membranas en el sistema, y por ultimo también se monitorea el nivel de tanque y sus

diferentes limites (alto/bajo), los niveles alto y bajo ayudan para el accionamiento y paro del sistema en modo automático.

- Tercera etapa: Como último, tenemos el despacho de agua, aquí se controla y monitorea el motor secundario (Pmp2), también se monitorea el flujo de Agua a despachar (Flujo Final), esto último para tener un control del agua entregado como producto final del sistema.

3.3.13. El sistema contempla los siguientes elementos a controlar y monitorear:

- Tanque de agua permeada con sensores de nivel (Nivel de tanque y limites alto/bajo).
- Electroválvula de paso [EV] (Control Apertura/Cierre y Monitoreo Abierto/Cerrado).
- Motor Principal [Pmp1] (Control Arranque/Paro y Monitoreo Marcha/Detenido).
- Motor Salida [Pmp2] (Control Arranque/Paro y Monitoreo Marcha/Detenido).
- Sensores de Presión (Monitoreo Pre-filtro, Intermedio, Pos-filtro y Primario).
- Sensores de Flujo (Sistema y Final).
- Sensores de Conductividad (Inicial y Final).

4. SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA

4.1. Control automatizado

La tolerancia a faltas es una técnica para mejorar la fiabilidad de los sistemas o equipos y se fundamenta en la redundancia de componentes. Otra alternativa para mejorar la fiabilidad es la construcción de sistemas o equipos más robustos; esto es, evitar las faltas, aunque esta técnica puede resultar más costosa cuando se requiere de diseños o procesos de fabricación muy especializados y con un mercado limitado. Sin embargo, la tendencia en la construcción de los equipos electrónicos es tener una integración cada vez mayor y un mejor control de los procesos de fabricación, lo cual redundará en una mayor robustez de los mismos.

4.1.1. Tolerancia de fallas

Se basa solo en el uso de un controlador robusto, en donde las fallas son consideradas como incertidumbres dentro del sistema de lazo cerrado. En este caso, el controlador se mantiene fijo y no se reconfigura en caso de una falla. El método pasivo por lo tanto no requiere información en línea de la presencia de una falla (FDD).

4.1.2. Control de tolerancia de fallas

De acuerdo con Patton, los sistemas de control tolerante a fallas activos pueden subdividirse en: reconfiguración del control estimación y compensación, y control adaptativo.

- Reconfiguración del control:

Se divide en dos métodos: basados en proyección y basados en el rediseño del controlador en línea. Este último involucra el cálculo en línea de los nuevos parámetros del controlador o recalcular tanto la estructura o parámetros del controlador. Por otro lado, los métodos basados en proyección seleccionan un controlador a partir de un conjunto de controladores prediseñados fuera de línea. Usualmente cada controlador es diseñado para una falla particular, y por lo tanto, se activa cuando el sistema de diagnóstico (FDD) detecta dicha falla. Estimación y compensación: utilizando la información de la falla obtenida del sistema FDD, una señal de control de compensación de la falla se adiciona con la señal de control enviada por el controlador nominal, el cual ha sido diseñado para la condición sin falla.

4.1.3. Nivel de ejecución

Para el diseño del sistema de control tolerante a fallas es necesario tener un sistema de diagnóstico de fallas, el cual no solo detecte y aisle la falla, sino que también estime la falla. Toda esta información de la falla permite que la estrategia de control se reconfigure; por ejemplo, cambio en los parámetros o estructura del controlador, o que se le adicione un término que compense a la falla, tal que el sistema de control mantenga el mismo desempeño de cuando no había falla. La reconfiguración se da principalmente para fallas en actuadores y en el proceso. Las fallas en actuadores son generalmente modeladas como una pérdida de efectividad (falla parcial), y las fallas en el proceso como fugas.

4.1.4. Nivel de supervisión

Es una medida cuantitativa del comportamiento de un sistema y se elige de forma que se resalte las especificaciones importantes del sistema. Un sistema se considera sistema de control óptimo, cuando sus parámetros se ajustan de forma que el índice alcanza un valor extremo, comúnmente un valor mínimo. Generalmente estos índices son valores positivos.

4.2. Etapas de detección y diagnóstico de fallas

Se describe las etapas de detección y diagnóstico de fallas.

4.2.1. Falla

Una falla es la causa u evento que nos lleva a la finalización de la capacidad de un equipo para realizar su función adecuadamente o para dejar de realizarla en su totalidad. Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de falla.

4.2.2. Causas asignables

Cuando el proceso trabaja afectado solamente por un sistema constante de variables aleatorias no controlables (causas no asignables) se dice que está funcionando bajo Control Estadístico. Cuando, además de las causas no asignables, aparece una o varias causas asignables, se dice que el proceso está fuera de control.

4.3. Controlador Lógico Programable PLC e Integración de señales

- Selección y Configuración

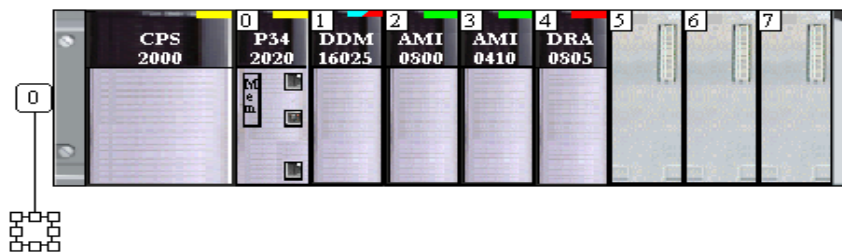
Se selecciona un PLC de la gama intermedia M340 de la marca Schneider Electric con las siguientes características:

- CPU BMX P34 2020, Comunicación Ethernet (Modbus), 120 VAC.
 - Modulo DDM 16025 de 8 entradas digitales.
 - Modulo DRA 0805 de 8 salidas digitales.
 - Modulo AMI 0800 de 8 entradas analógicas.
 - Modulo AMI 0410 de 4 entradas analógicas.
- Software de Configuración y Programación

El software utilizado para este tipo de PLCs es el Unity Pro XL de Schneider Electric en su versión 8.1.

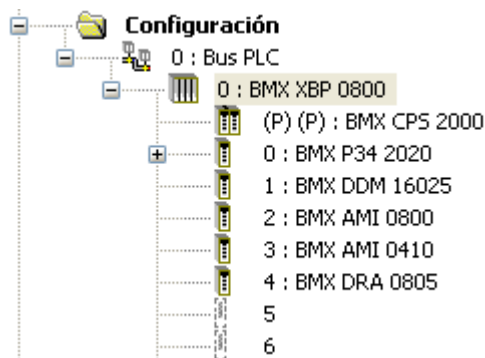
Representación de Bastidor de PLC, que contiene Fuente de Alimentación de PLC, Modulo de Comunicación con puerto Ethernet, módulos de entradas y salidas.

Figura 28. **Grafica de control**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Árbol de distribución de configuración de PLC**



Fuente: elaboración propia.

4.3.1. **Configuración De Entradas y Salidas de PLC**

Se identifican las entradas, el tipo de señal y su asignación dentro del programa.

