



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO EN INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: GAONA RAMOS DEIVID JAVIER

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-
LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y
RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE “LAGO AGRIO”**

DIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

CODIRECTOR: ING. FRANKLIN SILVA

LATACUNGA, SEPTIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

ING. WASHINGTON FREIRE (DIRECTOR)

ING. FRANKLIN SILVA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE “LAGO AGRIO”” realizado por el señor: GAONA RAMOS DEIVID JAVIER ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en forma portátil de Acrobat. Autorizan al señor: GAONA RAMOS DEIVID JAVIER que lo entregue al ING. WASHINGTON FREIRE, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Agosto del 2014

Ing. Washington Freire

DIRECTOR

Ing. Franklin Silva

CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, GAONA RAMOS DEIVID JAVIER

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE LAGO AGRIO” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Agosto 2014

GAONA RAMOS DEIVID JAVIER

CC: No.- 2100184460

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, GAONA RAMOS DEIVID JAVIER

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE LAGO AGRIO” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto 2014

GAONA RAMOS DEIVID JAVIER

CC: No.- 2100184460

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que he dado, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me ha presentado sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Son por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo.

Deivid Gaona

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado nuestra formación académica, creyendo en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A mis profesores a quienes les debemos gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y saber y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro mejor y formándonos como personas de bien.

Deivid Gaona

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL “MUNICIPIO DE LAGO AGRIO”	1
1.2. FILTRACIÓN	1
1.2.1. La operación se manda de forma automática.	2
1.2.2. Tipos de filtración.	2
1.2.2.1. Sistemas de filtración mecánica.....	2
1.2.2.2. Sistemas de filtración química.....	3
1.2.2.3. Sistemas de filtración biológica.....	3
1.2.2.4. Sistemas de filtración interna	4
1.2.2.5. Sistemas de filtración externa.....	5
1.2.2.6. Sistemas de filtración total	5
1.2.3. Filtros	6
1.2.4. Filtro de bombona	6
1.2.5. Descripción del filtro de la planta.....	6
1.2.5.1. Funcionamiento de filtración.....	8
1.2.5.2. Flujo de ingreso de agua.	9
1.2.5.3. Flujo de salida del agua filtrada.....	9
1.2.5.4. Flujo de retro lavado del filtro	10
1.2.5.5. Flujo de drenaje principal.....	10
1.2.6. Proceso de Filtración.....	10

1.2.6.1.	Depósito de agua potable en la planta.....	11
1.2.7.	Proceso de Retro-lavados de Filtros	11
1.2.7.1.	El proceso de lavado o de retro-lavado de los filtros sigue la siguiente secuencia de pasos:	12
1.3.	AUTOMATIZACIÓN	13
1.3.1.	El PCL.....	13
1.3.2.	El controlador S71200	13
1.3.2.1.	Las características que presenta este nuevo controlador son:	14
1.3.3.	Pantalla Táctil KTP600.....	14
1.3.3.1.	Las características de la pantalla táctil KTP600 se muestran a continuación:	15
1.3.3.2.	Software de Programación	15
1.3.4.	Interfaz humano máquina (HMI).....	17
1.3.4.1.	Introducción.....	17
1.3.4.2.	Las funciones principales de los bloques son:.....	19
1.3.4.3.	Funciones de un HMI.....	20
1.3.4.4.	Criterios de beneficios y aplicaciones del software para un sistema HMI	20
CAPÍTULO II		21
DISEÑO Y SELECCIÓN.....		21
2.1.	DISEÑO BASE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA	21
2.2.	CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU UTILIZACIÓN.	21
2.2.1.	Calidad de agua cruda.....	26
2.2.2.	Calidad del agua potable	26
2.3.	PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	26
2.3.1.	Tratabilidad del agua.....	27
2.3.2.	Esquema General del Proceso de Tratamiento de Agua Potable	31
2.3.3.	Fuentes de Aducción.....	32
2.3.4.	Medidas de nivel.....	33
2.3.5.	Medidas de caudal	36
2.3.6.	Desinfección – Cloración.....	38
2.3.6.1.	Desinfección.....	38
2.3.7.	Válvulas de control	39

2.3.8.	Coagulación.....	40
2.3.8.1.	Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de agua.....	42
2.3.9.	Floculación	43
2.3.9.1.	Tipos de floculación.....	44
2.3.9.2.	Floculación Peri-cinética:.....	44
2.3.9.3.	Floculación Orto-cinética:.....	44
2.3.9.4.	Parámetros de floculación	45
2.3.9.5.	Floculantes	45
2.3.9.6.	Sedimentación	45
2.3.9.7.	Descripción de los tanques de sedimentación	47
2.3.9.8.	Sedimentadores rectangulares	47
2.3.9.9.	Sedimentadores circulares	47
2.3.9.10.	Sedimentadores lamelares	47
2.3.9.11.	Flotación.....	48
2.4.	Potabilización del agua	49
2.4.1.	Tratamiento de las aguas residuales.....	49
2.4.2.	Dispositivos sedimentadores	49
2.5.	FUNDAMENTOS DE DISEÑO	50
2.6.	CRITERIOS DE DISEÑO	52
2.6.1.	Base para el dimensionamiento de la red de transmisión	52
2.6.2.	Gasto de diseño.....	52
2.6.3.	Selección de diámetros.....	53
2.6.4.	Clase de tubería en función del material	54
2.6.5.	Clase de tubería en función de la presión.....	54
2.7.	DISEÑO DE ELEMENTOS	56
2.7.1.	El UPS.....	56
2.7.1.1.	Selección del UPS.....	56
2.7.2.	Designación de las entradas digitales del PLC.....	58
2.7.3.	Designación De Las Salidas Digitales Del PLC.....	59
2.7.4.	Relés de control	64
2.7.4.1.	Estudio de factibilidad y ahorro de costos de equipos	64
2.7.4.2.	Tablero de visualización	64
2.7.5.	Estudio de cargas en el sistema de control.....	66
2.7.6.	Fuente de alimentación (Logo 24 VDC/2.5 A)	67

2.7.7.	Protección principal (Disyuntor F1 de 10 A bipolar)	69
2.7.8.	Protección de cargas DC (Fusible F2 de 5 A)	70
2.7.9.	Protección del PLC (Fusible F3 de 1 A)	70
2.7.10.	Protección del UPS	70
2.7.10.1.	Disyuntor F10 de 10 A	70
2.8.	ARQUITECTURA DEL DISEÑO	71
2.9.	SELECCIÓN DE COMPONENTES	72
2.9.1.	Selección del PLC, módulos de señales y Switch ETHERNET	72
2.9.1.1.	Agentes nocivos en el trabajo	72
2.9.1.2.	Complejidad del sistema	72
2.9.1.3.	Tipo de señales requerida	73
2.9.1.4.	Número de entradas y salidas	73
2.9.2.	Cotización	73
2.9.2.1.	En Siemens	74
2.9.2.2.	Schneider Electric	74
CAPÍTULO III		76
IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS		76
3.1.	IMPLEMENTACIÓN	76
3.1.1.	Estudio del proceso de filtrado	76
3.1.2.	Importancia de la implementación	76
3.2.	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	77
3.2.1.	Descripción del proceso del filtrado	77
3.3.	ENTORNO DE PROGRAMACIÓN	79
3.3.1.	Configuración del dispositivo HMI	80
3.3.2.	Configuración del PLC	84
3.3.3.	Introducción a la programación del proceso de filtrado	87
3.3.4.	Algoritmo de programación	88
3.3.5.	Necesidad de diferentes tipos de comunicación	93
3.4.	MONTAJE DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS	93
3.4.1.	Montaje del tablero eléctrico	93
3.4.2.	Adaptación de los sensores de nivel al nuevo sistema	95
3.5.	PROGRAMACIÓN DEL PLC	96
3.5.1.	Alarmas	96
3.5.2.	Señales al panel principal	97

3.5.3.	Condiciones de activación.....	98
3.5.3.1.	Condición de prioridad.....	98
3.5.3.2.	Condición manual o automático	98
3.6.	PROGRAMACIÓN DEL HMI	102
3.6.1.	Las ventanas creadas:.....	102
3.6.1.1.	Ventana de presentación	102
3.6.1.2.	Ventana de operaciones	103
3.6.1.3.	Mando manual	103
3.6.1.4.	Mando automático	104
3.6.1.5.	Ventana del operador	106
3.6.1.6.	Ventana de tiempos de operación	107
3.6.1.7.	Ventana de configuraciones	109
3.6.1.8.	Prioridad.....	109
3.6.1.9.	Botón de reseteo de alarmas	109
3.6.1.10.	Ventana de alarmas	110
3.7.	PRUEBAS	110
3.7.1.	Pruebas de conexiones.	110
3.7.1.1.	Pruebas de conexiones eléctricas.....	110
3.7.1.2.	Pruebas de funcionamiento del PLC y HMI.	111
3.7.1.3.	Pruebas de funcionamiento	111
3.7.1.4.	Prueba 1.....	113
3.7.1.5.	Prueba 2.....	113
3.7.1.6.	Prueba 3.....	114
3.7.1.7.	Prueba 4.....	115
3.7.2.	Análisis de resultados.	115
CAPÍTULO IV		116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		116
5.1.	CONCLUSIONES	116
5.2.	RECOMENDACIONES	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		118
ANEXOS		120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Datos de dimensionamiento	11
Tabla 2.1. Capacidad.....	21
Tabla 2.2. Calidad del Agua Filtrada en la orilla.....	26
Tabla 2.3. Dosificación de cloro.....	39
Tabla 2.4. Capacidad de la red de transmisión	52
Tabla 2.5. Valores del coeficiente C de Hazen-Williams para los distintos materiales, clase y estado de los tubos.....	53
Tabla 2.6. Designación de las entradas digitales del PLC	58
Tabla 2.7. Designación de las salidas digitales del PLC.....	60
Tabla 2.8. Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control.....	63
Tabla 2.9. Tablero de visualización sólo del filtro 1.....	64
Tabla 2.10. Cargas que serán asumidas por cada equipo	66
Tabla 2.11. Valores Fuente logo.....	68
Tabla 2.12. Red de alimentación	69
Tabla 2.13. En Siemens.....	74
Tabla 2.14. Schneider Electric.....	74
Tabla 3.1. Etapas de filtrado.....	87
Tabla 3.2. Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control.....	94
Tabla 3.3. Prueba 1	113
Tabla 3.4. Prueba 2	113
Tabla 3.5. Prueba 3	114
Tabla 3.6. Prueba 4	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución de capas en el medio filtrante	6
Figura 1.2. Fondo Weeler.....	7
Figura 1.3. Tuberías en un filtro	8
Figura 1.4. Flujo de entrada.....	9
Figura 1.5. PLC S7-1200 con sus respectivos módulos de expansión.....	13
Figura 1.6. Pantalla táctil KTP600.....	14
Figura 1.7. Gráfica de las diferencias entre subrutinas y bloque de datos.....	16
Figura 1.8. HMI	17
Figura 1.9. Estructura general del software HMI	18
Figura 2.1. Depósitos Filtrantes, donde llega el agua para el proceso final.	22
Figura 2.2. Depósitos filtrantes, vista superior.....	22
Figura 2.3. Compresor de pistones.	23
Figura 2.4. Actuadores neumáticos distribuidos en todos los tanques.	23
Figura 2.5. Fluxómetro situado en la entrada del agua a tratar.	24
Figura 2.6. Mezclador estático.	24
Figura 2.7. Bombas de evacuación de agua filtrada.	25
Figura 2.8. Depósitos de Carbonato de Sodio y Sulfato.	25
Figura 2.9. División general del proceso de Retro-lavados en subprocesos.	27
Figura 2.10. Diagrama de bloques del proceso de filtrado y retro-lavado divido en subprocesos.....	29
Figura 2.11. Tratamiento del Agua Potable mediante el método (ETAP).....	31
Figura 2.12. Línea de aducción por bombeo.....	32
Figura 2.13. Medidor Prosonic M de ENDRESS+HAUSER	34
Figura 2.14. Medidor de nivel Prosonic M ubicado en un tanque.....	35
Figura 2.15. Medidor Prosonic T FMU231.....	35
Figura 2.16. Vertedero rectangular	36
Figura 2.17. Medidor Electromagnético PROMAG 10W	37
Figura 2.18. Funcionamiento del sensor electromagnético de caudal	37
Figura 2.19. Proceso de coagulación	40
Figura 2.20. Proceso de coagulación	41
Figura 2.21. Proceso de tratamiento	41

Figura 2.22. Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de agua	43
Figura 2.23. Floculación	43
Figura 2.24. Floculación Orto-cinética	44
Figura 2.25. Esquema del control de proceso	71
Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de filtrado	78
Figura 3.2. Ventana principal del software STEP 7 BASIC 11.0	79
Figura 3.3. Ventana iniciar	80
Figura 3.4. Ventana de HMI.....	81
Figura 3.5. Ventana de HMI.....	81
Figura 3.6. La ventana árbol de proyecto.....	82
Figura 3.7. La ventana de Variables HMI	83
Figura 3.8. Ventana de configuración del PLC	84
Figura 3.9. Ventana bloques de programa.....	85
Figura 3.10. Ventana tabla de variables	85
Figura 3.11. Ventana de variables	86
Figura 3.12. Ventana de Interfaz PROFINET	86
Figura 3.13. Tablero de control en pleno proceso de constitución.....	93
Figura 3.14. Borneras y etiquetas	95
Figura 3.15. Conexión y funcionamiento del relé de nivel	96
Figura 3.16. Panel principal	97
Figura 3.17. Parte de la Programación del PLC	99
Figura 3.18. Parte de la Programación del PLC	99
Figura 3.19. Programación del PLC	100
Figura 3.20. Parte de la programación del PLC	100
Figura 3.21. Programación del PLC	101
Figura 3.22. Programación del PLC	101
Figura 3.23. Ventana de presentación.....	103
Figura 3.24. Apariencia de la ventana de Operaciones En Manual.....	105
Figura 3.25. Apariencia de la ventana de operaciones en automático	106
Figura 3.26. Ventana del operador	107
Figura 3.27. Ventanas de configuraciones	108
Figura 3.28. Visualización de la ventana de control de procesos.....	109
Figura 3.29. Visualización de la ventana de alarmas.....	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1.1	8
Ec. 2.1	35
Ec. 2.2	35
Ec. 2.3	36
Ec. 2.4	52
Ec. 2.5	53
Ec. 2.6	54
Ec. 2.7	54
Ec. 2.8	69

RESUMEN

Actualmente el procesos de filtrado y retro-lavado para la planta de tratamiento de agua potable es mediante un sistema manual ON-OFF que opera con numerosos relés y temporizadores y no posee un sistema de supervisión de los procesos, con el fin de reducir espacio y costos energéticos es necesario realizar la Automatización del proceso de Retro-lavados de los Filtros, además de la Implementación de un sistema HMI, para el monitoreo de los procesos y posibles fallas existentes en cada una de las etapas que corresponde al tratamiento de agua potable estos avisos se lo realizaran mediante alarmas, advertencias, históricos y ubicación exacta de la falla que se puede suscitarse con la ayuda de un software y un ordenador, en general, esta supervisión se lo realizará tanto al proceso de filtrado de agua como al proceso de Retro-lavados de los filtros, los cuales son las etapas más importante dentro de la planta de tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”. El sistema de filtrado y Retro-lavados de Filtros constituyen un proceso importante dentro de las etapas de potabilización del agua, ya que el filtrado es el encargado de retener los sólidos presentes en el agua además de incluir el proceso de Retro lavado de los filtros es el encargado de limpiar los filtros que se utilizan en la filtración, estos procesos funcionan de forman simultánea y son procesos de vital importancia que existen en el proceso del Tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”.

Palabras clave: Relés de control, actuadores, Interfaz PROFIBUS, potabilización, filtración.

SUMMARY

Currently the filtration's process and backwash for the treatment's plant for drinking water is through a manual ON-OFF operating with several relays and timers and it don't have a process supervision system, for the purpose of reduce space and energy costs is necessary to realize the Automation of Backwashing of Filter's process, also the Implementation of a HMI system for monitoring processes and possible errors in each of the stages correspond to drinking water treatment these advices would performed by alarms, warnings, historical and exact location of the fail that may arise with the help of a software and a computer, in general, this supervision would performed both the water filtration process and the process of retro -washing of filters, which are the most important steps in the treatment plant of drinking water of the Decentralized Autonomous Municipal Government of "Lago Agrio". The filtering system and backwashing of filters constitute an important process into water purification stages, yet the filtrate is responsible to retain solids present in the water also of include the Backwash filter's process is responsible for cleaning the filters that are to use in the filtration, these processes operate simultaneously and this processes are vital importance that exist in the process of drinking water's treatment of the Decentralized Autonomous Municipal Government of "Lago Agrio".