Tabla VII. **Entradas del programa**

Entrada	Señal	Designación
EV_OnOff	Digital	% I0.1.0
Pmp1_Status	Digital	% I0.1.1
Pmp2_Status	Digital	% I0.1.2
P_PreF	Analógica	% IW0.2.0
P_Inter	Analógica	% IW0.2.1
P_PosF	Analógica	% IW0.2.2
P_Prim	Analógica	% IW0.2.3
Cond_Inic	Analógica	% IW0.2.4
Cond_Fin	Analógica	% IW0.2.5
F_Sist	Analógica	% IW0.2.6
F_Fin	Analógica	% IW0.2.7
N_TNQ	Analógica	% IW0.3.0

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Salida de programa

Se identifican las salidas, el tipo de señal y su asignación dentro del programa.

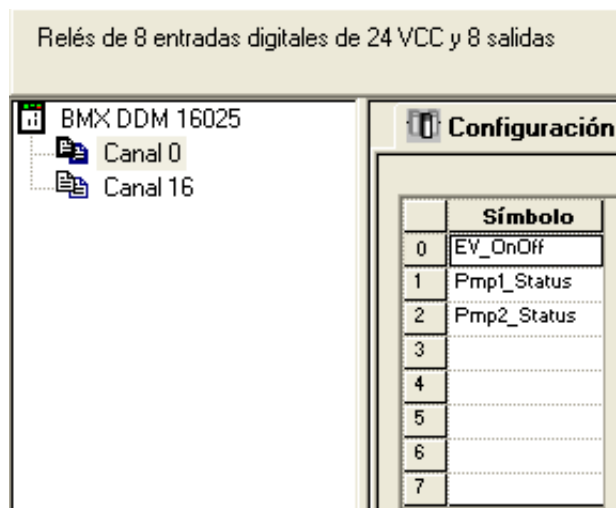
Tabla VIII. **Salidas del programa**

Salida	Señal	Designación
EV_CMD	Digital	% Q0.4.0
Pmp1_CMD	Digital	% Q0.4.1
Pmp2_CMD	Digital	% Q0.4.2

Fuente: elaboración propia.

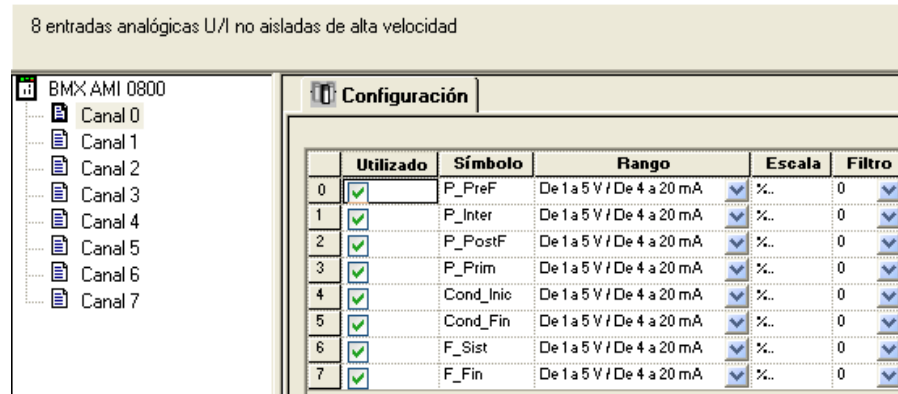
- Configuración de entradas y salidas de PLC.

Figura 30. **Módulo de 8 entradas digitales**



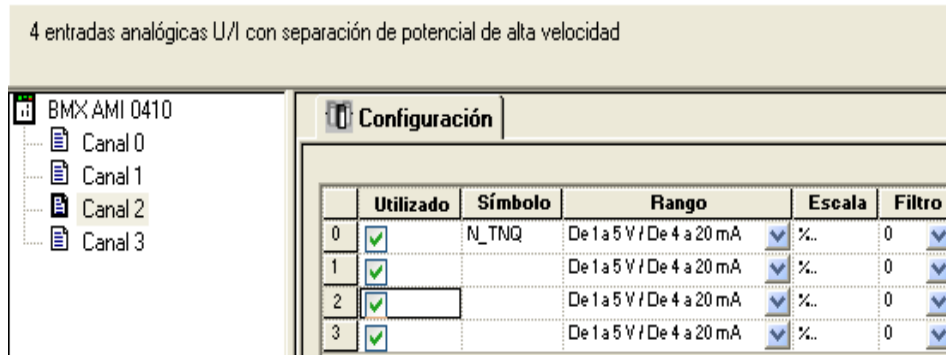
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Módulo de 8 entradas analógicas**



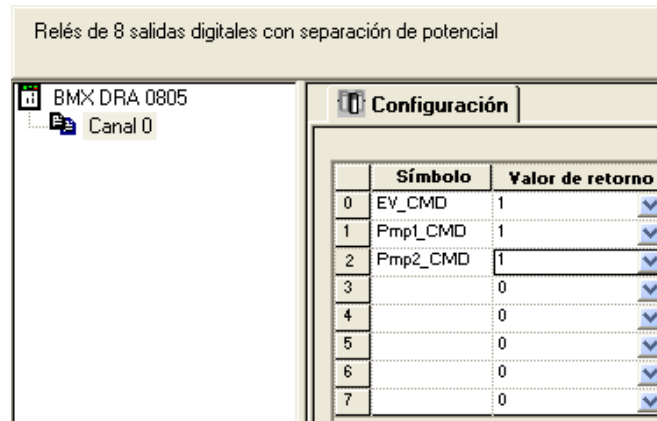
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Módulo de 4 entradas analógicas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Módulo de 8 salidas digitales**



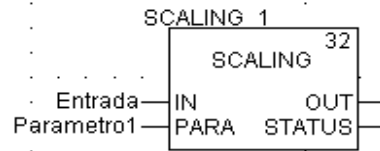
Fuente: elaboración propia.

Cada módulo tiene variables, las cuales se les asigna nombres o etiquetas para identificar cada una de las señales que provienen del sistema, estas bien son de monitoreo las entradas analógicas y control las salidas y entradas digitales.

- Programa y acondicionamiento de señal

Para las señales eléctricas provenientes de los sensores, es necesario hacer cálculos los cuales conviertan estas señales eléctricas a unidades de ingeniería (de 4-20 mA a 0-15 bar), esto sirve para hacer que el lazo de control pueda diferenciar condiciones adecuadas o peligrosas en el proceso.

Figura 34. **Bloque de escalamiento**



Fuente: elaboración propia.

Componentes del bloque de escalamiento, entrada máxima, entrada mínima, salida máxima y salida mínima, con estos hace un cálculo tipo:

$$Y = mX + C.$$

Figura 35. **Parámetros para el bloque de escalamiento**

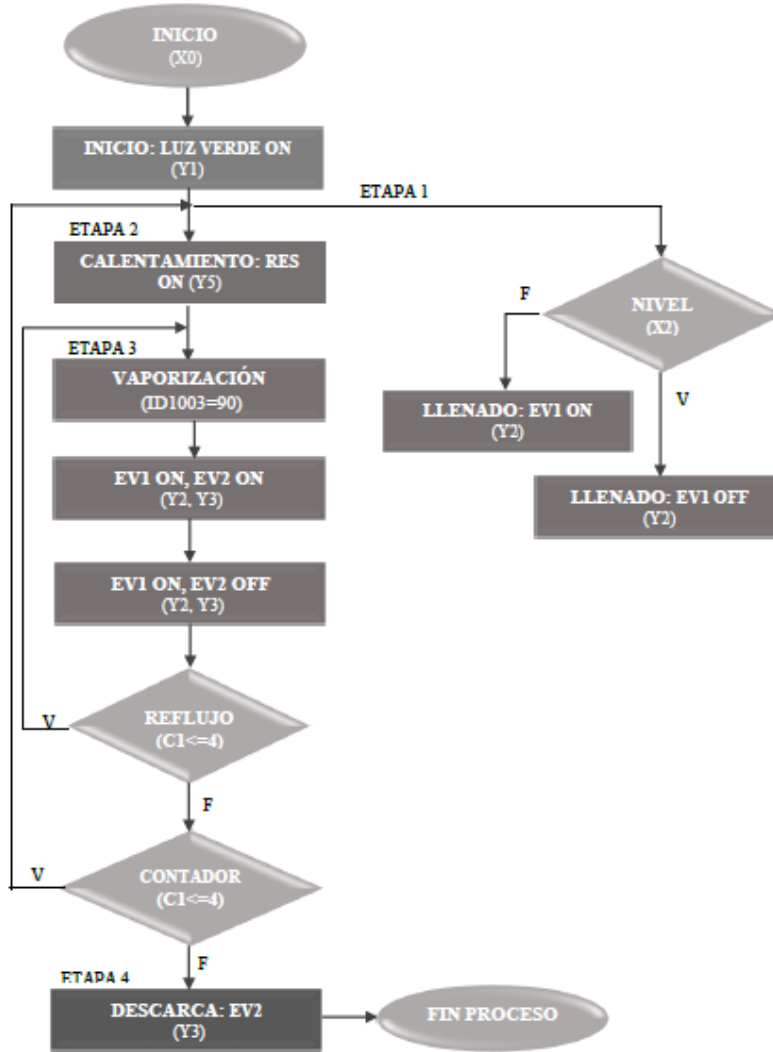
Nombre	Tipo	Dirección	Valor
Parametro1	Para_SCALING		
in_min	REAL		0.0
in_max	REAL		10000.0
out_min	REAL		0.0
out_max	REAL		15.0
clip	BOOL		

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Diagrama de flujo del purificador de agua

Se observa, que el purificador de agua es una máquina secuencial, que se lleva a cabo en diferentes etapas. Durante la vaporización, se activa un flujo regenerativo del sistema de enfriamiento cada cierto tiempo. El nivel en la caldera se controla por medio del sensor de nivel.

Figura 36. Diagrama de flujo del purificador de agua

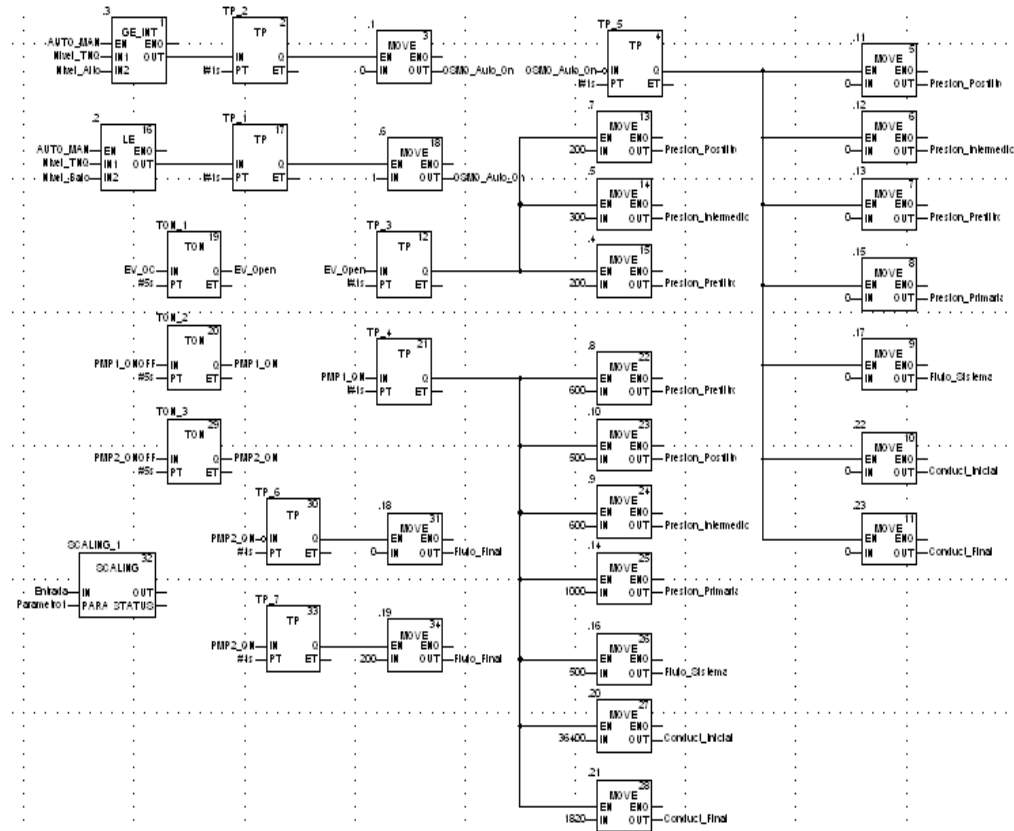


Fuente: elaboración propia.

- Programación de lógica para control y monitoreo de sistema osmosis.

Aquí se monitorea los límites máximo y mínimo en el nivel de tanque de agua permeada, se ejecuta el arranque y paro del sistema, de acuerdo a tiempos de operación, esto para tener un buen funcionamiento y rendimiento del sistema completo.

Figura 37. Sección Osmosis1 en FBD



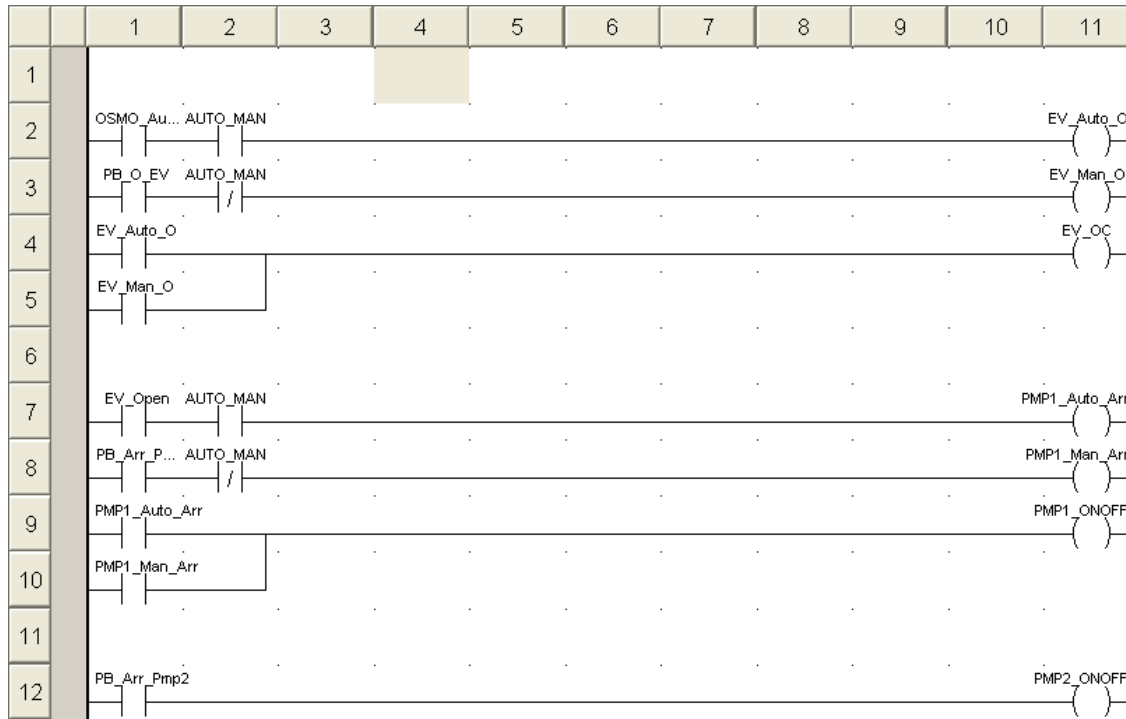
Fuente: elaboración propia.