Keywords: Control relays, Actuators, PROFIBUS Interface, purification, filtration.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL “MUNICIPIO DE LAGO AGRIO”

Se conoce que en la planta de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”, específicamente en el proceso de retro-lavados de filtros, pese a que se cuenta con un sistema manual del proceso, con el avance de los años no se actualizado tuberías, la instrumentación, ni la tecnología involucrada en el proceso. Además con el crecimiento de la población en la provincia de Sucumbíos especialmente en el cantón de “Lago Agrio”, la planta de tratamiento de agua potable no avanza a cubrir la demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades de los habitantes. El proceso de potabilización de agua, actualmente no cuenta con un proceso eficaz, fiable y confiable de los procesos de filtrado y retro-lavado, ya que poseen un sistema manual e irregular que tiene fallas en algunos de sus procesos, en particular en el bloque de los procesos de filtrado y retro-lavado de los filtros, ambos procesos son los encargados de eliminar las impurezas, escombros y partículas dañinas que son nocivas para la salud humana.

El sistema de filtrado funciona de forma simultánea y son procesos de vital importancia que existen en el tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”.

1.2. FILTRACIÓN

[1], denomina que la filtración es el proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

Las aplicaciones de la filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

La filtración se ha desarrollado tradicionalmente desde un estudio de arte práctico, recibiendo una mayor atención teórica desde el siglo XX. La clasificación de los procesos de filtración y los equipos es diversa y en general, las categorías de clasificación no se excluyen unas de otras.

La variedad de dispositivos de filtración o filtros es tan extensa como las variedades de materiales porosos disponibles como medios filtrantes y las condiciones particulares de cada aplicación: desde sencillos dispositivos, como los filtros domésticos de café o los embudos de filtración para separaciones de laboratorio, hasta grandes sistemas complejos de elevada automatización como los empleados en las industrias petroquímicas y de refino para la recuperación de catalizadores de alto valor, o los sistemas de tratamiento de agua potable destinada al suministro urbano.

En la planta de agua potable quedan instalados seis filtros de gravedad abiertos y en paralelo. Cada filtro tiene un área de 13 m^2 lo que corresponde a una velocidad de filtración de $6,2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.

Aproximadamente una vez al día, será necesario lavar los filtros de arena por contracorriente. Durante el lavado por contracorriente de un filtro, los otros 5 filtros trabajarán a una velocidad de $7,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. El lavado por contracorriente de cada filtro consume aproximadamente 50 m^3 de agua. Con miras a facilitar el lavado de los filtros, queda instalado lavado por aire.

1.2.1. La operación se manda de forma automática.

El lavado por contracorriente se controla automáticamente mediante un temporizador o un alto nivel de agua en el filtro.

1.2.2. Tipos de filtración.

1.2.2.1. Sistemas de filtración mecánica

Pasan el agua a través de diferentes materiales con el fin de retener las partículas en suspensión del agua. Necesitan un mantenimiento constante de limpieza (al menos

una vez por semana) para evitar que se depositen detritus de materia que al descomponerse provocarían compuestos tóxicos para los peces (nitritos). Material que utiliza es lana o "Perlón" es ligero, es atóxica, podemos utilizar también esponjas sintéticas.

1.2.2.2. Sistemas de filtración química

Su principal función es la eliminación de compuestos químicos que con la filtración mecánica no serían posibles. Los compuestos se derivan de la actividad metabólica como los nitratos o fosfatos o medicamentos. Materiales filtrantes que se utilizan en esta filtración son:

Carbón activado: Material absorbente que a través de un complejo proceso fisicoquímico retiene moléculas de determinados compuestos.

Resinas sintéticas: Absorben una serie de compuestos determinados existiendo resinas específicas para eliminar nitratos o fosfatos.

Turba: Tiene alta capacidad de intercambio iónico produciendo reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar a consecuencia de los ciclos de llenado y vaciado que se suceden a lo largo de las etapas operativas de los filtros

1.2.2.3. Sistemas de filtración biológica

Se basa en la acción de determinadas especies de bacterias (Nitrosomonas o Nitrobacter) capaces de descomponer los desechos y convirtiéndolos en otros menos contaminantes para la salud. Existen bacterias que convierten los nitritos en nitratos (abono para las plantas). Esta labor de transformación debe contar en donde alojarse las bacterias, en su sustrato donde la corriente de agua suministre materiales en suspensión a tratar y aportar oxígeno necesario para la transformación.

Los más utilizados son:

Cerámica porosa: Son pequeños tubos huecos de gran porosidad que ofrecen una gran superficie para el asentamiento de las bacterias.

Este material está sometido a un tratamiento especial que permite una gran superficie donde se puedan ubicar las bacterias.

Arena de coral: Utilizada actualmente en acuarios marinos para los sistemas de filtración de placa, tiene la ventaja que sirve para estabilizar el pH en valores alcalinos.

Resina expandida: Material sintético concebido especialmente para su uso en acuarios, tiene la forma exterior de la grava pero con innumerables poros que la convierten en un material sumamente aconsejable para los filtros exteriores.

Biobolas: Son esferas de plástico para llevar al máximo la relación superficie-volumen huecas y llevan entrecruzadas en su interior una serie de laminillas colocadas de forma que el agua sea desviada en todas direcciones en su interior.

Son utilizadas principalmente en los sistemas de filtración seco-húmeda o de percolación.

Grava y arena de cuarzo: Se puede conseguir en diferentes granulometrías y ofrece un buen sustrato para el crecimiento de las bacterias, es utilizada como base de la decoración de acuarios de agua dulce y para el sistema de filtración de placa.

1.2.2.4. Sistemas de filtración interna

Según [2], por sistema de filtración interna se entiende toda aquella que se realiza dentro del depósito que puede ser tanto mecánica como biológica. Existen varios tipos de filtración que a continuación se detallan.

Cartucho: Son filtros en los cuales básicamente se realiza una filtración mecánica, compuestos por una bomba llamada cabeza impulsora unida a un cartucho de plástico, que suele ir una esponja circular con un orificio en círculo que hace de canal de aspiración por el que sube el agua hacia la bomba una vez que ha pasado por la esponja. Se necesita limpiarlo periódicamente.

Placa: Es el filtro más utilizado hasta la fecha para la filtración biológica y uno de los más económicos, principalmente se usa en acuarios de agua dulce aunque se puede usar también en acuarios de agua salada. Funciona sobre la base del acuario se coloca una rejilla especial cubriendo la totalidad de la base.

En los laterales (y en el centro dependiendo del tamaño del acuario) se colocan unos tubos verticales llamados "chimeneas", estos tubos hacen la función de impulsar o absorber el agua para que pase por las rejillas.

1.2.2.5. Sistemas de filtración externa

Se entienden por sistemas de filtración externa todos los filtros cuya ubicación está colocada fuera del sistema, es decir, están colocados fuera del tanque. Al igual que los sistemas de filtración interna pueden ejercer según sus especificaciones funciones de filtración mecánica, química o biológica.

1.2.2.6. Sistemas de filtración total

Son muy eficaces en la calidad del agua y se conocen como cubetas por su forma, tienen las tres formas de filtración, filtración mecánica mediante el paso del agua a través de materiales tipo (perlón o esponjas), filtración química a través de carbón activo y por último filtración biológica a través de un sistema de percolación para lo que suelen usar biobolas.

1.2.3. Filtros

1.2.4. Filtro de bombona

Es el filtro externo más conocido. Es un depósito herméticamente cerrado donde se colocan las sustancias filtrantes, puede utilizarse para realizar filtración biológica, química o mecánica, aunque está más recomendado para estas dos últimas ya que la escasez de oxígeno dificulta la actividad biológica.

No obstante con la colocación de los sustratos adecuados puede desarrollar estas funciones. En la parte superior tiene una bomba impulsora encargada de devolver el agua al depósito y dos tomas: una de entrada de agua y otra de salida por donde fluye el agua depurada.

La altura donde se colocará el filtro con respecto al nivel del agua del depósito es importante ya que cuanto más alta sea ésta más potencia necesitaremos en la bomba impulsora para que no deje de funcionar.

1.2.5. Descripción del filtro de la planta.

El filtro es un tanque rectangular, construido de concreto, cuya profundidad es de 4,30 m. Cada filtro se divide en dos celdas de filtración que comparten el mismo lecho filtrante. Éste consta de una cámara inferior, un fondo falso tipo wheeler, grava y el lecho filtrante que en este caso es arena, como se muestra en la Figura 1.1.

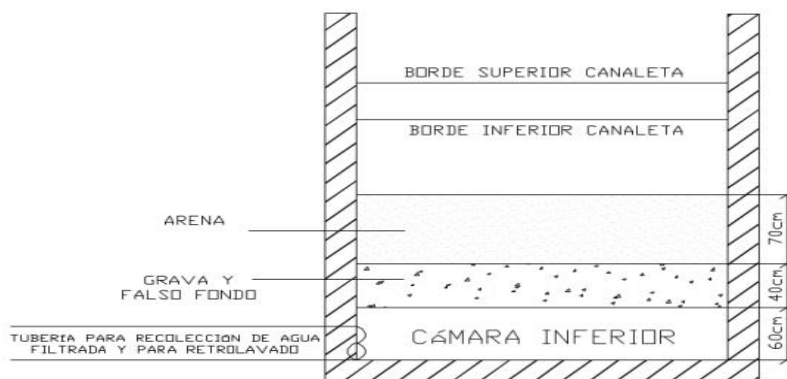


Figura 1.1. Distribución de capas en el medio filtrante

Fuente: [3]

La cámara inferior es capaz de captar uniformemente el agua filtrada y distribuye de la misma forma el flujo de agua necesario para el retro-lavado del filtro.

El fondo falso tipo wheeler es una base de concreto construida a una distancia de 60cm x 60cm y 10cm de espesor. Se caracteriza por tener nueve troncos. Cada tronco posee un orificio con cuatro esferas de porcelana de 1-1/2'' de diámetro y una esfera de 3'' de diámetro, según se muestra en la Figura 1.2.

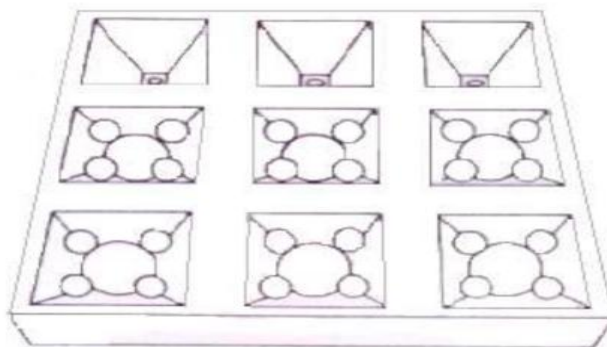


Figura 1.2. Fondo Wheeler

Fuente: [3]

La grava es colocada sobre el fondo falso, y sirve de soporte de la capa de arena cuando se filtra el agua y evita que partículas de arena escapen hacia la cámara inferior; además, la distribuye uniformemente durante el retro-lavado del mismo. El lecho filtrante está formado de arena, la cual debe ser del tamaño adecuado para evitar que durante el proceso de filtrado penetren los flósculos del agua colmatada. La calidad del agua filtrada y la medida de la carrera de filtración obtenida dependen mucho del tamaño de los granos de arena. En filtros rápidos, la arena posee un diámetro menor de 2.0 mm y está compuesta de material silíceo. La arena debe estar libre de barro y de materia orgánica. Las unidades de filtración de la planta son rápidas y funcionan a tasa declinante, pues la tasa de filtración es de $160 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y va disminuyendo proporcionalmente a la colmatación del filtro. Para que los filtros funcionen a tasa declinante, existen a la salida de cada celda de todos los filtros una estructura tipo caja-vertedero con el objetivo de monitorear la tasa de filtración mediante un registro de altura de agua sobre el vertedero. El registro de altura se traduce a caudal mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = 1562,30 * h^{1.5}$$

Ec. 1.1

Dónde: Q está en [lt/s] y h en [m].

Se dice que es tasa declinante debido a que cuando el filtro está limpio se filtra la mayor cantidad de agua posible y conforme éste se vaya colmatando, la tasa de filtración no se mantiene constante, sino que va disminuyendo en el tiempo.

1.2.5.1. Funcionamiento de filtración

Para el funcionamiento del filtro se requiere de tuberías que conduzcan los siguientes flujos: de ingreso del agua, de salida del agua filtrada, de retro-lavado del filtro, y de drenaje principal. Para el accionamiento de la apertura y cierre de las válvulas se disponen de actuadores eléctricos que permiten controlar el estado abierto o cerrado (ON /OFF) de las válvulas (tipo mariposa) ubicadas en cada una de las tuberías, permitiendo así el ingreso o no de los flujos requeridos para el funcionamiento del filtro, Figura 1.3.

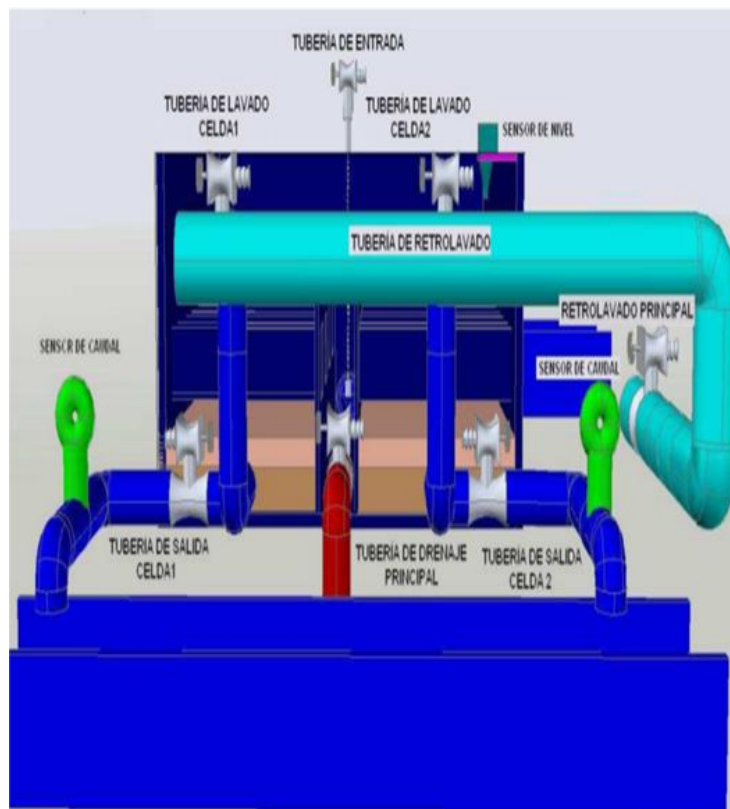


Figura 1.3. Tuberías en un filtro

Fuente: [3]

A continuación se describirán los flujos que intervienen en el proceso de filtración y lavado de filtros.

1.2.5.2. Flujo de ingreso de agua.

El agua, que se recoge de los tanques de sedimentación por medio de las flautas recolectoras, es distribuida uniformemente a cada filtro por medio de tuberías dispuestas en forma de vasos comunicantes a través de la tubería de ingreso o de entrada de agua, de tal manera que cuando ingresa el mismo líquido en los filtros interconectados entre sí. Figura 1.4, la altura de equilibrio alcanzada es la misma para todos los filtros. Estos poseen unas paredes que dividen ambas celdas del ingreso de agua, permitiendo así que el medio filtrante no quede expuesto constantemente al chorro del agua de ingreso.