- Arranque/paro de bombas y apertura y cierre de electroválvula.

Aquí se incluye la selección de modo de operación del sistema de osmosis inversa, las cuales se divide en dos formas: Automático y Manual.

También se puede observar el funcionamiento del sistema, en los cuales están los enclaves de arranque y paro de las bombas, así como la apertura y cierre de la electroválvula.

Figura 38. (Sección Osmosis2 en LD)

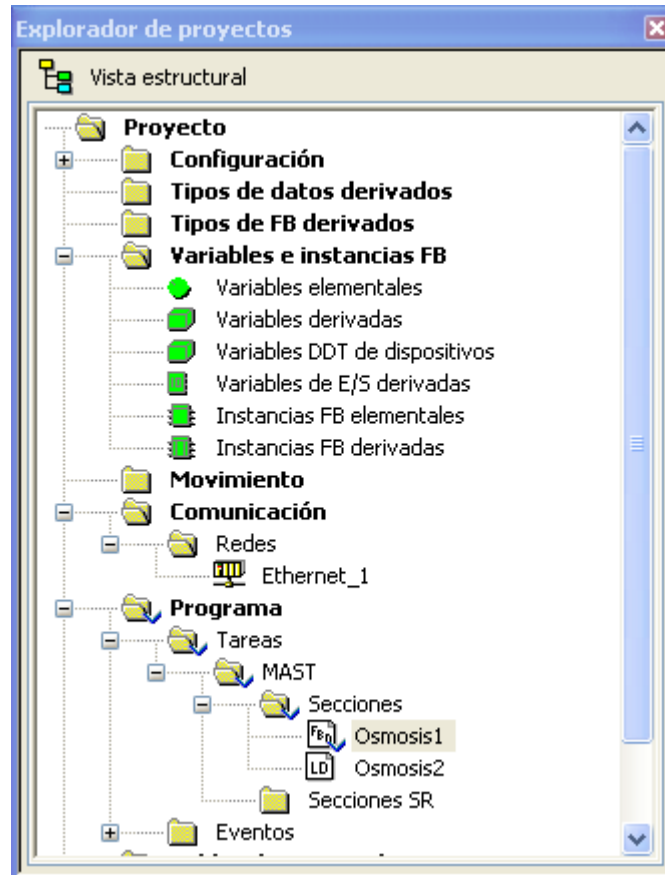


Fuente: elaboración propia.

El diagrama en escalera permite una mejor visualización de la secuencia y acciones que ejecuta el programa en general.

- Distribución de proyecto en el explorador Software Unity Pro-XL V8.1

Figura 39. Partes en qué consiste el proyecto configuración, Variables, Comunicación y Programa



Fuente: elaboración propia.

- Sección de variables del proyecto osmosis

Aquí se encuentran ubicados, todos los datos (variables internas y externas) utilizados en el proyecto de automatización Osmosis.

Figura 40. **Sección de variables del proyecto osmosis**

Nombre	Tipo	Dirección	Valor
Entrada	REAL		
EV_OnOff	EBOOL	%I0.1.0	
Pmp1_Status	EBOOL	%I0.1.1	
Pmp2_Status	EBOOL	%I0.1.2	
P_PreF	WORD	%IW0.2.0	
P_Inter	WORD	%IW0.2.1	
P_PostF	WORD	%IW0.2.2	
P_Prim	WORD	%IW0.2.3	
Cond_Inic	WORD	%IW0.2.4	
Cond_Fin	WORD	%IW0.2.5	
F_Sist	WORD	%IW0.2.6	
F_Fin	WORD	%IW0.2.7	
N_TNQ	WORD	%IW0.3.0	
AUTO_MAN	EBOOL	%M0	
EV_Auto_0	EBOOL	%M01	
EV_Man_0	EBOOL	%M02	
EV_OC	EBOOL	%M03	
EV_Open	EBOOL	%M04	
PB_Arr_Pmp1	EBOOL	%M05	
PB_Arr_Pmp2	EBOOL	%M06	
PB_0_EV	EBOOL	%M07	
PMP1_Auto_Arr	EBOOL	%M08	
PMP1_Auto_On	EBOOL	%M09	
PMP1_Man_Arr	EBOOL	%M010	
PMP1_ON	EBOOL	%M011	
PMP1_ONOFF	EBOOL	%M012	
PMP2_ON	EBOOL	%M013	
PMP2_ONOFF	EBOOL	%M014	

Fuente: elaboración propia.

Las variables como se pueden observar en la tabla pueden ser del tipo Booleano (digitales) o Word (Palabra).

- Tipo Booleano: Son señales tales como comandos de arranque y paro, señales de monitoreo de apertura y cierre, o bien de confirmación de encendido o detenido, todas estas señales son de entrada o salida con identificadores como %I para las entradas y %Q para las salidas.

También pueden ser señales digitales internas o bien enviadas por vía comunicación.

- Tipo Word: Estas son señales en las cuales se almacenan valores enteros o de punto flotante (reales), en el caso del proyecto de osmosis las señales enviadas a desplegar en el HMI son señales de mediciones hacia entradas analógicas, estas tienen la identificación siguiente %IW.

También se incluyen datos como valores de límites en el nivel de tanque (setpoints) u otros parámetros como tiempos de arranque en la secuencia automática del sistema, estos tienen identificador siguiente: %MW.

En estos se incluyen las salidas tipo Word, pero las cuales no se utilizan en este proyecto, ya que no se tiene la necesidad, por ejemplo, se podrían emplear como parámetros o setpoints para un variador de frecuencia, tienen como identificador %QW.

- Interfaz Hombre Maquina (HMI)

Es una interfaz tipo pantalla táctil, en la cual se hace una representación fidedigna de todo el proceso en general, con cada uno de los elementos importantes que intervienen en el sistema.

Este permite un enlace directo del sistema con el personal de operación, para que pueda visualizar parámetros y tome las decisiones adecuadas para el accionamiento en el mismo. Esto incluye no solo datos a monitorear como presiones, flujos, nivel y otros datos, también se pueden visualizar, alarmas y desplegar una tendencia de los datos más principales a monitorear durante el funcionamiento del proceso de osmosis.