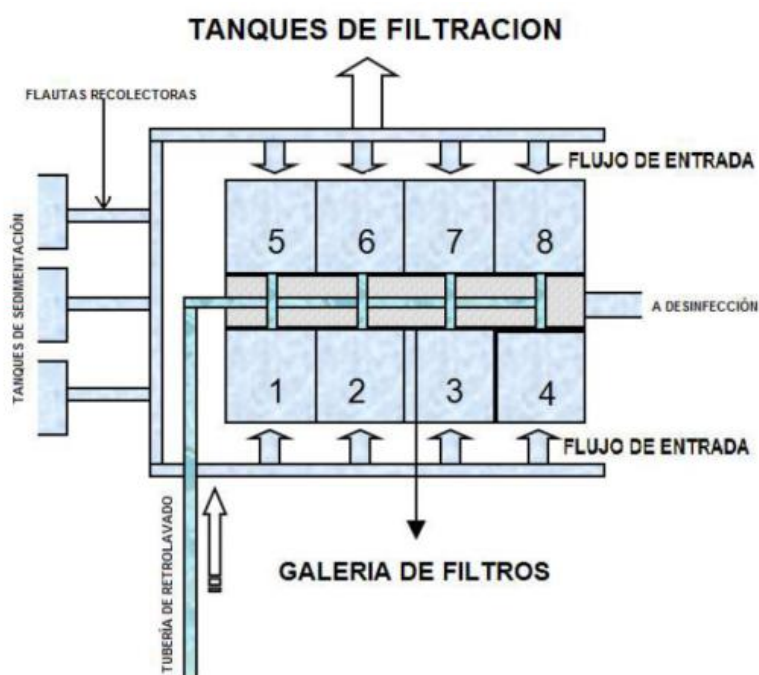


Figura 1.4. Flujo de entrada

Fuente: [3]

1.2.5.3. Flujo de salida del agua filtrada

El agua filtrada es recolectada en la cámara inferior del filtro. El flujo de salida pasa a través de una tubería de recolección del agua filtrada o tubería de salida. Como

se puede apreciar en la Figura 1.3 existe una tubería de recolección por cada celda.

El agua filtrada pasa posteriormente a ser desinfectada.

1.2.5.4. Flujo de retro lavado del filtro

Este flujo viene a través de una tubería desde el tanque de almacenamiento de agua para retro lavado de filtros y se divide en dos tuberías, una por celda, Figura 1.3.

Éste flujo es indispensable cuando se requiere retro-lavar un filtro.

1.2.5.5. Flujo de drenaje principal

Éste es el flujo que viaja a través de la tubería de drenaje principal. Existe una tubería por filtro, Figura 1.3.

Este flujo también es importante en la operación del retro-lavado, ya que toda el agua colmatada deberá descargarse a través de la misma.

1.2.6. Proceso de Filtración

El proceso de filtración es simple, una vez que el filtro esté limpio, la válvula de ingreso de agua del filtro debe permanecer abierta para que el agua colmatada de los sedimentadores ingrese al mismo.

El agua que se va filtrando es recolectada en la cámara inferior, Figura 1.1.

Las válvulas de salida de los filtros deben estar abiertas para que el flujo ingrese a los vertederos en donde se registra el caudal de salida y luego pase al proceso de desinfección.

Las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Tabla 1.1. Datos de dimensionamiento

Capacidad	480 m ³ /h
Numero de filtros	6
Área de filtro c/u	13 m ²
Área de filtro total	78 m ²
Área de filtro, total	65 m ³ / m ² /h
Área de filtro, durante el lavado	6.2 m ³ / m ² /h
Velocidad de filtración	7,4 m ³ / m ² /h
Velocidad de filtración durante el lavado	60 m ³ / m ² /h
Velocidad aire de lavado	780 m ³ / h
Demanda de aire	3 mCA
Numero de sopladores	1
Incluyendo reserva	40 m ³ / m ² /h
Velocidad agua de lavado	520 m ³ /h
Demanda de agua	8 mCA
Nº de bombas	4
Incluyendo reserva	1

Elaborado por: Deivid Gaona

1.2.6.1. Depósito de agua potable en la planta

El agua filtrada se conduce a un depósito de agua potable localizado debajo de los filtros. El tanque servirá, en primer lugar de depósito de agua potable, en segundo lugar será un depósito para las bombas de agua de lavado y de agua tratada, además de cámara de contacto de cloro.

1.2.7. Proceso de Retro-lavados de Filtros

El retro-lavado de los filtros es una operación de mucha importancia y debe realizarse con cuidado, ya que de esto dependerá en gran parte la calidad del agua filtrada y también la vida útil del filtro. La colmatación del filtro se puede verificar mediante la visualización del tiempo de servicio del filtro o carrera del mismo, éste suele ser de 20 o 30 horas; también se puede determinar cuando el caudal a la salida del filtro es menor a 20 lts/s; o también cuando uno de los filtros se colmata.

Debido a la estructura civil y colocación de las tuberías de ingreso de agua al filtro desde los tanques de sedimentación, si uno de estos está colmatado, el nivel en los sedimentadores aumenta.

Otro factor importante para medir la colmatación de filtros es la turbiedad del agua tanto al ingreso como a la salida de los mismos.

1.2.7.1. El proceso de lavado o de retro-lavado de los filtros sigue la siguiente secuencia de pasos:

- La válvula de retro-lavado principal debe abrirse para que ingrese el agua desde el tanque de almacenamiento para lavado de los filtros.
- Se debe cerrar la válvula de entrada para evitar que el agua sedimentada siga ingresando.
- Se debe permitir la operación de filtrado hasta que la altura del agua en el filtro disminuya a una adecuada para evitar que al inicio del lavado escape arena.

Se abre la válvula de drenaje principal.

Se procede a lavar una de las dos celdas, por ejemplo la celda uno. Se abre entonces la válvula de lavado correspondiente a la celda por un tiempo determinado, permitiendo que el agua de descarga del retro-lavado se vaya por el drenaje principal, luego se cierra la válvula de la celda uno. Después se lava de igual forma la celda dos, abriendo la válvula de lavado de la celda por un tiempo y luego se la vuelve a cerrar.

Se cierra la válvula de drenaje principal.

A continuación se sigue el siguiente procedimiento:

- Se cierra la válvula de retro-lavado principal.
- Se abre la válvula de ingreso de agua o de entrada.

Una vez que se haya registrado el valor óptimo de nivel de agua se procede a abrir las válvulas de salida del agua filtrada en ambas celdas.

1.3. AUTOMATIZACIÓN

1.3.1. El PCL

Dispositivo electrónico muy usado en automatización industrial. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control. Programmable Logic Controller o Controlador lógico programable.

[4], afirma que se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales. Los PLC sirven para realizar automatismos, se puede ingresar un programa en su disco de almacenamiento, y con un microprocesador integrado, corre el programa, se tiene que saber que hay infinitudes de tipos de PLC. Los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

1.3.2. El controlador S71200

El controlador SIMATIC S7-1200 es un dispositivo electrónico industrial modular, compacto y de aplicación versátil: una inversión segura, idónea para una completa gama de aplicaciones. Un diseño escalable y flexible, una interfaz de comunicación a la altura de las máximas exigencias de la industria, y toda una gama de elementos tecnológicos potentes e integrados hacen de este controlador un componente clave en soluciones completas de automatización, Figura 1.5.



Figura 1.5. PLC S7-1200 con sus respectivos módulos de expansión

Fuente: [4]

1.3.2.1. Las características que presenta este nuevo controlador son:

- Diseño escalable y flexible mejora el espacio en lugares de instalación.
- Comunicación Industrial con interfaz PROFINET incluida hace posible la comunicación del PLC hasta con 16 conexiones ETHERNET con los protocolos TCP/IP nativo, ISO-TCP y comunicaciones S7.
- Mayor memoria de hasta 50 KB con capacidad de integrarse memoria de 2MB externa y 2KB de memoria remanente, mejorando la capacidad de su antecesor S7200.
- Mayor módulos de expansión, hasta ocho módulos con el CPU S71214c, tres módulos de comunicación y dos módulos SB (Signal Board).
- Funciones tecnológicas integradas mejora su aplicación con mayor número de funciones como son hasta cinco contadores rápidos, 16 comandos PID, dos salidas de alta frecuencia de reacción para aplicaciones PWM y FTO, etc.
- Software de fácil manejo y siguiendo la ideología de programación del S7300 y S7400.

1.3.3. Pantalla Táctil KTP600

De fácil manejo y comunicación, la pantalla táctil KT600 es una excelente elección en procesos de automatización, Figura 1.6.



Figura 1.6. Pantalla táctil KTP600

Fuente: [4]

1.3.3.1. Las características de la pantalla táctil KTP600 se muestran a continuación:

- Pantalla totalmente táctil que incluye cinco botones de membrana para su fácil operación.
- Interface PROFINET incluida.
- Diseño robusto y que ahorra espacio, con un grado de protección IP65 son ideales en ambientes industriales pudiendo instalarse de manera vertical u horizontal.
- Funciones ideales como manejo de recetas, diagramas de curva y gráficos vectoriales.
- Software de comunicación STEP 7 Basic. 10.5 incluyéndose también para la programación del PLC S71200.

1.3.3.2. Software de Programación

Para programar tanto el S71200 y la pantalla táctil KTP600 fue necesario utilizar el software de programación STEP 7 Basic v11.0. El cual, existen variaciones a sus antecesores programadores.

- Soporta KOP y FUP, pero no AWL.
- Incluye WinCC Basic para configurar paneles de operador HMI Basic.
- No requiere stick de licencia USB separado. El software se activa automáticamente al instalarlo.
- La primera versión no ofrece ninguna función de exportación/importación de proyectos S7-1200.

- Para desplazar archivos de proyecto de un PC a otro, utilice el Windows Explorer y PKZIP para copiar el árbol de directorios con los archivos de proyecto.

A diferencia del S7200, este controlador utiliza un principio de distribución de programa similar al S7300 y S7400. Es decir, utiliza bloques de programa, eliminando las subrutinas. Las diferencias son mostradas en la Figura 1.7.

Los bloques de programa son elementos de organización el cual maneja un programa del controlador.

En el S71200 existen diferentes bloques de programa como son:

- Bloques de organización
- Función
- Bloque de función
- Bloque de datos

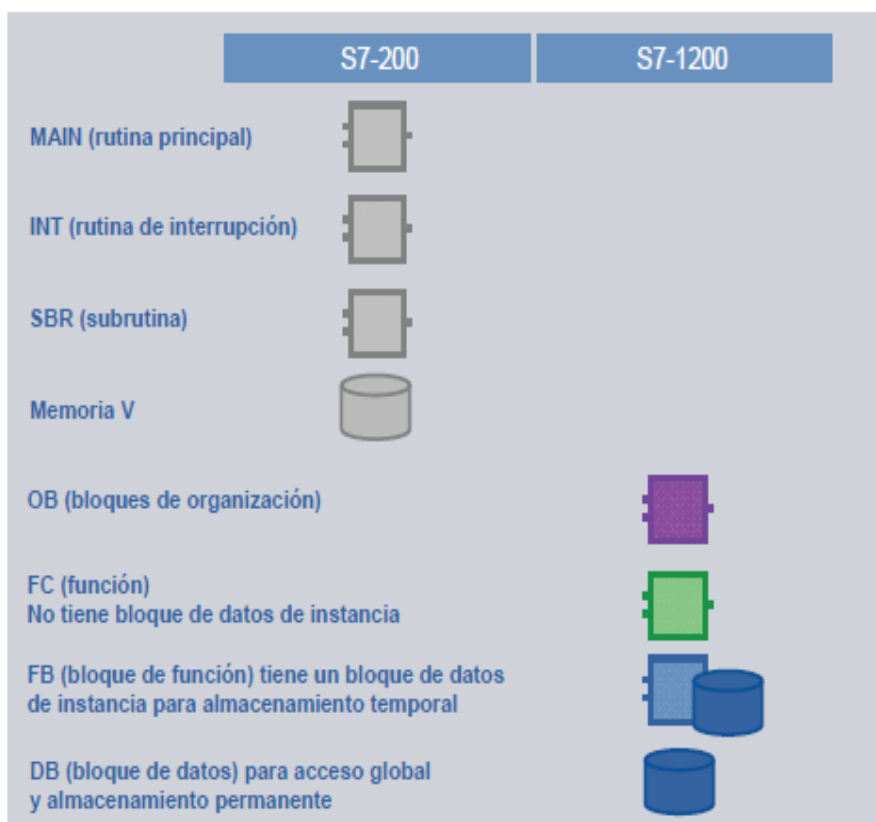


Figura 1.7. Gráfica de las diferencias entre subrutinas y bloque de datos

Fuente: [4]

El programa cuenta con ventanas de programación tanto para el PLC como el HMI, es decir, en el mismo programa se puede implementar y configurar el software del PLC y el del HMI.

1.3.4. Interfaz humano máquina (HMI)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. [5].

1.3.4.1. Introducción

Paquetes enlatados HMI. Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA. Ejemplos son FIX, WinCC, Wonderware, etc. Figura 1.8.

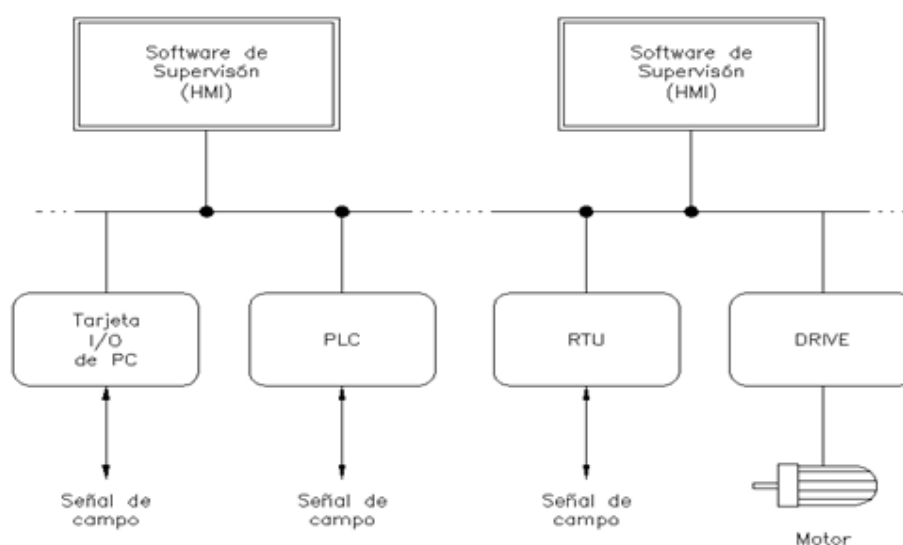


Figura 1.8. HMI

Fuente: [5]

El software HMI está compuesto por un conjunto de programas y archivos. Hay programas para diseño y configuración del sistema y otros que son el motor mismo del sistema. En la Figura 1.9 se muestra cómo funcionan algunos de los programas y archivos más importantes. Los rectángulos de la figura representan programas y las elipses representan archivos. Los programas que están con recuadro simple representan programas de diseño o configuración del sistema; los que tienen doble recuadro representan programas que son el motor del HMI.

Con los programas de diseño, como el “editor de pantallas” se crea moldes de pantallas para visualización de datos del proceso. Estos moldes son guardados en archivos “Archivo de pantalla” y almacenan la forma como serán visualizados los datos en las pantallas.

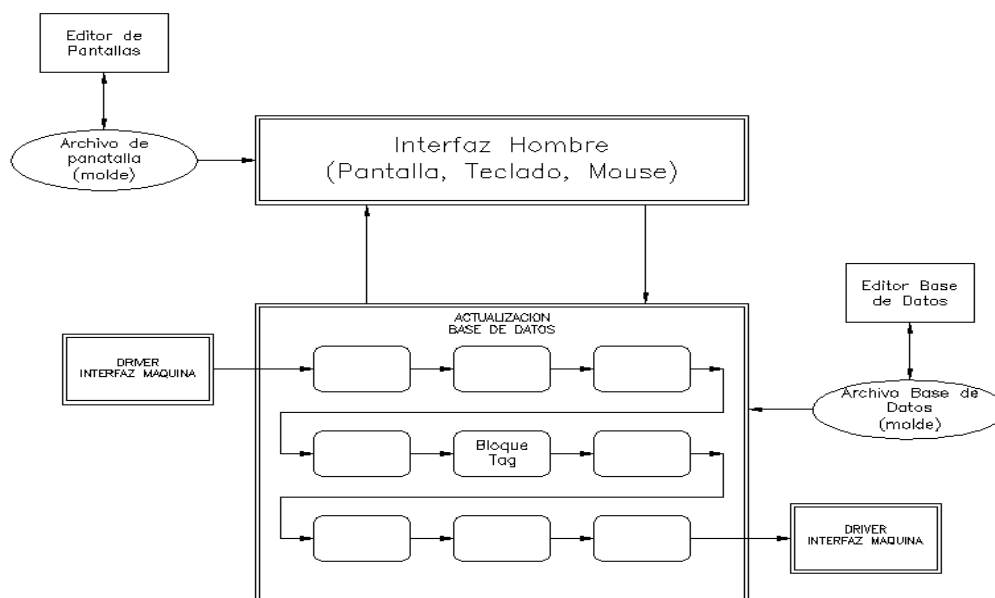


Figura 1.9. Estructura general del software HMI

Fuente: [6]

Interfaz Hombre: Es un programa que se encarga de refrescar las variables de la base de datos en la pantalla, y actualizarla si corresponde por entradas del teclado o el mouse. Este programa realiza la interfaz entre la base de datos y el hombre. El diseño de esta interfaz está establecido en el archivo molde “Archivo de pantalla” que debe estar previamente creado.