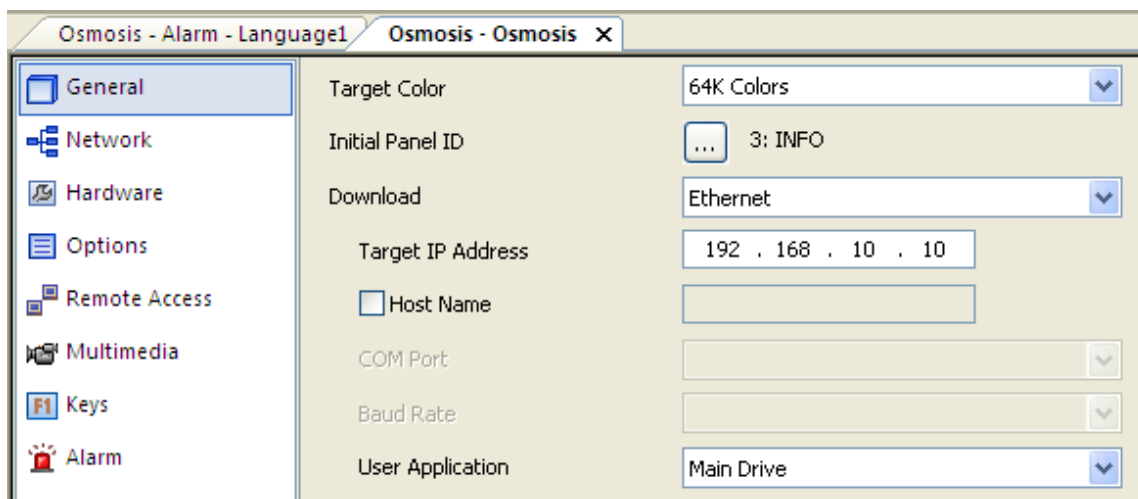
- Selección y Configuración de Intefaz Hombre Maquina

Se selecciona un HMI de la gama intermedia Magelis serie HMIGK (HMIGK5310) de la marca Schneider Electric con las siguientes características:

- Comunicación Ethernet (Protocolo Modbus).
 - 64k Colors.
 - Servidor Web.
 - Alimentación 24.
- Software de Configuración y Programación

El software utilizado para este tipo de HMIs es el Vijeo Designer de Schneider Electric en su versión 6.2.

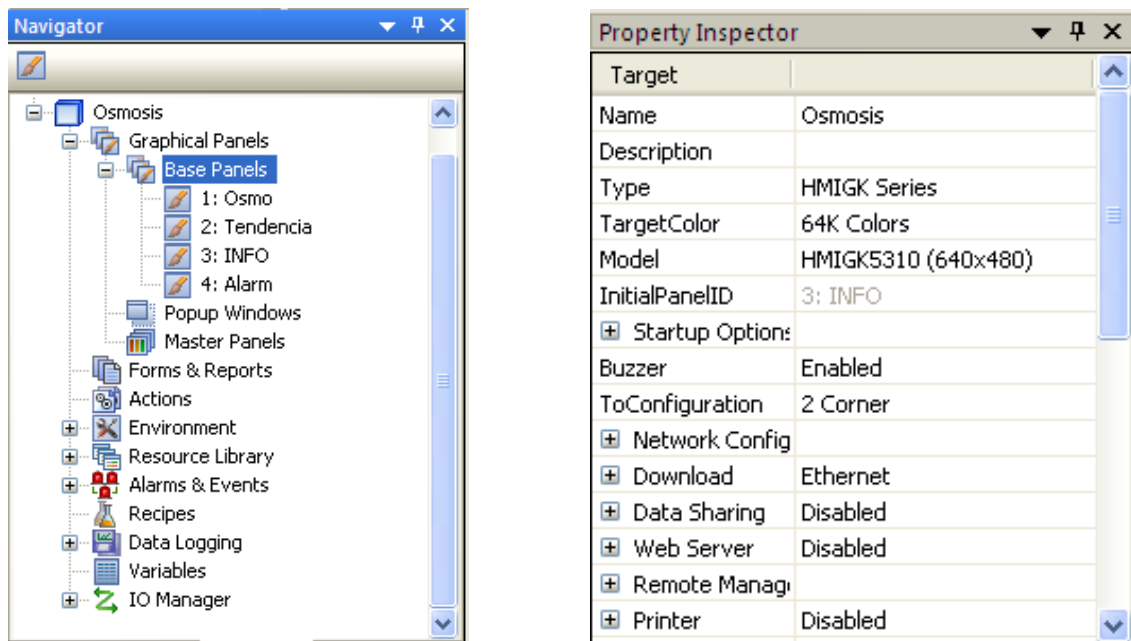
Figura 41. **Elementos principales de configuración HMI Magelis**



Fuente: elaboración propia.

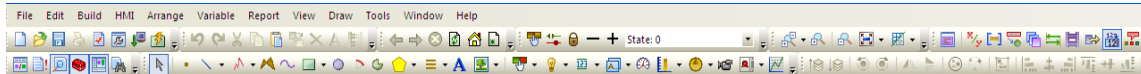
- General: Define los elementos más importantes en el proyecto.
- Network: Contiene la configuración de comunicación.
- Hardware: Refiere a la selección del equipo, tipo y modelo de HMI.
- Options: Zona horaria, inicio de hmi y notificación de poco espacio en memoria.
- Remote Acc: Acceso remoto por via servidor web.
- Multimedia: Configuración para visualización de archivos multimedia.
- Keys: Teclados.

Figura 42. **Navegador o explorador de proyecto Inspector de propiedades**



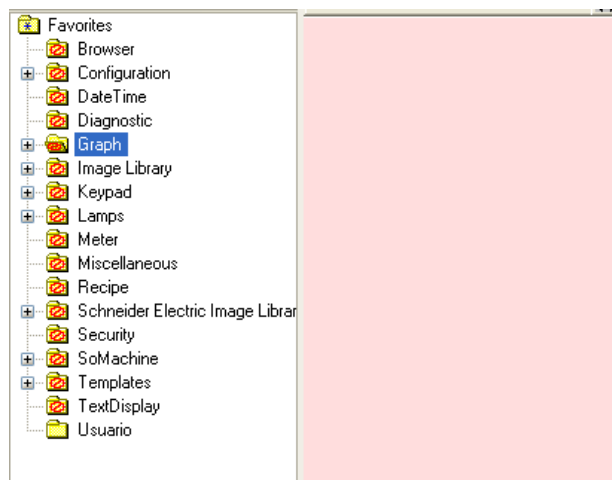
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Barra de herramientas de Vijeo Designer para HMIs**



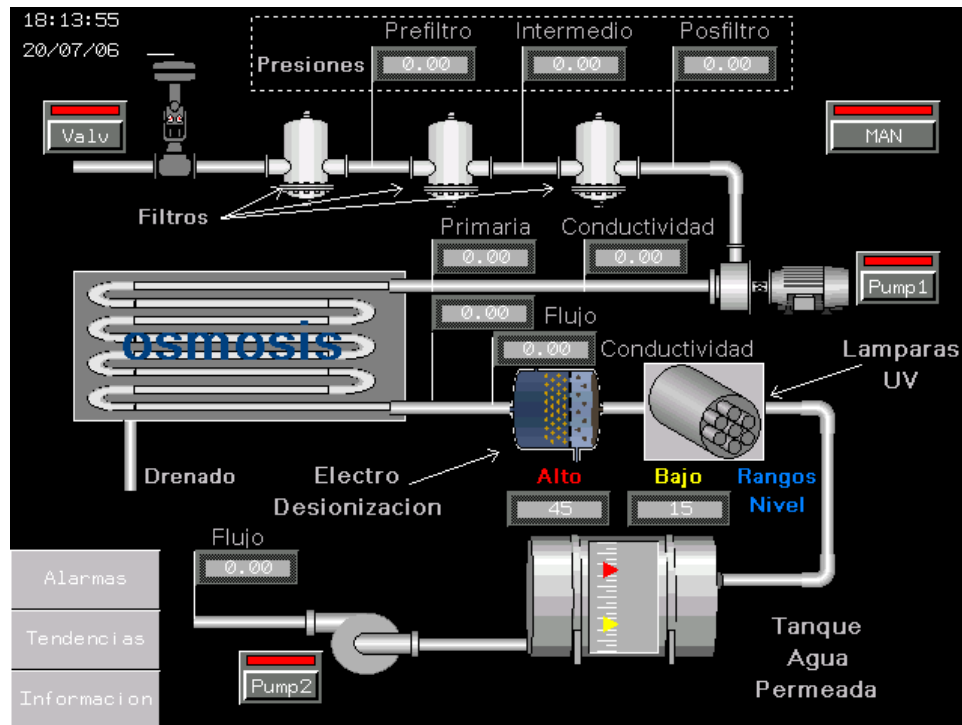
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Carpetas de contenidos prediseñados de Vijeo Designer**



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Representación de proceso en HMI Magelis



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el sistema de osmosis tiene una representación fidedigna en el HMI, todos los elementos que consta el sistema están integrado, cada uno brinda una información útil para que el operador sepa que sucede en el proceso, esto en tiempo real.