Base de datos: Es un lugar de la memoria de la computadora donde se almacenan los datos requeridos del proceso. Estos datos varían en el tiempo según cambien los datos del proceso, por esta razón se denomina “base de datos dinámica”. La base de datos está formada por bloques que pueden estar interconectados. La creación de la base de datos, sus bloques y la relación entre ellos se realiza a través de “editor de base de datos”.

Driver: La conexión entre los bloques de la base de datos y las señales de los procesos se realiza por medio de drivers. Estos drivers manejan los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo. Los drivers son entonces la interfaz hacia la máquina.

Bloques (tags): Como ya mencionamos, la base de datos está compuesta por bloques. Para agregar o modificar las características de cada bloque se utiliza el editor de la base de datos. Los bloques pueden recibir información de los drivers u otros bloques y enviar información hacia los drivers u otros bloques.

1.3.4.2. Las funciones principales de los bloques son:

- Recibir datos de otros bloques o al driver.
- Enviar datos a otros bloques o al driver.
- Establecer enlaces (links) a la pantalla (visualización, teclado o mouse)
- Realizar cálculos de acuerdo a instrucciones del bloque.
- Comparar los valores con umbrales de alarmas
- Escalar los datos del driver a unidades de ingeniería.

1.3.4.3. Funciones de un HMI

- Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- Supervisión.** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.
- Control.** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Va más allá del control de supervisión, removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.
- Históricos.** Es la capacidad de muestra y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

1.3.4.4. Criterios de beneficios y aplicaciones del software para un sistema HMI

El software a utilizar para desarrollar el HMI será Intouch, esto es debido a la flexibilidad que el sistema debe presentar para integrar en el futuro el SCADA de la planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD de Lago Agrio. En este sistema el usuario puede visualizar el proceso, realizar tareas de control, llevar registros históricos y podrá atender alarmas.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN

2.1. DISEÑO BASE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

La capacidad de tratamiento de la planta de agua potable está basada en los siguientes datos de dimensionamiento:

Tabla 2.1. Capacidad

Toma de agua cruda	Media día	8.640 m ³ /d
Toma de agua cruda	Máxima día	11.520 m ³ /d
Toma de agua cruda	Máxima hora	480 m ³ /d
Depósito de agua potable		750 m ³

Elaborado por: Deivid Gaona

2.2. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU UTILIZACIÓN.

El sistema de tratamiento de agua potable consiste en seis depósitos filtrantes, cada uno con 217cm ancho, 580cm de largo y 290cm de altura, que contienen arena, grava e impurezas como se observa en las Figuras 2.1 y 2.2.

Un tanque de almacenamiento de agua situado en la parte inferior de los depósitos filtrantes, un compresor para el accionamiento de los actuadores como se indica en la Figura 2.3.

Cuatro actuadores de paso y cierre por cada depósito filtrante indicados en la Figura 2.4, un fluxómetro para obtener datos de la entrada de agua indicado en la Figura 2.5.

Un mezclador estático para inyectar carbonato de sodio y sulfato de aluminio al agua indicado en la Figura 2.6.

Cuatro bombas para la evacuación del agua filtrada indicadas en la Figura 2.7, depósitos de Carbonato de Sodio y Sulfato de Aluminio indicados en la Figura 2.8, válvulas, controles e instrumentación.



Figura 2.1. Depósitos Filtrantes, donde llega el agua para el proceso final.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.2. Depósitos filtrantes, vista superior.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.3. Compresor de pistones.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.4. Actuadores neumáticos distribuidos en todos los tanques.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.5. Fluxómetro situado en la entrada del agua a tratar.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.6. Mezclador estático.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.7. Bombas de evacuación de agua filtrada.

Elaborado por: Deivid Gaona



Figura 2.8. Depósitos de Carbonato de Sodio y Sulfato.

Elaborado por: Deivid Gaona

2.2.1. Calidad de agua cruda

Una vez filtrada el agua del río en el lecho del mismo se dispone de agua cruda de una calidad que sólo requiere un tratamiento normal con filtración directa después de la oxidación seguida por coagulación con alumbre.

El tratamiento siguiente será un ajuste del pH mediante sosa y desinfección mediante cloro gas.

A base de los estudios hidrológicos del proyecto de agua potable para Lago Agrio el agua filtrada en la orilla tiene la siguiente calidad:

Tabla 2.2. Calidad del Agua Filtrada en la orilla

Turbidez	≤ 15 NTU
Color (aparente)	≤ 20 mg Pt/l
Coliformes	≤ 100 #/ ml
Sabor y olor	≤ 3
Hierro	≤ 11 mg/l

Fuente: [3]

2.2.2. Calidad del agua potable

A la condición de que se cumplan los supuestos arriba mencionados, la calidad del agua tratada puede observar la norma [7].

2.3. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

En el manual del [3] de la planta de tratamiento de agua potable del GAD de Lago Agrio presenta que el proceso de retro-lavados de los filtros consta de cuatro ciclos como se observa en la Figura 2.9.

Cada retro-lavado de cada uno de los filtros debe realizar estos cuatro ciclos de forma independiente mediante la utilización de actuadores, sensores, medidores, indicadores, bombas, sopladores de aire, compresores, válvulas, como se observa en la Figura 2.10.

El objetivo de realizar un retro-lavado es limpiar las impurezas que hay en cada uno de los filtros que provoca un retraso cada vez más prolongado en la filtración normal del agua.

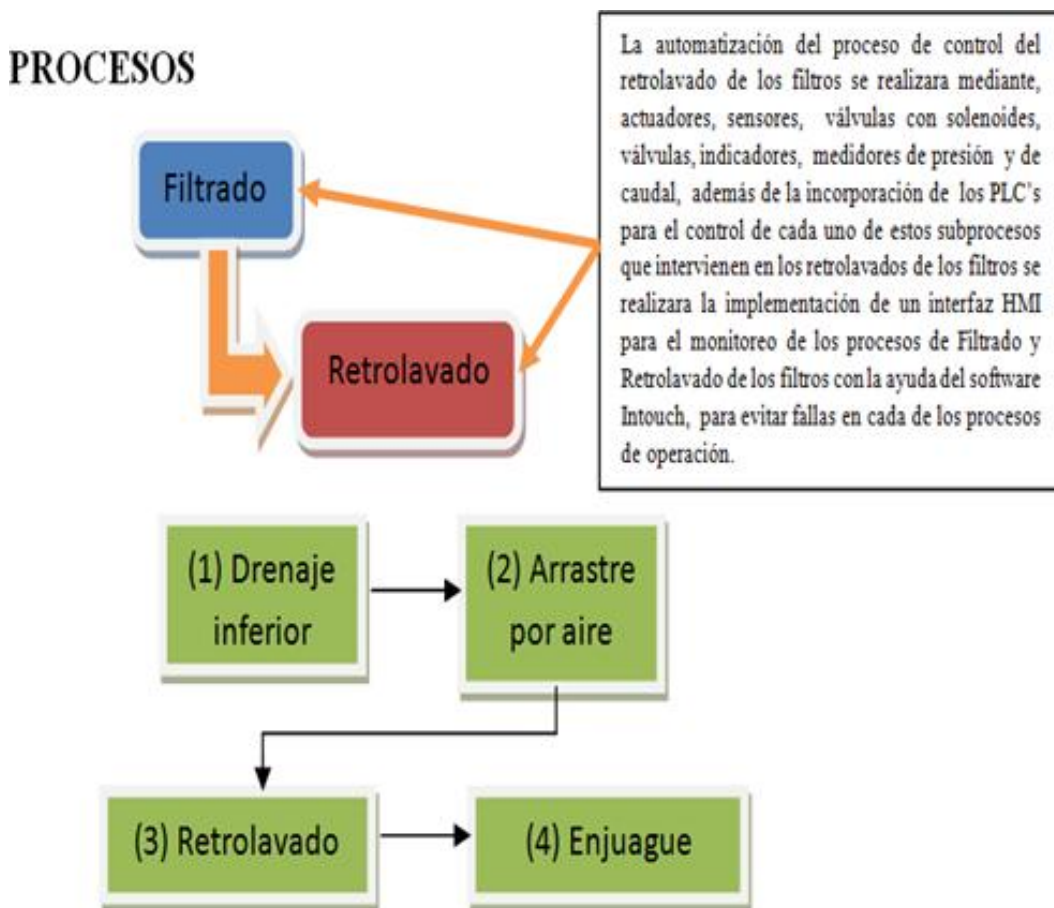


Figura 2.9. División general del proceso de Retro-lavados en subprocesos.

Fuente: [3]

2.3.1. Tratabilidad del agua

Se han realizado varios estudios de la tratabilidad del agua del río.

Los resultados obtenidos son varios.

No obstante, parece prudente suponer que será posible tratar el agua mediante coagulación con alumbre añadiendo un máximo de 10 mg/l antes de la filtración directa en un filtro de gravedad y de lecho profundo aguas abajo.

El agua de río se infiltra en el margen del río y se mezcla con el agua subterránea.

Los procesos biológicos y físicos continúan en el acuífero y puede experimentarse un agotamiento de oxígeno.

Por esto el agua extraída de los pozos de sondeo se oxigenará con la inyección de aire en la tubería antes de la coagulación.

Pruebas de jarra realizadas a intervalos regulares dirigirán al operario a seleccionar la dosis correcta de sulfato de aluminio y el valor de pH adecuado para la remoción óptima de turbidez y color.

Se inyecta alumbre en la tubería de agua cruda se lo homogeniza con un mezclador estático.

Debe asegurarse un Índice Langlier un poco positivo para proteger las tuberías y los accesorios correspondientes.

Esto se consigue mediante la inyección de carbonato de sodio en el agua ya filtrada.

La inyección de carbonato de sodio depende del caudal y el valor de pH.

Por último el agua debe desinfectarse mediante cloro.

El consumo de cloro se estableció en estudios anteriores en donde el valor era notablemente bajo, alrededor de 0,8 mg/l, según se puede observar en la Figura 2.10.

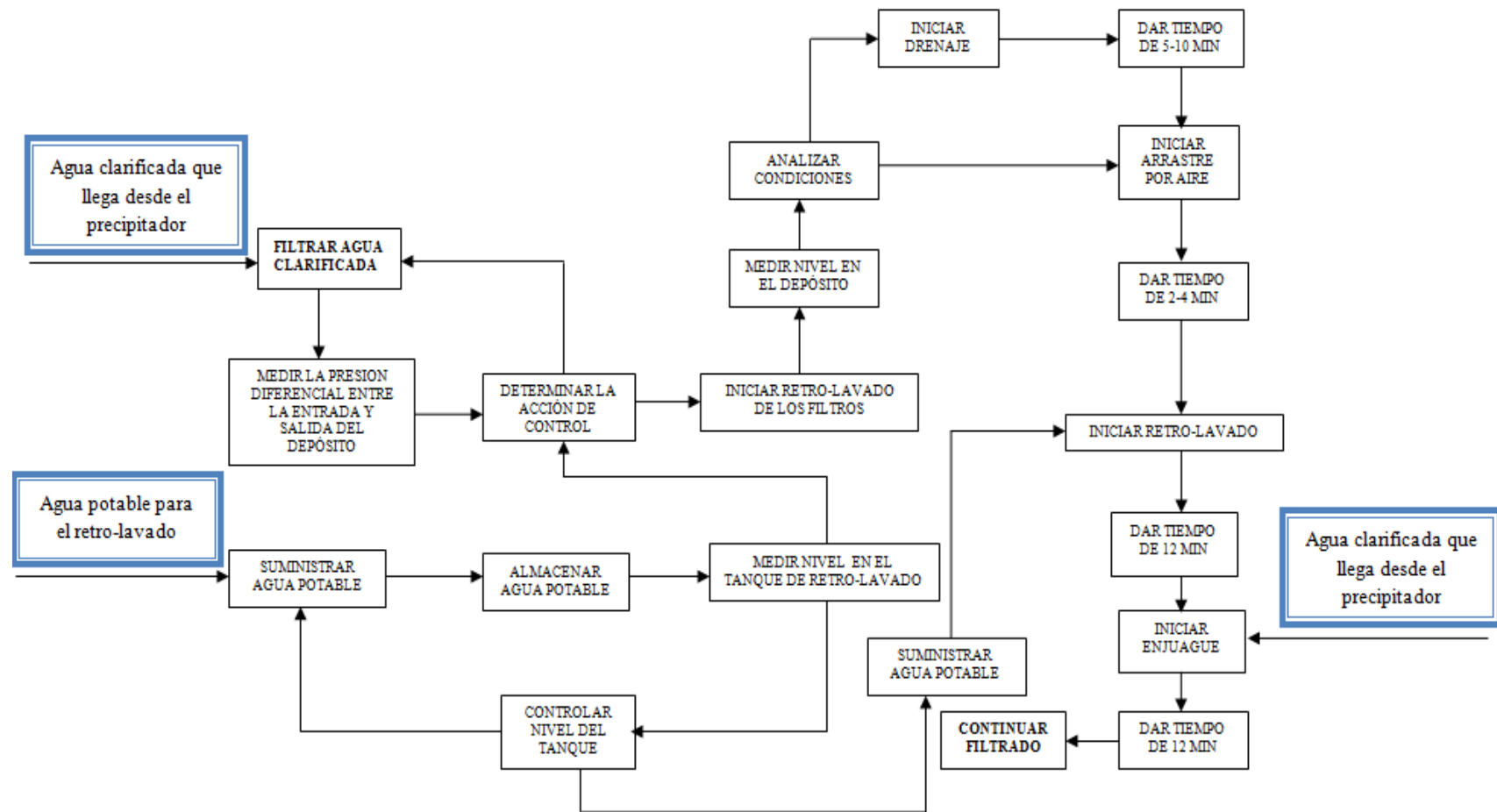


Figura 2.10. Diagrama de bloques del proceso de filtrado y retro-lavado dividido en subprocessos

Fuente: [3]

Este proceso de retro-lavados de filtros se inicia llenando secuencialmente cada tanque, estos filtros se limpian invirtiendo el sentido del flujo. Para retro-lavar un tanque, es decir cuando el filtro está sucio, el operador debe apagar el proceso de filtrado uno y encender el proceso de retro-lavado para el filtrado uno, entonces se enciende la bomba uno de retro-lavados, y con el encendido de electroválvulas, es decir cuando la pequeña válvula de control de tres vías que va junto a la válvula de retro-lavado es puesta en la posición ON, ya sea de forma automática o manual, ésta es la que permite que el agua clarificada desde el sistema de comando hidráulico del proceso de presurización llene el diafragma actuador y empuje el pistón dentro de la válvula de retro-lavado.

Conectado a este pistón está una válvula émbolo de dos lados. En la posición de no accionada, la válvula cargada por resorte está asentada entre la entrada del tanque y el colector de descarga de retro-lavado. Esto previene que el agua escape dentro del sistema de retro-lavado durante el modo de filtración. Cuando está accionada, el pistón y el sello de la válvula se mueven a través de la toma de entrada del tanque y se asienta contra el colector interno donde el agua sin filtrar entra al tanque. Este simple movimiento previene la entrada al tanque de agua sin filtrar y permite la entrada del agua filtrada al sistema de enjuague y evita que vuelva por el retro-lavado a través del tanque y fuera del colector de retro-lavado. Luego de este proceso intervienen los sopladores de aire quienes se encargan de limpiar de forma completa los filtros, los sopladores son accionados mediante actuadores neumáticos los cuales tienen como fuente un compresor.

Es importante tener en mente que sólo un tanque deberá ser lavado a la vez por cuestiones de seguridad y operación, ya que cada proceso de retro-lavado cuenta con cuatro subprocesos los cuales cuentan con actuadores eléctricos, sensores, medidores, bombas, sopladores, válvulas moto-reductores e indicadores.

Este proceso se lo debe realizar de forma secuencial y automática para cada uno de los filtros es decir deben existir seis procesos de retro-lavados semejantes para cada filtro, dependiendo siempre y cuando de las características técnicas de cada uno los depósitos filtrantes.

La propuesta está orientada al diseño teórico de la automatización del proceso de los retro-lavados de los filtros de la planta.

El estudio busca dar respuesta a la necesidad que tiene el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio” de actualizar sus sistemas de control en la planta de Agua, con los fines de disminuir consumos de energía, facilitar respuesta de control, mejorar los tiempos de operación y facilitar el desarrollo de una interfaz HMI del proceso para monitorear las variables de control, fallas, advertencias, históricos y ubicación de cada uno de los procesos como son la del filtrado y retro-lavado, ya que estos procesos son los más importantes dentro del tratamiento de agua potable, con lo que conlleva así a poder elevar la producción.