- Operación de sistema osmosis por medio del HMI.

El sistema de osmosis puede funcionar de dos maneras Automático y Manual, esta operación se ejecuta con un botón que permite elegir cualquiera de estos dos modos de operación.

Figura 46. **Botón de modo Operación**



Fuente: elaboración propia.

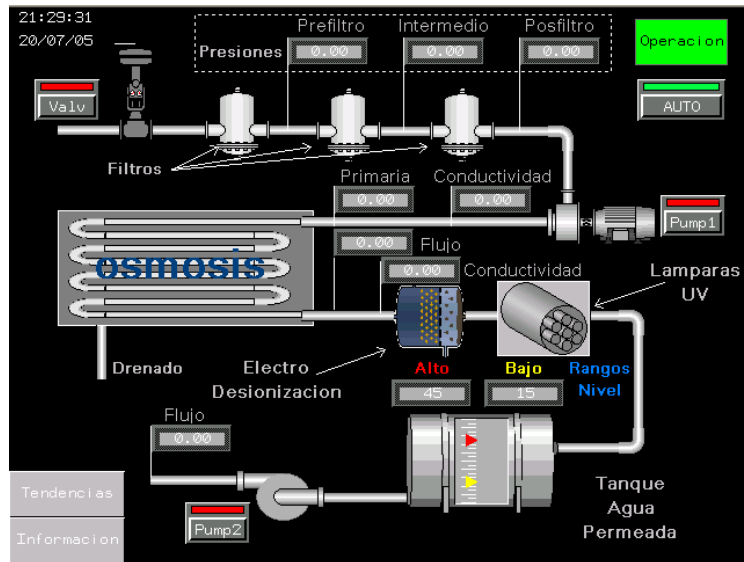
- **Automático:**

El sistema ejecuta el arranque y paro del sistema de acuerdo al nivel de tanque de agua permeada, en nivel bajo (limite bajo de nivel), el plc manda al arranque del sistema de osmosis para abastecer de agua al tanque, cuando el tanque llega a un nivel alto (limite alto de nivel), el plc manda el paro del sistema de osmosis, para después repetir el proceso las veces que sea necesario.

- **Manual:**

En este modo el sistema arranca, es decir, que cuando se enciende el plc y hmi, este se queda en espera de los comandos a realizar. En modo de operación manual, es el operador quien ejecuta la apertura de la electroválvula, el encendido y paro de motor principal según sea lo necesario, apoyándose con la visualización del nivel actual en el tanque de agua permeada.

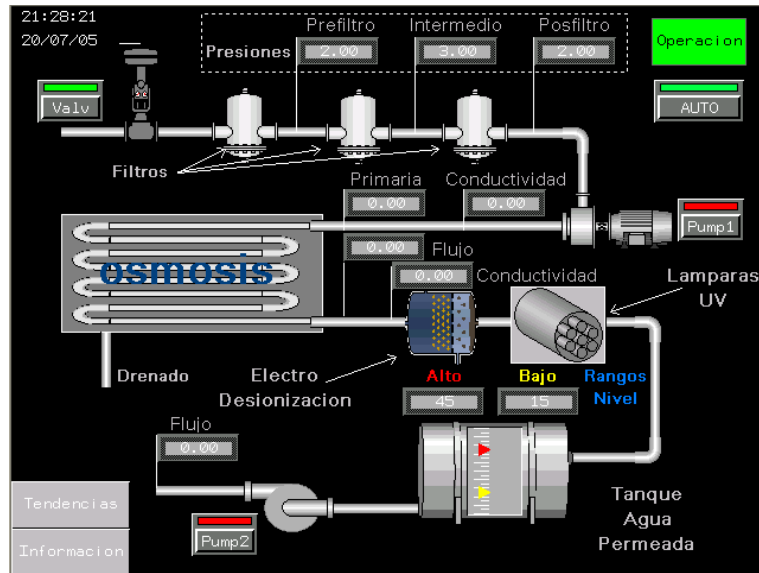
Figura 47. Arranque en modo automático



Fuente: elaboración propia.

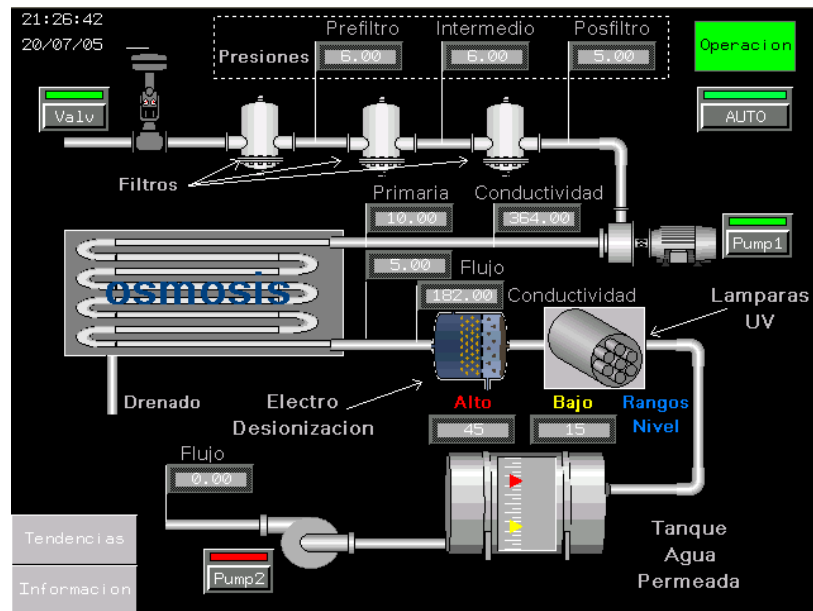
En este modo es importante haber colocado los límites altos y bajos de nivel, para que el sistema funcione de manera adecuada en su arranque y paro.