2.3.2. Esquema General del Proceso de Tratamiento de Agua Potable

El tratamiento de las aguas se realiza mediante una serie de procesos encadenados que dependen de las características del agua a tratar. Figura 2.10.

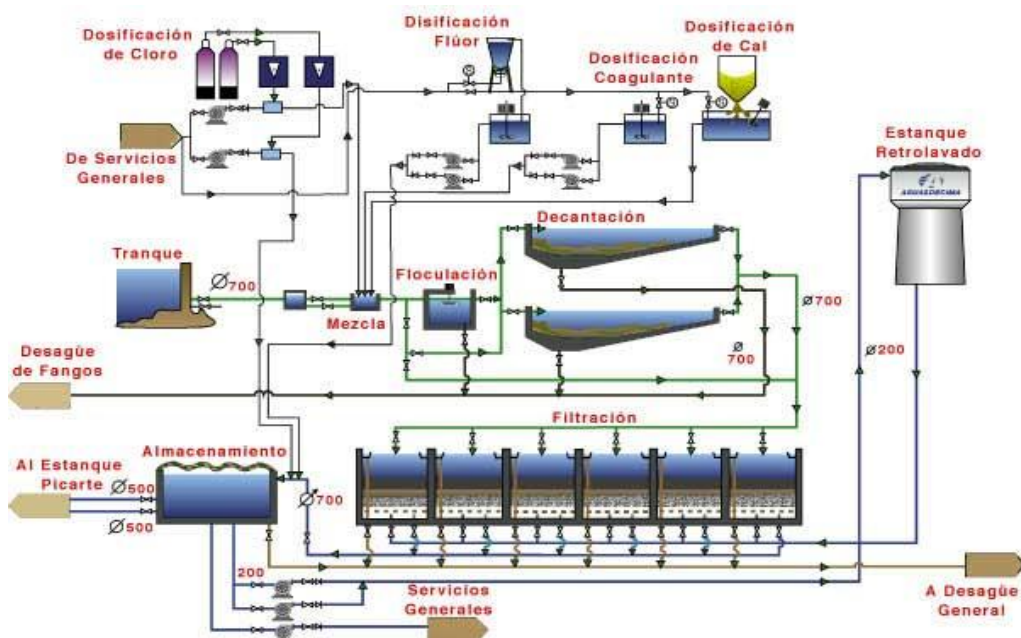


Figura 2.11. Tratamiento del Agua Potable mediante el método (ETAP)

Fuente: [4]

2.3.3. Fuentes de Aducción

Una línea de aducción está constituida por la tubería que conduce agua desde la obra de captación hasta el estanque de abastecimiento, así como de las estructuras, accesorios, dispositivos y válvulas integradas a ella.

De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento, así como de la topografía de la región las líneas de aducción pueden ser:

- Líneas de aducción por gravedad
- Líneas de aducción por bombeo

En la planta de agua potable se utiliza las líneas de aducción por bombeo con motores eléctricos

Líneas de aducción por bombeo son necesarias cuando las fuentes de abastecimiento de agua se encuentran a elevaciones inferiores a los sitios de consumo. Figura 2.12.

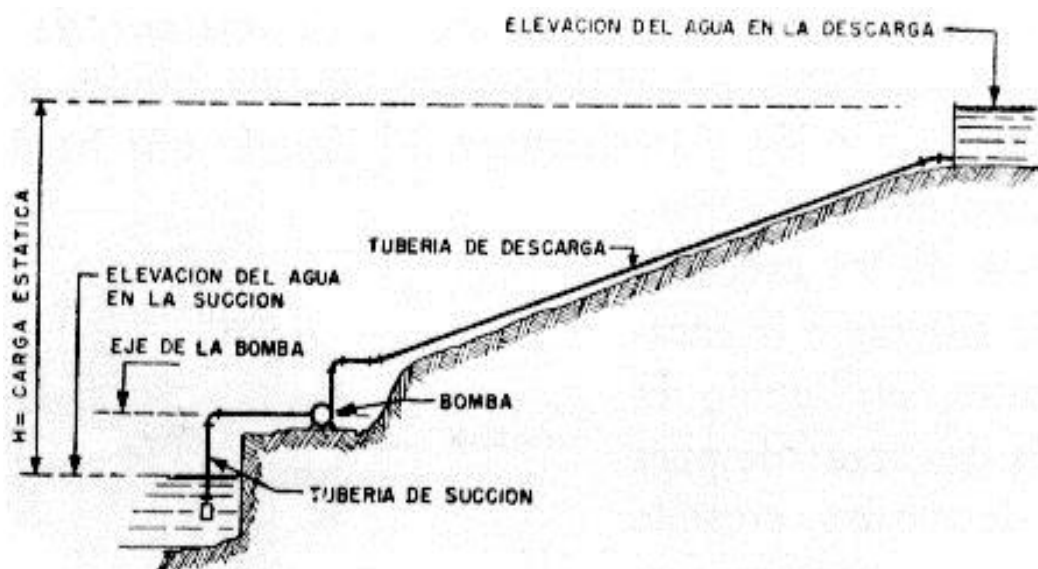


Figura 2.12. Línea de aducción por bombeo.

Fuente: [4]

2.3.4. Medidas de nivel

La operación de pozos de agua requiere de mediciones de nivel, presión y flujo. Para las mediciones de nivel en pozos, se instalan sondas en tubos huecos sólidos con diámetros muy pequeños. Las sondas de nivel hidrostáticas especialmente desarrolladas son perfectas para esta aplicación y pueden ser instaladas directamente en el tubo sólido hueco. De este modo se aseguran mediciones confiables para el control de la extracción de agua de la red de pozos.

El medidor de nivel hidrostático combinado con medidores de flujo y presión es usado para determinar el funcionamiento mecánico de la bomba. El grado de eficiencia puede ser calculado empleando el rendimiento de la motobomba eléctrica como un parámetro de medida. Para registrar los parámetros requeridos así como para propósitos de cálculo, se recomienda el uso de registradores locales multipunto con data-logger. Estas unidades son a prueba de intervención y poseen funciones matemáticas. En algunos casos un proceso de control de calidad puede ser requerido: por ejemplo medición de turbidez en pozos si hay riesgo de contaminación. En caso de precipitaciones se recomienda que el pozo sea cerrado tan pronto como alcance 0.3 unidades de turbidez (NTU). Esto se hace para evitar costos excesivos en tratamientos que conlleva la contaminación de agua pura.

El nitrato también puede ser un parámetro importante de monitoreo en el pozo si se realiza alguna actividad agrícola cerca del pozo. La dispersión de nutrientes hace que la medida de nitrato en línea sea un factor adicional de seguridad para el operador del pozo. [6]. Además se pueden utilizar mediciones de presión y de presión diferencial para monitorear el filtro.

El proceso de lavado es un paso importante en lo que concierne a la disponibilidad y la seguridad del proceso de filtración. De importancia decisiva es no sólo el tiempo de limpieza, sino que aún más importante es la velocidad con la cual el aire y el agua son presionados a través de los filtros. Además de la medición tradicional y probada con placa de orificio, también se utilizan los fluxómetros tipo vortex y máscos térmicos.

Después del ajuste final, grandes volúmenes de agua tienen que ser almacenados después de cada etapa de purificación de agua. La capacidad de almacenamiento es usada para igualar fluctuaciones en el uso, mantener rangos de presión, mantener paradas, mantener niveles para tareas de extinción de fuego, etc.

Normalmente se usan estanques elevados de depósito situados en una posición descentralizada en la red de suministro. Junto con la regulación de niveles del agua, la medida de flujo también facilita la operación de grandes estanques. En la red de distribución la medición de flujo, el monitoreo de pérdidas, así como la medida de presión son especialmente requeridos.

La medición de nivel se realiza en los tanques de sedimentación, en los filtros, en los tanques de sulfato de aluminio y en los tanques de almacenamiento de la planta de Agua Potable de Lago Agrio

Para la medición de nivel en los tanques de sulfato de aluminio y de los tanques de almacenamiento de la planta de Agua Potable de Lago Agrio Alto se dispone de un sensor de medición ultrasónico modelo Prosonic M de ENDRESS+HAUSER, Figura 2.13. La señal de salida del sensor puede ser transmitida vía PROFIBUS PA.



Figura 2.13. Medidor Prosonic M de ENDRESS+HAUSER

Fuente: [8]

El medidor PROSONIC M transmite pulsos ultrasónicos en la dirección de la superficie del agua, estos pulsos son reflejados al receptor del sensor. El sensor mide el tiempo entre los pulsos de transmisión y recepción. Figura 2.14.

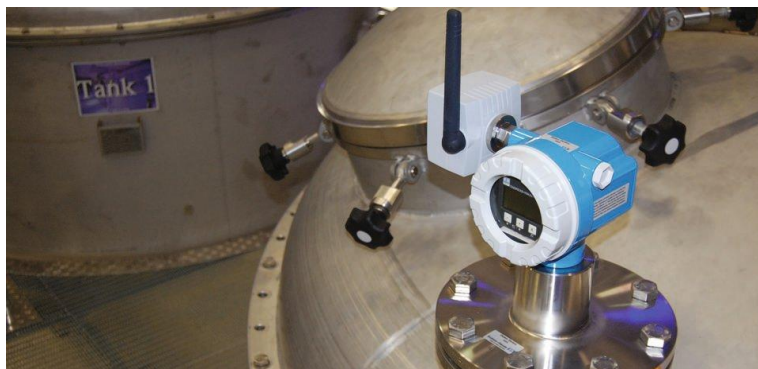


Figura 2.14. Medidor de nivel Prosonic M ubicado en un tanque

Fuente: [8]

El tiempo es utilizado para determinar la distancia entre la membrana del sensor y la superficie del agua según la Ecuación 2.1, en donde C es la velocidad del sonido y la distancia L se obtiene según la Ecuación 2.2.

$$D = C * t/2$$

Ec. 2.1

$$L = E - D$$

Ec. 2.2

Los sensores de nivel utilizados para la medición en los sedimentadores y en los filtros son de tipo ultrasónico Prosonic T FMU231 marca ENDRESS+HAUSSER, mostrado en la Figura 2.15. Estos sensores poseen una señal de salida de 4-20mA y pueden medir hasta 7m. Este sensor mide el tiempo que tarda en regresar la onda transmitida, siendo el tiempo proporcional a la distancia medida.



Figura 2.15. Medidor Prosonic T FMU231

Fuente: [8]

2.3.5. Medidas de caudal

La medición de caudal se realiza en dos lugares, a la salida de los filtros y en la tubería de lavado principal.

Los filtros funcionan a tasa declinante; es decir, se tendrá un caudal mayor cuando los filtros estén limpios y conforme estos se vayan colmatando el caudal filtrado irá disminuyendo en el tiempo.

Para la medición de caudal a la salida de cada celda se dispone de una estructura tipo caja-vertedero, con la finalidad de simular un vertedero rectangular Figura 2.16.

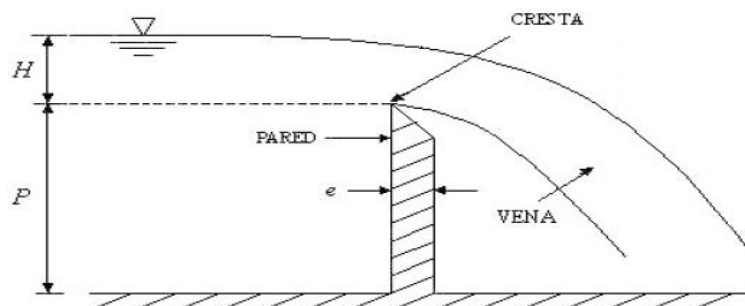


Figura 2.16. Vertedero rectangular

Fuente: [3]

Mediante un estudio de consultoría, realizado en el año 2004, para esta aplicación en especial, se determinó que el caudal a obtenerse en la caja tipo vertedero, cumple con la ecuación 2.3.

$$Q = 1562,30 * h^{1.5}$$

Ec. 2.3

Donde Q está en [lt/s] y h en [m]

Para la medición de caudal se encuentra ubicado un sensor en cada celda del filtro. La medición de caudal se realiza de forma indirecta utilizando un sensor ultrasónico de nivel, modelo Prosonic M Marca ENDRESS+HAUSER y su funcionamiento es el

mismo explicado anteriormente. La salida de igual forma puede ser transmitida vía PROFIBUS PA. Figura 2.17.

Para la medición del caudal en la tubería de retro-lavado principal se utiliza un medidor electromagnético de caudal modelo PROMAG 10 de ENDRESS+HAUSER. La salida de éste sensor sólo puede ser transmitida usando el protocolo HART.



Figura 2.17. Medidor Electromagnético PROMAG 10W

Fuente: [8]

El sensor electromagnético se basa en la ley de inducción de Faraday. El voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor. En este caso el conductor es el fluido y el campo magnético es creado por un par de bobinas. La fuerza electromotriz es recogida mediante un par de electrodos para posteriormente ser acondicionada. Un esquema del medidor se muestra en la Figura 2.18.

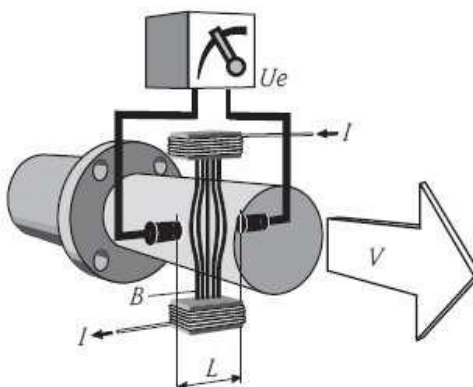


Figura 2.18. Funcionamiento del sensor electromagnético de caudal

Fuente: [8]

2.3.6. Desinfección – Cloración

2.3.6.1. Desinfección

[9], comenta que la desinfección es un proceso de suma importancia, que garantiza la calidad del agua potable producida, asegurando de esta manera la salud de sus consumidores. En la planta se realiza la desinfección adicionando gas cloro, a través de un sistema de dosificación automático, con la finalidad de bajar el PH del agua lo suficiente para destruir la membrana de las bacterias. De esta forma, se eliminan los microorganismos presentes en el agua clarificada que entregan los filtros.

El suministro de agua potable debe ser garantizado hasta la llegada a cada uno de los hogares de los consumidores. Para ello el agua debe salir de la planta con una cierta cantidad de cloro puesto que durante la trayectoria del agua por la tubería continuamente irá consumiéndose.

La coagulación y la filtración removerán la mayoría de los coliformes, proporcionando de tal forma la segunda barrera higiénica. Para conseguir un agua potable que es bacteriológicamente segura deberá realizarse una desinfección mediante cloro. La demanda del cloro del agua, será bastante reducida según los resultados obtenidos en un estudio anterior del agua del río. Se estima que la adición de 2 mg/l de cloro libre resulta adecuada

Una de las necesidades absolutas para la vida es y será el agua, la cual debe de poseer una alta calidad para su consumo humano. Ésta debe estar libre de cualquier organismo, mineral o sustancia orgánica que pueda llegar a producir enfermedades o efectos fisiológicos adversos.

Es muy común que las grandes plantas de tratamiento de aguas empleen al cloro como su principal aliado en esta difícil tarea.

El cloro es una de las sustancias activas que pueden estar en combinación con otros elementos en la naturaleza. Como posee un alto poder oxidante se puede ocupar en grandes cantidades en materiales orgánicos e inorgánicos.

En el tratamiento de aguas, el cloro puede ser añadido de tal forma que ofrezca una desinfección suficiente. Cuando el agua llega a la planta, posee altas cantidades de compuestos orgánicos como iones de hierro, plomo, sulfuros y nitritos; así como bacterias y microorganismos. [10]

El cloro se encarga de eliminar los compuestos orgánicos, su aplicación ayuda a oxidar dichos organismos eliminando las bacterias y desinfectando correctamente el agua.

Cuando éste es aplicado en exceso puede producir efectos tóxicos, aumentando el riesgo de compuestos cancerígenos para el ser humano. Mientras que si su aplicación es escasa puede retener los virus patógenos, bacterias y protozoos.

Por esta razón, es importante que las plantas especializadas en esta labor posean un analizador de cloro con características esenciales.

Tabla 2.3. Dosificación de cloro

Dosificación, Cl₂	2 mg/l
Gas de cloro	1
Clorador	2
Incluyendo reserva	0
Consumo	18 kg/d

Fuente: [3]

2.3.7. Válvulas de control

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de la regulación. Según [2], “Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el caudal de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable”. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería.

El obturador es quien realiza la función de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo.

Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

2.3.8. Coagulación

Según el criterio de [11], afirma que la coagulación es un proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras para formar partículas mayores y así precipitar más rápidamente.

Los coagulantes son agentes que ayudan a la precipitación. Muchas partículas, como los coloides son sustancias tan pequeñas que no sedimentarán en un tiempo razonable y además no pueden ser eliminadas por filtración.

La coagulación implica muchas reacciones de transferencia de masa. El proceso consta de varias etapas: (a) Teniendo en el fluido suspendido los coloides, se agrega el coagulante (b) homogenizando con el agua para luego ayudar a la (c) floculación o agrupación de partículas, (d) finalizando con la sedimentación de éstas, dejando un tiempo el agua en reposo. Proceso mostrado en las Figuras 2.19 y 2.20.

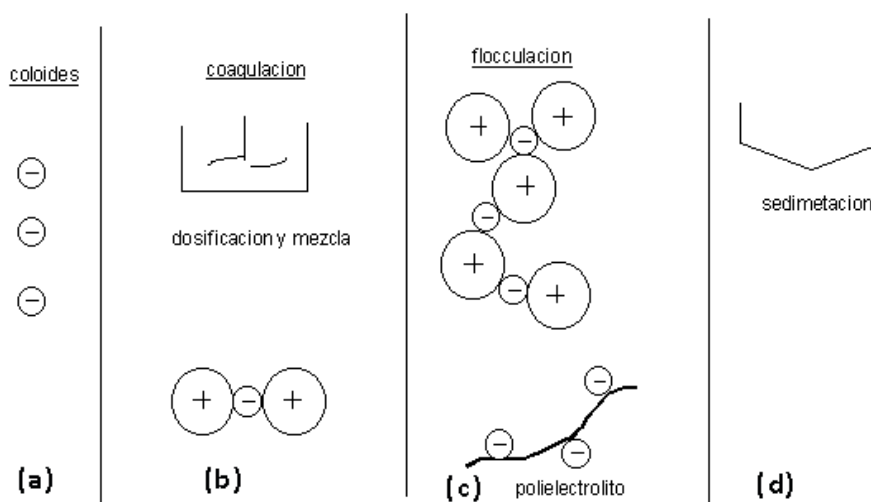


Figura 2.19. Proceso de coagulación

Fuente: [11]

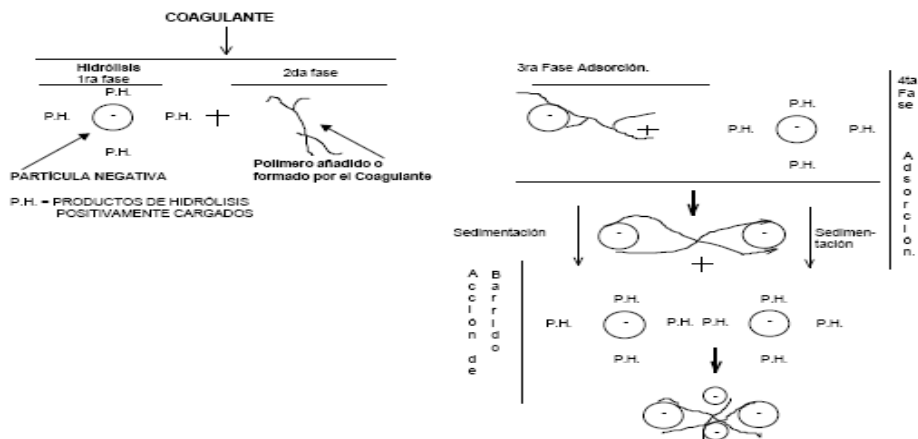


Figura 2.20. Proceso de coagulación

Fuente: [11]

Las fuerzas de atracción y de repulsión son las responsables de la estabilidad de las partículas de los contaminantes. Estas fuerzas se reducen mediante la adición de productos químicos o coagulantes, lo que permite la interacción de partículas mediante la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión en el agua del producto químico y promueve el choque de partículas, lo que hace que las partículas se agrupen para formar flósculos. Después de un período de mezcla rápida es necesario disminuir la velocidad de mezcla para formar flósculos más grandes, éste proceso es la floculación. Las variables claves que se deben tener en cuenta en el tratamiento de agua con coagulantes son: a) la dosis de los coagulantes, b) la alcalinidad y el pH del agua bruta, c) las concentraciones de partículas, y d) la solubilidad de los compuestos formados. Figura 2.21.



Figura 2.21. Proceso de tratamiento

Fuente: [11]

2.3.8.1. Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de agua

Sulfato de aluminio sólido ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \times 14 \text{H}_2\text{O}$): El sulfato de aluminio es el coagulante más usado. Es un sólido de cristal grisáceo. Se le conoce como alúmina o alumbre. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos.

Rango de pH para la coagulación óptima: 5-7,5.

Dosis: en tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 g/m^3 , según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad.

Sulfato ferroso (FeSO_4): Se usa generalmente junto con la cal (CaO) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción del FeSO_4 con la cal hidratada se ve favorecida a pH altos.

Rango de pH para la coagulación óptima, alrededor de 9,5. Dosis: se necesitan de 200 a 400 g/m^3 de reactivo comercial $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ * Con cal.

Sulfato férrico ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$): El sulfato férrico está disponible comercialmente en forma granular de color marrón rojizo. Es muy soluble en agua. Puede reaccionar con la alcalinidad del agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal.

Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 7, y mayor de 9. Dosis: de 10 a 150 g/m^3 de reactivo comercial $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ * Con cal.

Cloruro férrico (FeCl_3): Está disponible en fase sólida y líquida. Se genera por la oxidación del sulfato ferroso con cloro. Éste método tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4,8 y 11).

Es usado en tratamientos de aguas residuales e industriales. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los compuestos alcalinos añadidos.

Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 6, y mayor de 8. Dosis: de 5 a 160 g/m^3 de reactivo comercial $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ * Con cal

Los coagulantes se agregan en la fase inicial, es decir, a la entrada de agua que se va a tratar, como se muestra en la Figura 2.22.

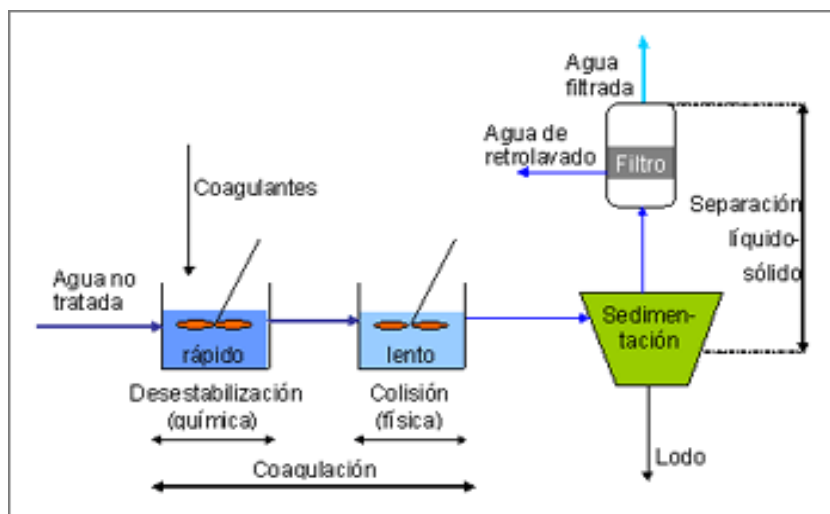


Figura 2.22. Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de agua

Fuente: [12]

2.3.9. Floculación

Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flósculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad, mostrado en la Figura 2.23. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flósculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerzas óptimas.

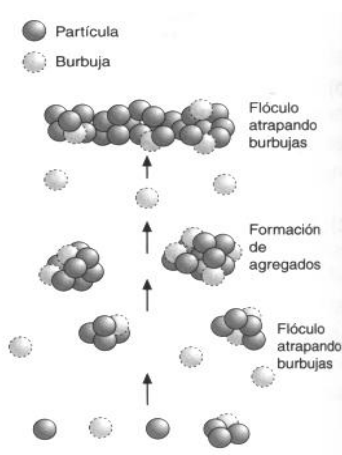


Figura 2.23. Floculación

Fuente: [12]

2.3.9.1. Tipos de floculación

2.3.9.2. Floculación Peri-cinética:

Movimiento natural de las moléculas de agua y está inducida por la energía térmica.

2.3.9.3. Floculación Orto-cinética:

Se basa en las colisiones de partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Como podemos observar en la Figura 2.24 el agua bruta ingresa por la izquierda hacia la etapa de coagulación, luego de ello tenemos la etapa de la floculación orto-cinética usando un sistema de aspas accionadas por un motor eléctrico.

Esto ayuda a que las partículas choquen entre sí, agrupándose en cantidades mayores cada vez más.

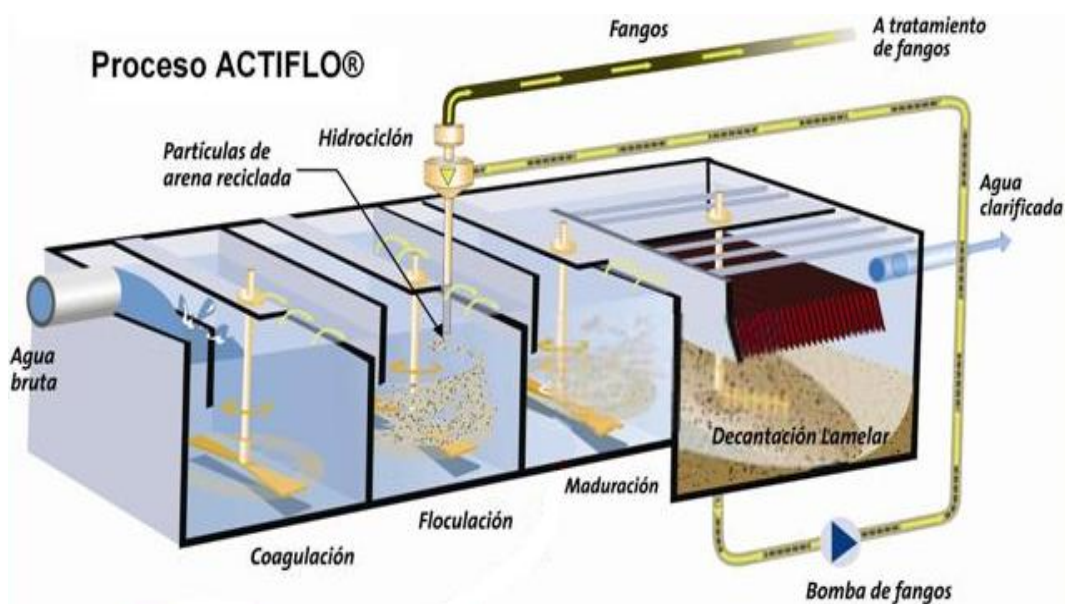


Figura 2.24. Floculación Orto-cinética

Fuente: [12]

2.3.9.4. Parámetros de floculación

- Floculación Orto-cinética
- Gradiente de velocidad
- Número de colisiones
- Tiempo de retención
- Densidad y tamaño de floculación
- Volumen de lodos

2.3.9.5. Floculantes

Floculantes Minerales: Sílice activada que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de ser utilizado.

Floculantes Orgánicos Naturales: Polímeros naturales obtenidos por sustancias animales y vegetales

Floculantes Orgánicos de Síntesis: Macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por monómeros sintéticos.

2.3.9.6. Sedimentación

[13], comenta que el primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las precedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos.

La sedimentación es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. Antaño, cuando se consideraba que el nivel primario era suficiente como único tratamiento, la sedimentación primaria era

la operación unitaria más importante de una planta. Su diseño y operación fueron determinantes en la reducción de las cargas de desecho que se disponían en los cuerpos receptores.

En la actualidad, los requerimientos de tratamiento a nivel secundario han otorgado a la sedimentación primaria un rol menor. No obstante, muchos de los procesos unitarios de tratamiento secundario son capaces de manejar los sólidos orgánicos sólo si se ha llevado a cabo una buena remoción de arena y escoria durante el Pre-tratamiento.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación.

El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, normalmente en el intervalo de 1 a 2.5 m/h. Los materiales orgánicos más ligeros, principalmente grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar. Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

El objetivo fundamental de la decantación primaria es doble: por un lado permite eliminar los sólidos en suspensión (en un 60%, aproximadamente) presentes en las aguas residuales y la materia orgánica (en un 30%, aproximadamente) y por otro lado, protegen los procesos posteriores de oxidación biológica de la intrusión de fangos inertes de densidad elevada.

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

2.3.9.7. Descripción de los tanques de sedimentación

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares.

2.3.9.8. Sedimentadores rectangulares

La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). Suelen ser equipos poco profundos.

La espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha, como se dijo, para remover la espuma. El material flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

2.3.9.9. Sedimentadores circulares

En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador. Cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos.

2.3.9.10. Sedimentadores lamelares

Han surgido como alternativa a los sedimentadores poco profundos, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto a la base, y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente.

En la superficie inferior se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogándose en el fondo del sedimentador.

Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida.

Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final.

2.3.9.11. Flotación

Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. [14], afirma que la flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad.

Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.

En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

Flotación por aire

disuelto (DAF):

En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de micro burbujas de aire.

Flotación por aire

inducido:

La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

2.4. Potabilización del agua

[15], afirma que “En la potabilización del agua, el proceso de sedimentación está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuanto menor es la viscosidad del mismo.

Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas, haciendo que se agreguen unas a otras, proceso denominado coagulación y floculación”.

2.4.1. Tratamiento de las aguas residuales

En el tratamiento de las aguas residuales, este proceso se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica o no, de las aguas residuales, aquí el agua pasa por un dispositivo de sedimentación donde se depositan los materiales para su posterior eliminación, el proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO51 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

2.4.2. Dispositivos sedimentadores

Los dispositivos construidos para que se produzca la sedimentación en ellos son:

Desarenador:

Diseñado para que se sedimenten y retengan sólo partículas mayores de un cierto diámetro nominal y en general de alto peso específico (arena);

Sedimentadores o decantadores: Normalmente utilizados en plantas de tratamiento de agua potable, y aguas residuales o servidas;

Presas filtrantes: Destinadas a retener los materiales sólidos en las partes altas de las cuencas hidrográficas.

2.5. FUNDAMENTOS DE DISEÑO

Cuando se trata de plantas grandes en las que se requiere de varios tanques rectangulares, se acostumbra diseñarlos con paredes comunes con el fin de reducir los costos de construcción y para aprovechar mejor el espacio. En el caso de plantas pequeñas es común diseñar tanques de tipo circular debido a la sencillez del dispositivo requerido para remover los lodos.

Los lodos deben retirarse del tanque de sedimentación antes de que se desarrollen en él condiciones anaerobias. Si los lodos comenzaran a descomponerse, se producirían burbujas de gas que se adherirían a las partículas de sólidos que, en vez de sedimentarse, se elevarían hasta la superficie.

De presentarse este caso se reduciría la compactación del lodo, lo que haría a su remoción menos eficiente. Los sistemas de remoción de lodo deben diseñarse para que puedan moverlo desde el sitio más alejado del tanque con respecto al cárcamo de lodos en un lapso de 30 minutos a 1 hora después de haber sedimentado. Una vez dentro de él, la conducción de lodos desde el cárcamo hacia el digestor debe hacerse con frecuencia.

La cantidad de lodo removido en la sedimentación primaria depende de variables tales como la composición del agua residual, la eficiencia del sedimentador (también llamado clarificador) y las características propias del lodo como son su densidad específica, contenido de agua, etcétera.

Las eficiencias de remoción de tanques de sedimentación primaria dependen de la carga superficial. La remoción media de sólidos suspendidos de sistemas bien operados debe estar alrededor del 50 al 60%. La remoción de la DBO se refiere únicamente a la DBO de los sólidos removidos, dado que no se remueven orgánicos disueltos y la biooxidación en el tanque de sedimentación primaria es despreciable. La eficiencia de los tanques de sedimentación para remover SST y DBO puede verse afectada por las siguientes causas: corrientes arremolinadas en la entrada debidas a la inercia del fluido; corrientes inducidas por la acción del viento; corrientes de convección térmica; corrientes de densidad originadas por el acceso de aguas calientes o frías que promueven el movimiento de las capas de aguas calientes desde el fondo hacia la superficie del tanque; y estratificación térmica propias de climas calientes y áridos.