Figura 48. Apertura de electroválvula



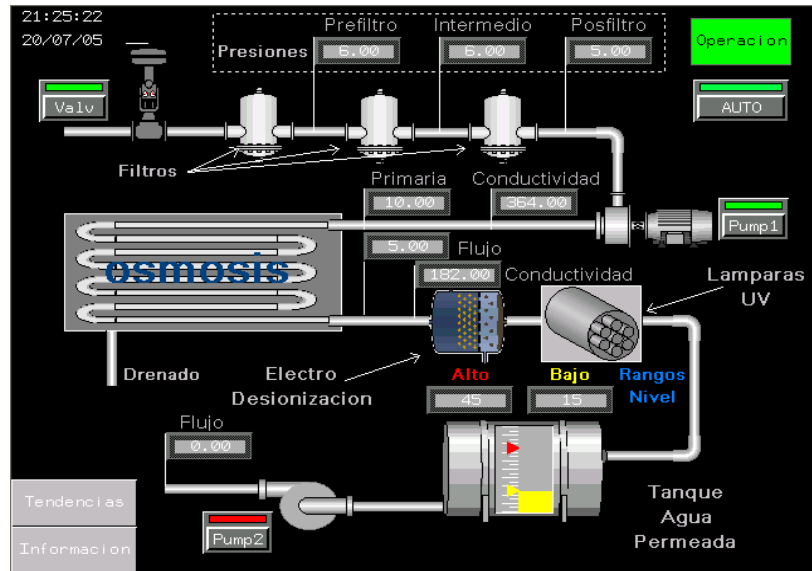
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Arranque de bomba principal



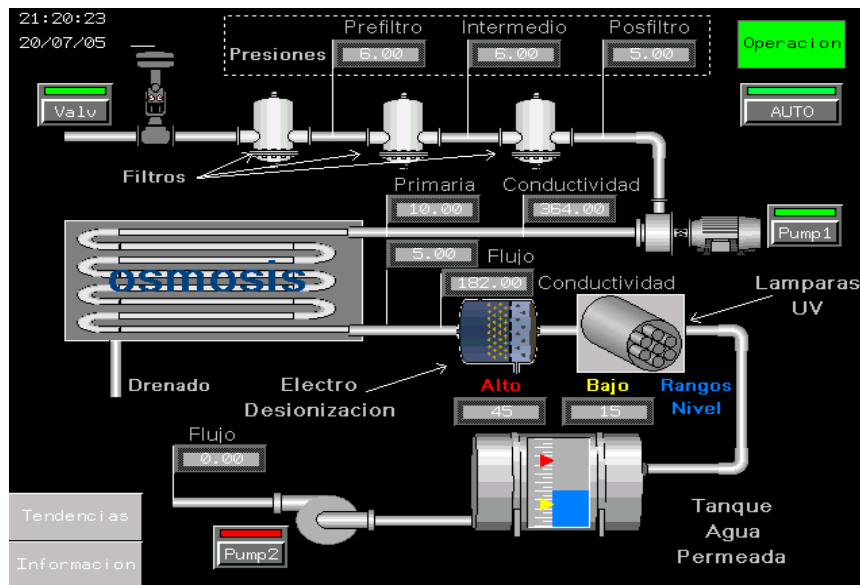
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Visualización de llenado de tanque



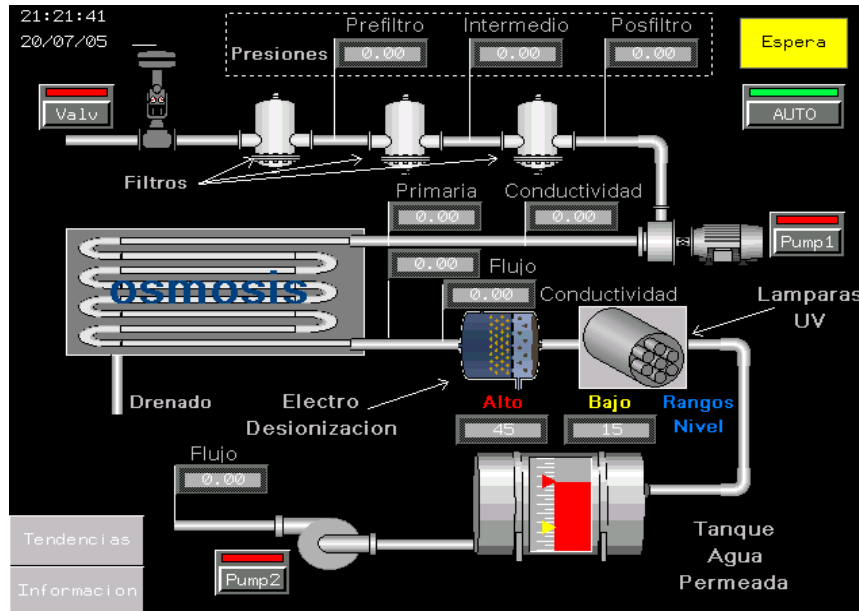
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Visualización de superación de límite mínimo



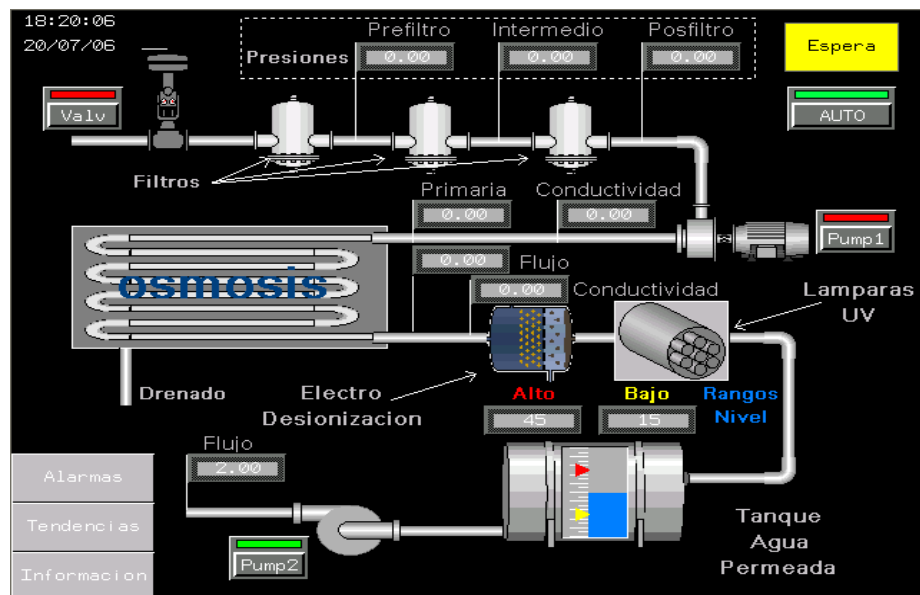
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Visualización de superación límite máximo



Fuente: elaboración propia.

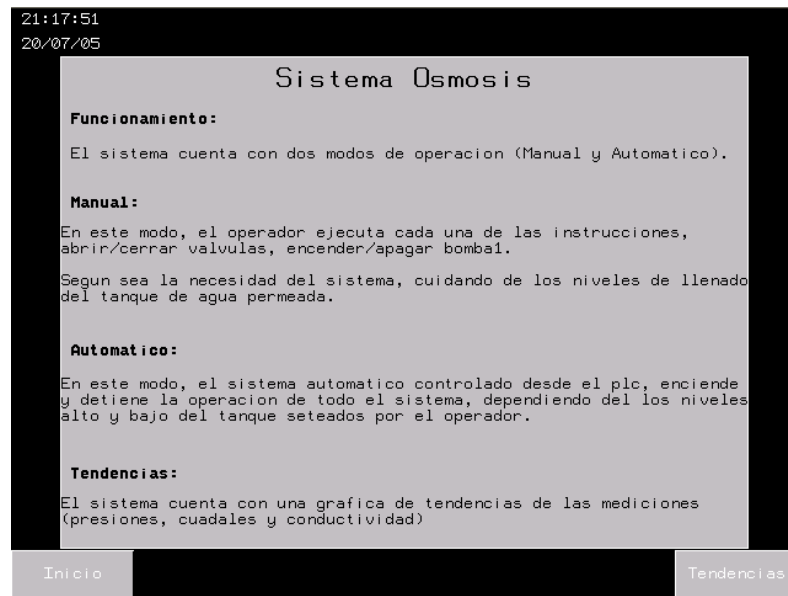
Figura 53. Operación de despacho de agua permeada



Fuente: elaboración propia.