Los efectos ocasionados por acción de la temperatura pueden tener con secuencias importantes en tanques de sedimentación. Se ha observado que 1°C de diferencia entre la temperatura del influente de agua residual y la del agua contenida en el tanque, ocasiona la formación de corrientes de densidad. Los impactos por efecto de la temperatura dependerán del material que se desea remover y de sus características.

La elección de una tasa adecuada de carga superficial en metros cúbicos por metro cuadrado de área superficial por día, $m^3/m^2/d$, depende del tipo de material en suspensión a sedimentar.

Cuando el área del tanque se ha determinado, el tiempo de retención de éste depende de la profundidad del agua. Las tasas de carga superficial recomendadas proporcionan tiempos de retención entre 2.0 y 2.5 horas, con base en el gasto medio de diseño.

El efecto que la tasa de carga superficial y el tiempo de retención ejercen sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos y de otros factores.

Es necesario enfatizar que las tasas de carga superficial deben ser lo suficientemente bajas como para asegurar su desempeño satisfactorio bajo condiciones de gasto máximo extraordinario.

2.6. CRITERIOS DE DISEÑO

La planta de tratamiento de Agua Potable, actualmente, cuenta con la alimentación de bombas verticales en pozos de agua situados a los alrededores del Río Aguarico, los cuales llevan el agua cruda hasta la primera etapa en la planta que es la coagulación, floculación y sedimentación para luego dar lugar a la filtración de la misma en los seis tanques descritos anteriormente. La demanda diaria promedio de la planta es de 12624 m³ aproximadamente.

2.6.1. Base para el dimensionamiento de la red de transmisión

La capacidad de la red de transmisión está basada en los datos de dimensionamiento siguientes:

Tabla 2.4. Capacidad de la red de transmisión

Consumo máximo por hora	526 m ³
Nivel máximo del área	311 m.s.n.m.
Nivel de entrada al tanque elevado de agua potable	314 m.s.n.m.

Fuente: [3]

2.6.2. Gasto de diseño

Como la demanda varía de forma diaria y horaria es necesario obtener el gasto medio y por ende el gasto de diseño

$$Q_b = Q_m * \frac{24}{N}$$

Ec. 2.4

Q_b = Gasto de diseño

Q_m = Gasto medio diario

N = Horas de bombeo

2.6.3. Selección de diámetros

Se debe acotar lo siguiente: La velocidad a la cual el sistema con chorro de agua presenta ventajas propulsivas sobre un propulsor tradicional dependerá de la selección particular del tamaño del propulsor y del chorro de agua. Por tanto la selección del diámetro es un compromiso y una cuestión de criterios y experiencia del diseñador.

$$J = \alpha * L * Q^2$$

Ec. 2.5

J = Pérdida de carga total en la conducción

α = Constante de Hazen-Williams

L = Longitud del tramo

Q = Caudal

Calculando α de la fórmula de Hazen-Williams y con el valor de C según el material que se va utilizar podemos tener el diámetro de la tubería apropiada que podemos usar mediante las tablas de selección de diámetro.

Tabla 2.5. Valores del coeficiente C de Hazen-Williams para los distintos materiales, clase y estado de los tubos

Material, clase y estado del tubo c	C
Tuberías de plástico nuevas	150
Tuberías muy pulidas (fibrocemento)	140
Tuberías de hierro nuevas y pulidas	130
Tuberías de hormigón armado	128
Tuberías de acero nuevas	120
Tuberías de palastro roblonado nuevas	114
Tuberías de acero usadas	110
Tuberías de fundición nuevas	100
Tuberías de palastro roblonado usadas	97
Tuberías de fundición usadas	90-80

Fuente: [16]

Pre-dimensionado por fórmula de Bresse:

$$N = 24 \text{ horas} ; D = K4 * \sqrt{Q} ; K4 = 0.7 - 1.6$$

$$N < 24 \text{ horas} \quad ; \quad D = 1.3 * \lambda^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Q} \quad ; \quad \lambda = \frac{N}{24}$$

Ec. 2.6

λ = Número de horas de bombeo al día

D = Diámetro interior aproximado [m]

Q = Caudal de bombeo [m³/s]

Potencia requerida por equipo de bombeo:

$$P = \frac{Q * H * \rho}{76 * \varepsilon}$$

Ec. 2.7

P = Potencia [HP]

Q = Caudal [m³/s]

H = Altura total de carga [m]

ρ = Peso unitario del agua [1000 Kg/m³]

ε = Eficiencia [%]

2.6.4. Clase de tubería en función del material

La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están contruidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso. Los valores son determinados en mediciones tanto de laboratorio como en el campo.

No es significativa, como se puede ver a continuación, la variación de este parámetro es fundamental para el cálculo hidráulico por un lado, y para el buen desempeño de las obras hidráulicas por otro.

2.6.5. Clase de tubería en función de la presión

Presión de prueba en fábrica o presión de fábrica (PF): es aquella presión sobre la que se timbran y clasifican los tubos comerciales, que habrán de superar en fábrica sin

romperse ni acusar falta de estanqueidad.

- Línea presión dinámica
- Línea presión estática + efecto de golpe de ariete

Golpe de ariete: Sobre presión que se genera por el cambio de energía cinética a energía potencial.

A fin de disminuir la presión por golpe de ariete, se emplean algunos dispositivos tales como:

- Válvulas de alivio
- Chimeneas de equilibrio
- Cámaras de aire
- Válvulas de cierre lento

El agua cruda se toma de cinco pozos de sondeo localizados al margen izquierdo del río Aguarico (zona de las pirámides) a unos 1,5 Km de la planta de agua potable.

En los pozos de sondeo quedan instaladas cinco bombas sumergibles que impulsan el agua a la planta de agua potable a través de una tubería de transmisión común. El agua cruda se oxigena con aire atmosférico con miras a oxidar el hierro. Antes de la aeración se añadirá una pequeña cantidad de alumbre al agua con el fin de coagular el hierro y otros sólidos suspendidos antes de que el agua sea distribuida a los filtros de arena.

Las partículas (óxido de hierro y otras impurezas) se retendrán en la arena del filtro y el agua tratada pasa de los filtros al tanque de agua potable. Se ha previsto la dosificación de una cantidad pequeña de sosa al agua filtrada con el fin de ajustar el valor de pH y la alcalinidad.

También se añadirá una pequeña cantidad de cloro para desinfectar el agua antes de que se bombee a la red de transmisión.

Desde el tanque de agua tratada, el agua se bombea a la red de transmisión, que alimenta a las redes de distribución y al tanque de almacenamiento municipal de donde se distribuye a los consumidores.

El bombeo, la dosificación de productos químicos y el lavado por contracorriente de los filtros se controlan de forma automática. El análisis de la calidad de agua cruda y el ajuste necesario del tratamiento se realiza de forma manual.

El uso de las derivaciones de emergencia (bypass) del agua cruda se manda de forma manual y sólo deberán utilizarse en situaciones de emergencia, dado que la limpieza y desinfección subsiguiente de los tubos exige muchos recursos y mucho tiempo.

2.7. DISEÑO DE ELEMENTOS

2.7.1. El UPS.

2.7.1.1. Selección del UPS.

Al momento de la implementación del equipo, se presentó la necesidad de que los equipos de control permanezcan activos ante cortes de energía.

Si bien es cierto, se programó al PLC para guardar los datos que son ingresados en el HMI, además de los tiempos ya culminados e incluso la etapa del proceso, pero ante un corte de energía, la posición de los sensores de posición pueden variar debido a la ausencia de presión de aire en el sistema.

Por lo que se comprobó que, cuando existe cortes de energía hasta que funcione el generador de la planta, a veces las electroválvulas quedan activas con la poca presión de aire que permanece en el sistema, pero a veces no, porque el aire escapa en gran cantidad cuando está presente el proceso de soplado, y sin aire las electroválvulas vuelven a su posición inicial, equivocando a la misma programación del PLC y saltando procesos o incluso comenzando otros incorrectamente.

Por lo que, la memoria de datos en el PLC, resulta inútil en este proceso.

Así que se opta para el respaldo por ausencia de energía,.

Colocar un UPS, éste irá conectado al PLC, ante un corte de energía el UPS actuará y no dejará sin respaldo de energía al PLC dejándolo activo.

Se adiciona un relé de 220 VAC que se denomina energía pública, el cual está conectado directamente a la alimentación del tablero de control.

Cuando hay un corte de energía, el relé de energía pública que siempre está conectado a un NC, se abre, enviando una señal de advertencia al PLC, éste para todo el proceso de filtrado, en cualquier posición que esté, dejándolo inactivo y en condiciones iniciales, y automáticamente se coloca en el estado de ALARMA, y en este estado nadie puede manipular o controlar el proceso hasta que retorne la energía eléctrica.

Ya cuando vuelva la energía eléctrica el relé nuevamente se activa y envía la señal al PLC, éste cambia de estado a PARO, en el cual el operario tiene que verificar si todo está en orden y activar la opción AUTOMÁTICO, para volver al estado AUTOMÁTICO, y el proceso vuelva a condiciones normales.

Esta idea se implementó debido a la necesidad que con el antiguo sistema, cuando existía cortes de energía, los procesos se quedaban en cualquier etapa y ya vuelta la energía iniciaban en etapas erróneas y a veces encendían a los motores de las bombas de retro-lavado, las cuales son 6 de 30 HP, esta impresionante carga y con corriente de arranque sobrecargaba al generador y lo apagaba. Un dolor de cabeza para el operador, pero con este nuevo proceso se lo elimina.

Se opta adquirir un UPS de 60AH, ya que es el único que se pudo adquirir de menor respaldo en el mercado en la compra, con una corriente de carga del PLC de 400 mA es más que suficiente para el respaldo de energía hasta que retorne la corriente al generador.

2.7.2. Designación de las entradas digitales del PLC

Todas las señales de los elementos de nivel bajo, nivel alto y nivel muy alto; finales de carrera de las válvulas de agua cruda, agua potable, drenado y sopladores tanto abiertos como cerrados; arranque de motor del soplador y arranque de los motores de lavado son los que designaremos a las entradas del PLC que las detallaremos en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Designación de las entradas digitales del PLC

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
1	I0.0	Low level Agua potable	Señal del sensor de nivel del tanque de agua potable
2	I0.1	Low aire presión	Señal del sensor de presión de aire
3	I0.2	Thermal fault soplador	Señal del relé térmico del soplador
4	I0.3	Thermal fault bomba de lavado	Señal del relé térmico del motor de lavado
5	I0.4	High level F1	Señal del sensor de alto nivel del filtro 1
6	I0.5	Start level F1	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 1
7	I0.6	Ref F2	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 1
8	I0.7	High level F2	Señal del sensor de alto nivel del filtro 2
9	I1.0	Start level F2	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 2
10	I1.1	Ref F2	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 2
11	I1.2	Run soplador	Señal del arranque del motor del soplador
12	I1.3	Run bomba de lavado	Señal del arranque del motor de la bomba de lavado
13	I2.0	High level F3	Señal del sensor de alto nivel del filtro 3
14	I2.1	Start level F3	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 3
15	I2.2	Ref F3	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 3
16	I2.3	High level F4	Señal del sensor de alto nivel del filtro 4
17	I2.4	Start level F4	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 4
18	I2.5	Ref F4	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 4
19	I2.6	High level F5	Señal del sensor de alto nivel del filtro 5
20	I2.7	Start level F5	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 5

CONTINÚA 

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
21	I3.0	Ref F5	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 5
22	I3.1	High level F6	Señal del sensor de alto nivel del filtro 6
23	I3.2	Start level F6	Señal del sensor de nivel de inicio del ciclo del filtro 6
24	I3.3	Ref F6	Señal de referencia de los sensores de nivel del filtro 6
25	I3.4	Val abierta agua cruda F1, F2, F3	Señal del sensor de apertura de la válvula de agua cruda del filtro 1, 2 y 3
26	I3.5	Val cerrada agua cruda F1, F2, F3	Señal del sensor de cierre de la válvula de agua cruda del filtro 1, 2 y 3
27	I3.6	Val abierta agua pot F1, F2, F3	Señal del sensor de apertura de la válvula de agua potable del filtro 1, 2 y 3
28	I3.7	Val cerrada agua pot F1, F2, F3	Señal del sensor de cierre de la válvula de agua potable del filtro 1, 2 y 3
29	I4.0	Val abierta aire F1, F2, F3	Señal del sensor de apertura de la válvula de aire del filtro 1, 2 y 3
30	I4.1	Val cerrada aire pot F1, F2, F3	Señal del sensor de cierre de la válvula de aire del filtro 1, 2 y 3
31	I4.2	Val abierta ret agua F1, F2, F3	Señal del sensor de apertura de la válvula de retro lavado del filtro 1, 2 y 3
32	I4.3	Val cerrada ret agua F1, F2, F3	Señal del sensor de cierre de la válvula de retro lavado del filtro 1, 2 y 3
33	I4.4	Val abierta agua cruda F4, F5, F6	Señal del sensor de apertura de la válvula de agua cruda del filtro 4, 5 y 6
34	I4.5	Val cerrada agua cruda F4, F5, F6	Señal del sensor de cierre de la válvula de agua cruda del filtro 4, 5 y 6
35	I4.6	Val abierta agua pot F4, F5, F6	Señal del sensor de apertura de la válvula de agua potable del filtro 4, 5 y 6
36	I4.7	Val cerrada agua pot F4, F5, F6	Señal del sensor de cierre de la válvula de agua potable del filtro 4, 5 y 6
37	I5.0	Val abierta aire F4, F5, F6	Señal del sensor de apertura de la válvula de aire del filtro 4, 5 y 6
38	I5.1	Val cerrada aire pot F4, F5, F6	Señal del sensor de cierre de la válvula de aire del filtro 4, 5 y 6
39	I5.2	Val abierta ret agua F4, F5, F6	Señal del sensor de apertura de la válvula de retro lavado del filtro 4, 5 y 6
40	I5.3	Val cerrada ret agua F4, F5, F6	Señal del sensor de cierre de la válvula de retro lavado del filtro 4, 5 y 6

Elaborado por: Deivid Gaona

2.7.3. Designación De Las Salidas Digitales Del PLC

De la misma manera se detallan en la Tabla 2.7 las señales de salida que usaremos para activar los motores de lavado, apertura y cierre tanto de válvulas de agua cruda,

válvulas de agua potable, válvulas de lavado, y visualizaciones de las válvulas en el tablero.