Estos requerimientos de nivel de agua del equipo se pueden ajustar entre los 27,1 litros y los 37 litros, controlando un punto mínimo y máximo de agua dentro del equipo, para reponer periódicamente.

Figura 54. Inicio de HMI para sistema de osmosis



Fuente: elaboración propia.

En esta ventana se da una descripción de los modos de operación en los modos automático y manual, así como del funcionamiento del grafico de tendencias.

CONCLUSIONES

1. En la composición del agua residual de la industria azucarera destaca la presencia de materia orgánica. Por ello, el uso de sistemas biológicos, como lodos activados y cultivos de microorganismos que separan sus componentes nocivos, resultan el medio más eficaz para la purificación y posterior reingreso del agua al ciclo de producción.
2. La reutilización del agua en el ingenio azucarero es una de las medidas que tiene como objetivo evitar daños ambientales en la industria de la caña de azúcar. Asimismo, permite a las empresas proyectarse como industrias eficientes, responsables con el medio ambiente y sustentables en las zonas donde operan.
3. El sistema automatizado del purificador de agua permite una mejor relación entre los estudiantes de ingeniería y el ambiente industrial de una manera moderna y tecnológica.
4. En las diferentes etapas del ciclo productivo se generan grasas y aceites, productos químicos y detergentes en el agua empleada para el lavado, entre otros usos. Estas aguas pueden reingresar una vez tratadas para volver a utilizarse en las mismas tareas.

RECOMENDACIONES

1. Automatizar el proceso, se debe investigar los parámetros que intervienen en cada una de las etapas, el funcionamiento de los dispositivos y elementos a ser utilizados.
2. Diseñar e implementar los sistemas eléctricos de protección, control y potencia, se debe considerar los voltajes de funcionamiento y formas de conexión de cada uno de los dispositivos que intervienen en el sistema.
3. No manipular las partes eléctricas del equipo sin el uso de los diagramas eléctricos y sin desconectarlo previamente del fluido eléctrico.
4. Leer el manual de instrucciones donde se detalla el procedimiento de encendido, funcionamiento y apagado de la máquina. Antes de utilizar el purificador de agua.
5. Realizar el uso constante del equipo, descargar el agua residual completamente después de cada práctica para evitar incrustaciones, corrosiones en el tanque y los dispositivos, generados por la humedad.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANZUREZ, Juan; PITALUA, Nun. *Detección y aislamiento robusto de fallas mediante observadores con entradas desconocidas*. México: DYNA 76(158), 209-217. 2009. 10. p.
2. ASTORGA, Carlos; ZAVALA RIO, Arturo; et. el. *Performance monitoring of heat exchangers via adaptive observers*. USA: Measurement, 2007. 405. p.
3. BAGUI, Farid, ABDELGHANI-IDRISSI, Moulay; CHAFOUK, H. *Heat exchanger Kalman filtering with process dynamic acknowledgement*. USA: Computer and Chemical Engineering. 2004. 1 473 p.
4. BAO, Jie; LEE. Peter. *Process Control, the passive systems approach*. Colombia: Springer- Verlag London. 2007. 273 p.
5. BESANCON, Gildas. *Remarks on nonlinear adaptive observer design*. Systems and Control Letters, 2000. 280 p.
6. CARDONA, Jairo. et. al. *Control de un evaporador de doble efecto por linealización instantánea usando redes neuronales artificiales*. Scientia Et Technica. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 102 p.

7. CHEN, Jie. y PATTON, Jame. *Robust model-based fault diagnosis for dynamic systems*. 1a ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers. 1999. 375 p.
8. CHENG, T., X. He; ASADA, H. Harry. *Nonlinear observer design for two-phase ow heat exchangers of air conditioning systems*. Boston, Massachusetts: Proceeding of the American Control Conference, 2004. Vol. 2. 6 p.
9. InfoPLC. *Soluciones en Automatización Industrial*. [en línea]. <<https://www.infoplcn.net/>>. [Consulta 07 de enero de 2021].
10. Tutorial Practico Unity Pro3.0. *Modicom M340*. [en línea]. <http://ira.unileon.es/sites/ira.unileon.es/files/Documents/plc/Unity_Pro/Manuales_Unity/Tutorial_Unity.pdf>. [Consulta: 06 de enero 2021].
11. Schneider Electric. *Guía Práctica Vijeo Designer*. [en línea]. <https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=Vijeo-Designer-Starting-guide-English.pdf&p_Doc_Ref=VD-userguide-V6.2>. [Consulta: 07 de enero 2021].
12. Schneider Electric. *Energía y recursos*. [en línea]. <<https://www.se.com/gt/es/>>. [Consulta: 07 de enero 2021].
13. SOLÓRZANO, Rita. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, departamento*

del Progreso, Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. 128 p.

ANEXOS

El sistema ha sido diseñado para suministrar el agua purificada de la mayor calidad para las aplicaciones habituales de alimentación de equipos.

El módulo del purificador seleccionado elimina después los iones hasta alcanzar una resistividad típica de $15 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ (a 25°C) y esto proporciona.

- Agua de tipo II de calidad superior y constante ya que las microesferas de resina no se degradan por exposición a compuestos químicos de regeneración fuertes. «Constante», porque la regeneración continua evita los inconvenientes de las variaciones de calidad producidos por el agotamiento de la resina.
- Ahorro económico y de trabajo contiene microesferas especiales de carbono en el cátodo, por lo que no requiere ablandadores del agua.
- Tecnología de larga duración, el módulo regenera continuamente sus microesferas de resina sin necesidad de mantenimiento alguno.

Anexo 1. Especificaciones

Resistividad a 25 °C	> 5 MΩ·cm
TOC	< 30 ppb
Bacterias	< 10 UFC/ml
Eliminación de silicatos	> 99,9 %
Caudal de producción	20 l/h 35/h 70/h 100 l/h

Fuente: Merck. *Sistema de purificación de agua.*

<http://www.merckmillipore.com>. Consulta: 9 de diciembre 2020.

Anexo 2. Agua de alimentación

Calidad del agua	Agua corriente potable
Conductividad del agua de alimentación a 25 °C	< 2 000 μ S/cm
Presión del agua de alimentación	2 - 6 bares
Temperatura del agua de alimentación	5 - 35 °C
Cloro del agua de alimentación	El especialista de aplicaciones determinará el pretratamiento requerido
Índice de ensuciamiento del agua de alimentación	El especialista de aplicaciones determinará el pretratamiento requerido
pH del agua de alimentación	de 4 a 10 unidades de pH
Conexión al agua de alimentación	1,3 cm Gas M

Fuente: Merck. *Sistema de purificación de agua.*

<http://www.merckmillipore.com>. Consulta: 9 de diciembre de 2020.

Anexo 3. Sistema de purificación de agua



Fuente: Merck. *Sistema de purificación de agua.*
<http://www.merckmillipore.com>. Consulta: 9 de diciembre 2020.