Tabla 2.7. Designación de las salidas digitales del PLC

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
1	Q0.0	Bomba de lavado	Activa el arranque del motor de la bomba de lavado
2	Q0.1	Bomba de aire	Activa el arranque del motor de la bomba de aire
3	Q0.2	Válvula de agua cruda NA F1	Activa la válvula de agua cruda del filtro 1
4	Q0.3	Válvula de agua potable NA F1	Activa la válvula de agua potable del filtro 1
5	Q0.4	Válvula de agua aire NA F1	Activa la válvula de aire del filtro 1
6	Q0.5	Válvula de agua lavado NA F1	Activa la válvula de lavado del filtro 1
7	Q0.6	Válvula de agua cruda NA F2	Activa la válvula de agua cruda del filtro 2
8	Q0.7	Válvula de agua potable NA F2	Activa la válvula de agua potable del filtro 2
9	Q1.0	Válvula de agua aire NA F2	Activa la válvula de aire del filtro 2
10	Q1.1	Válvula de agua lavado NA F2	Activa la válvula de lavado del filtro 2
11	Q2.0	Válvula de agua cruda NA F3	Activa la válvula de agua cruda del filtro 3
12	Q2.1	Válvula de agua potable NA F3	Activa la válvula de agua potable del filtro 3
13	Q2.2	Válvula de agua aire NA F3	Activa la válvula de aire del filtro 3
14	Q2.3	Válvula de agua lavado NA F3	Activa la válvula de lavado del filtro 3
15	Q2.4	Válvula de agua cruda NA F4	Activa la válvula de agua cruda del filtro 4
16	Q2.5	Válvula de agua potable NA F4	Activa la válvula de agua potable del filtro 4
17	Q2.6	Válvula de agua aire NA F4	Activa la válvula de aire del filtro 4
18	Q2.7	Válvula de agua lavado NA F4	Activa la válvula de lavado del filtro 4
19	Q3.0	Válvula de agua cruda NA F5	Activa la válvula de agua cruda del filtro 5
20	Q3.1	Válvula de agua potable NA F5	Activa la válvula de agua potable del filtro 5
21	Q3.2	Válvula de agua aire NA F5	Activa la válvula de aire del filtro 5
22	Q3.3	Válvula de agua lavado NA F5	Activa la válvula de lavado del filtro 5

CONTINÚA 

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
23	Q3.4	Válvula de agua cruda NA F6	Activa la válvula de agua cruda del filtro 6
24	Q3.5	Válvula de agua potable NA F6	Activa la válvula de agua potable del filtro 6
25	Q3.6	Válvula de agua aire NA F6	Activa la válvula de aire del filtro 6
26	Q3.7	Válvula de agua lavado NA F6	Activa la válvula de lavado del filtro 6
27	Q4.0	Secuencia F1	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 1
28	Q4.1	TV válvula agua cruda F1	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 1
29	Q4.2	TV válvula agua potable F1	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 1
30	Q4.3	TV válvula aire F1	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 1
31	Q4.4	TV válvula lavado F1	Se visualiza en tablero la señal de lavado del filtro 1
32	Q4.5	Secuencia F2	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 2
33	Q4.6	TV válvula agua cruda F2	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 2
34	Q4.7	TV válvula agua potable F2	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 2
35	Q5.0	TV válvula aire F2	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 2
36	Q5.1	TV válvula lavado F2	Se visualiza en tablero la señal de lavado del filtro 2
37	Q5.2	Secuencia F3	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 3
38	Q5.3	TV válvula agua cruda F3	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 3
39	Q5.4	TV válvula agua potable F3	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 3
40	Q5.5	TV válvula aire F3	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 3
41	Q5.6	TV válvula lavado F3	Se visualiza en tablero la señal de lavado del filtro 3
42	Q5.7	Secuencia F4	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 4
43	Q6.0	TV válvula agua cruda cerrada F4	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 4 cuando la válvula está cerrada
44	Q6.1	TV válvula agua cruda abierta F4	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 4 cuando la válvula está abierta
45	Q6.2	TV válvula agua potable cerrada F4	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 4 cuando la válvula está cerrada

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
46	Q6.3	TV válvula agua potable abierta F4	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 4 cuando la válvula está abierta
47	Q6.4	TV válvula agua aire abierta F4	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 4 cuando la válvula está abierta
48	Q6.5	TV válvula agua aire cerrada F4	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 4 cuando la válvula está cerrada
49	Q6.6	TV válvula agua lavado abierta F4	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 4 cuando la válvula está abierta
50	Q6.7	TV válvula agua lavado cerrada F4	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 4 cuando la válvula está cerrada
51	Q7.0	Secuencia F5	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 5
52	Q7.1	TV válvula agua cruda cerrada F5	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 5 cuando la válvula está cerrada
53	Q7.2	TV válvula agua cruda abierta F5	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 5 cuando la válvula está abierta
54	Q7.3	Secuencia F6	Se visualiza en el tablero la señal de secuencia 5
55	Q7.4	TV válvula agua cruda cerrada F6	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 6 cuando la válvula está cerrada
56	Q7.5	TV válvula agua cruda abierta F6	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 6 cuando la válvula está abierta
57	Q7.6	TV válvula agua potable cerrada F6	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 6 cuando la válvula está cerrada
58	Q7.7	TV válvula agua potable abierta F6	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 6 cuando la válvula está abierta
59	Q8.0	TV válvula agua potable cerrada F5	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 5 cuando la válvula está cerrada
60	Q8.1	TV válvula agua potable abierta F5	Se visualiza en tablero la señal de agua potable del filtro 5 cuando la válvula está abierta
61	Q8.2	TV válvula agua aire abierta F5	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 5 cuando la válvula está abierta
62	Q8.3	TV válvula agua aire abierta F6	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 5 cuando la válvula está abierta
63	Q8.4	TV válvula agua aire cerrada F6	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 5 cuando la válvula está cerrada
64	Q8.5	TV válvula agua lavado abierta F6	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 6 cuando la válvula está abierta
65	Q8.6	TV válvula agua lavado cerrada F6	Se visualiza en tablero la señal de agua cruda del filtro 6 cuando la válvula está cerrada
66	Q9.0	TV válvula agua aire cerrada F5	Se visualiza en tablero la señal de aire del filtro 5 cuando la válvula está cerrada
67	Q9.1	TV válvula agua lavado abierta F5	Se visualiza en tablero la señal de lavado del filtro 5 cuando la válvula está abierta
68	Q9.2	TV válvula agua lavado cerrada F5	Se visualiza en tablero la señal de lavado del filtro 5 cuando la válvula está cerrada

CONTINÚA 

No.	PLC	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN
69	Q9.3	TV alto nivel F1	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 1
70	Q9.4	TV alto nivel F2	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 2
71	Q9.5	TV alto nivel F3	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 3
72	Q9.6	TV alto nivel F4	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 4
73	Q9.7	TV alto nivel F5	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 5
74	Q10.0	TV alto nivel F6	Se visualiza en tablero la señal de alto nivel de agua en el filtro 6

Realizado por: Deivid Gaona

TV: Tablero de Visualización; (Indicadores luminosos en tablero de control) y FX significa el Filtro donde X es el número del filtro.

Tabla 2.8. Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control

No.	ELEMENTOS	DESIGNACIÓN EN PLANOS ELÉCTRICOS	DATOS TÉCNICOS
1	Disyuntor	F1	10 A bipolar
1	Disyuntor	F10	10 A bipolar
1	Fusible	F2	5 A
1	Fusible	F3	1 A
18	Relés de control	C1, ...C18	1NA/1NC bobina 24VDC
8	Relés configurable a sensor de nivel SIEMENS	LS1...LS8	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
4	Relés configurable a sensor de nivel	LS9...LS12	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
1	Fuente alimentación LOGO	de T1	240VAC/24 VDC 2.5 A
1	Controlador SIEMENS	PLC	S71214 AC/DC/DC 12 entradas, 8 salidas
6	Módulos expansión salidas	de SB3...SB8	Relay 8 salidas
1	Módulo expansión	de SB1	DC/DC 16 DI/16DQ
1	Switch industrial	Ethernet -	4 puertos, 24VDC
1	UPS		60 VA, entrada 120VAC salida 24VDC

Realizado por: Deivid Gaona

2.7.4. Relés de control

2.7.4.1. Estudio de factibilidad y ahorro de costos de equipos

El número de salidas necesarias para la implementación del proceso de filtrado es de 86. Esto equivale a adquirir 11 módulos de salidas digitales lo cual no sólo incrementa el costo del proyecto en una magnitud excesiva, sino que, el PLC S71200 sólo es capaz de poseer 8 módulos entre entradas y salidas por lo cual, no nos serviría este equipo y se necesitaría uno de mayor capacidad como el S7300. Se realiza un análisis del proceso y de la necesidad e importancia de las salidas necesarias para los equipos. El análisis del tablero de visualización sólo del filtro uno, es el siguiente:

2.7.4.2. Tablero de visualización

Para poder saber qué válvulas están abiertas y cerradas se necesitan señales luminosas que indiquen el comportamiento de éstas, para ello utilizaremos un tablero de visualización para saber el estado de las válvulas durante el proceso de filtrado.

Tabla 2.9. Tablero de visualización sólo del filtro 1

No. DE SEÑALES	ACTIVIDAD
1	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de agua cruda en el filtro 1
2	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de agua cruda en el filtro 1
3	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de agua potable en el filtro 1
4	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de agua potable en el filtro 1
5	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de soplado en el filtro 1
6	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de soplado en el filtro 1
7	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de retro lavado en el filtro 1
8	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de retro lavado en el filtro 1
7	Enciende la señalización que indica que inicio el proceso
8	Enciende la señalización de alarma de alto nivel

Realizado por: Deivid Gaona

Como podemos ver en la Tabla 2.9, en el número de señal 1 y 2, una no puede actuar al mismo tiempo que la otra ya que, la válvula puede estar o sólo abierta o sólo cerrada, así que, las dos señales pueden ser reemplazadas por un relé NA/NC con el terminal común, implementando dos circuitos, para el NC estará conectado a la lámpara ROJA y el NA estará conectado a la lámpara VERDE.

Esto quiere decir que, cuando la válvula esté inactiva, el PLC no enviará señal al relé, activando la luz de señalización roja por el normalmente cerrado del relé.

Pero si se activa la válvula, el PLC enviará la señal de activación al relé, cambiando la señal del normalmente abierto a cerrado, activando la luz de señalización verde de este circuito, la roja se apaga.

Así que por lo previsto se implementará 16 relés de control, para activar 32 señales que van al tablero de visualización, con esto es posible reducir el número de módulos del PLC, a seis, los cuales son posibles implementar.

El sistema eléctrico a implementar se vuelve más complicado, pero se abarata costos ya que los 16 relés llegan a ser más conveniente que los costos de los módulos de salidas e incluso evita la posibilidad de cambiar a un S7300, mucho más costoso para un proceso no tan complejo.

Así que queda establecido la necesidad de implementar en el proceso 16 relés, los cuales en los manuales de Siemenes, se encuentran un modelo en especial, el relé de control 24 VDC, el cual resulta barato, y de dimensiones pequeñas lo que nos ayudaría a ahorrar espacio en el tablero de control.

Además de los 16 relés de control, se adicionarán 2 más, ya que estos activarán a las bombas de retro lavado y soplado que necesitan 600 mA cada una.

Como modo de protección serán direccionadas estas señales a los relés que tienen mayor capacidad que las salidas del PLC. Número final de relés de control: 18 unidades

2.7.5. Estudio de cargas en el sistema de control

El sistema eléctrico debe contar con protecciones contra sobrecarga y cortocircuito, para proteger a los equipos, por lo cual se realiza un cálculo de las cargas que serán implementadas en el tablero de control el cual deberán proteger a dichos equipos.

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Según el manual del S71200 anexo A, especificaciones técnicas, nos menciona las cargas del controlador S71200, pantalla táctil y módulos.
- Se verifica por medio de un amperímetro que la carga de cada electroválvula es de: 120 mA a 24 VDC.
- Corriente absorbida por el relé de control según el manual de Siemens de las características técnicas de dispositivos de control y maniobra es de 60 mA con un voltaje de alimentación de 24VDC.
- Corriente absorbida por el relé de nivel según el manual de Siemens de las características técnicas de dispositivos de control y maniobra es de 80 mA a 240 VAC.
- Existen seis bobinas que activan a contactores para motores de 30 HP, cada bobina absorbe 500 mA a 240 VAC

Con estos datos, se divide las cargas que serán asumidas por cada equipo y se toma de referencia para realizar el cálculo, dimensionamiento y selección de las protecciones y equipos de alimentación de cada uno.

Tabla 2.10. Cargas que serán asumidas por cada equipo

ELEMENTO	CORRIENTE DE CARGA	No. DE ELEMENTOS	CARGA ASUMIDA
S71214 AC/DC/relé solo CPU	400 mA máximo	1	A la red de 220VAC
Módulo S1221	4 mA por entrada utilizada	1 x 16 entradas	A la CPU S71200
Módulo S1222	11 mA por salida utilizada	6 x 8	A la CPU S71200

CONTINÚA 

ELEMENTO	CORRIENTE DE CARGA	No. DE ELEMENTOS	CARGA ASUMIDA
Switch Ethernet	220 mA	1	A la fuente 24VDC
KTP600	400 mA máximo	1	A la fuente 24VDC
Electroválvulas	120 mA máximo	48	A la fuente 24VDC
Relé de control	60 mA	18	A la fuente 24VDC
Relé de control de nivel	80 mA	12	A la red de 220VAC
Bobinas de contactores de bombas	500 mA	6	A la red de 220VAC
Fuente Logo	1,22 A	1	A la red de 220VAC

Elaborado por: Deivid Gaona

En la Tabla 2.10 se identifica cada elemento y la carga, así como el número que existen en el sistema eléctrico por lo cual se procederá al cálculo del cargas y seleccionar a la fuente de 24 VDC y después las protecciones eléctricas para el tablero de control.

2.7.6. Fuente de alimentación (Logo 24 VDC/2.5 A)

Es necesario requerir de una fuente DC de 24 V ya que, las electroválvulas del sistema de filtrado son de 24 VDC

Además que se tiene planificado implementar 18 relés de control que serán de 24VDC.

Para lo cual se procede a realizar el cálculo de cargas para seleccionar la capacidad de la fuente necesaria a seleccionar.

- Corriente absorbida por los relés de control sería:

$$I_{c1} = 60 \text{ mA} * 18 = 1.08 \text{ A}$$

- Solenoides de electroválvulas activos:

A pesar de ser 48 solenoides de las electroválvulas, sólo permanecen activas al mismo tiempo 6 que son:

- Válvula de agua cruda
- Válvula de agua potable
- Válvula de retro lavado
- Válvula de Soplado
- Válvula de bomba de soplado
- Válvula de bomba de lavado

Así que el valor de corriente de las electroválvulas es:

$$I_{c2} = 6 \times 120 \text{ mA} = 720 \text{ mA}$$

La tabla de valores queda especificada de la siguiente forma:

Tabla 2.11. Valores Fuente logo

FUENTE LOGO	
DESCRIPCIÓN	CARGA
KTP600	400 mA
Switch Ethernet	220 mA
Relés de control	1.08 A
Electroválvulas	0.72 A
Total	2.42 A

Elaborado por: Deivid Gaona

La suma total de todas las cargas que irán conectadas a la fuente de 24 VDC es de 2.42 A. Éste es el valor máximo de cargas en DC que se necesita.

En stock de la marca SIEMENS, tenemos una fuente LOGO de 2.5 A, la cual será seleccionada para el diseño e implementación de este equipo.

2.7.7. Protección principal (Disyuntor F1 de 10 A bipolar)

El disyuntor bipolar de 10 A, se escoge del siguiente calculo eléctrico:

$$I_T = I_{controlador} + I_{reles} + I_{Fuente} + I_{Contactores}$$

Ec. 2.8

- La corriente de los módulos, es tomada del mismo PLC S71214 así que se excluye, además que, la corriente del Switch y del KTP600 es tomada de la fuente logo, así que también no se toma en cuenta. La corriente total absorbida por los controladores es de: 400 mA
- Corriente absorbida por el relé de nivel según el manual de siemens es:

$$I_{c3} = 80 \text{ mA} * 12 = 0.96 \text{ A}$$

- La carga de seis bobinas de contactores que activan a seis motores de 60 HP para las tres bombas de retro-lavado, una bomba de agua cruda, una de agua potable y un compresor tienen una carga AC de:

$$I_{c4} = 500 \text{ mA} * 6 = 3 \text{ A}$$

- La carga de la fuente logo en su máxima según el manual de las características de la FUENTE LOGO SIEMENS es de:

$$I_{c5} = 1.22 \text{ A}$$

Tabla 2.12. Red de alimentación

De la red de alimentación	
DESCRIPCIÓN	CARGA
CPU S71214	400 mA
Relés de nivel	0.96 A
Fuente Logo	1.22 A
Contactores bombas	3 A
Total	5.58 A

Elaborado por: Deivid Gaona

Reemplazando en la Ecuación 2.8 se tiene el resultado final de:

$$I_T = 0.4 A + 0.96 A + 1.22 A + 3 A = 5.58 A$$

Se escoge la protección principal con un disyuntor de 10 A bipolar, por las cargas existentes en el sistema AC.

2.7.8. Protección de cargas DC (Fusible F2 de 5 A)

Se escoge un fusible de 5 A de activación rápida, para proteger las cargas en el circuito DC después de la salida de la fuente LOGO.

Se estipula este valor debido a que, la carga en DC es de 2.4 A, y se encuentra en el mercado esta protección después de 2 A.

2.7.9. Protección del PLC (Fusible F3 de 1 A)

Se escoge un fusible de 1 A de activación rápida para proteger al PLC S71200, según el manual, la carga existente es de 400 mA, por lo que se encuentra en el mercado un fusible de 1 A.

2.7.10. Protección del UPS

2.7.10.1. Disyuntor F10 de 10 A

El UPS dispone de una batería de 60 AH, cuando se descarga casi en su totalidad mide una corriente de 6 A para cargarse en medio minuto, después baja a 1 A al estar cargada totalmente.

De acuerdo a esto, se coloca una protección de disyuntor de 10 A, por posibles cortocircuitos.

2.8. ARQUITECTURA DEL DISEÑO

En la automatización, se diseña la implementación de un PLC S7-1200 el cual reemplazará casi en su totalidad, el control eléctrico que está instalado en el panel operador actual, disminuyendo los riesgos de fallas en el sistema, además de innovarlo, mejorando el diseño actual con uno más simple. Además, se utilizará un sistema HMI con el fin de visualizar las variables y modificarlas, y el control del proceso por medio de botones y elementos virtuales. Así se simplificará el complicado control en uno más sencillo, interactivo, con instrucciones y de fácil manejo. En la Figura 2.25 se establece un diagrama simplificado en el cual se sintetiza lo que se realizará en la implementación del sistema.

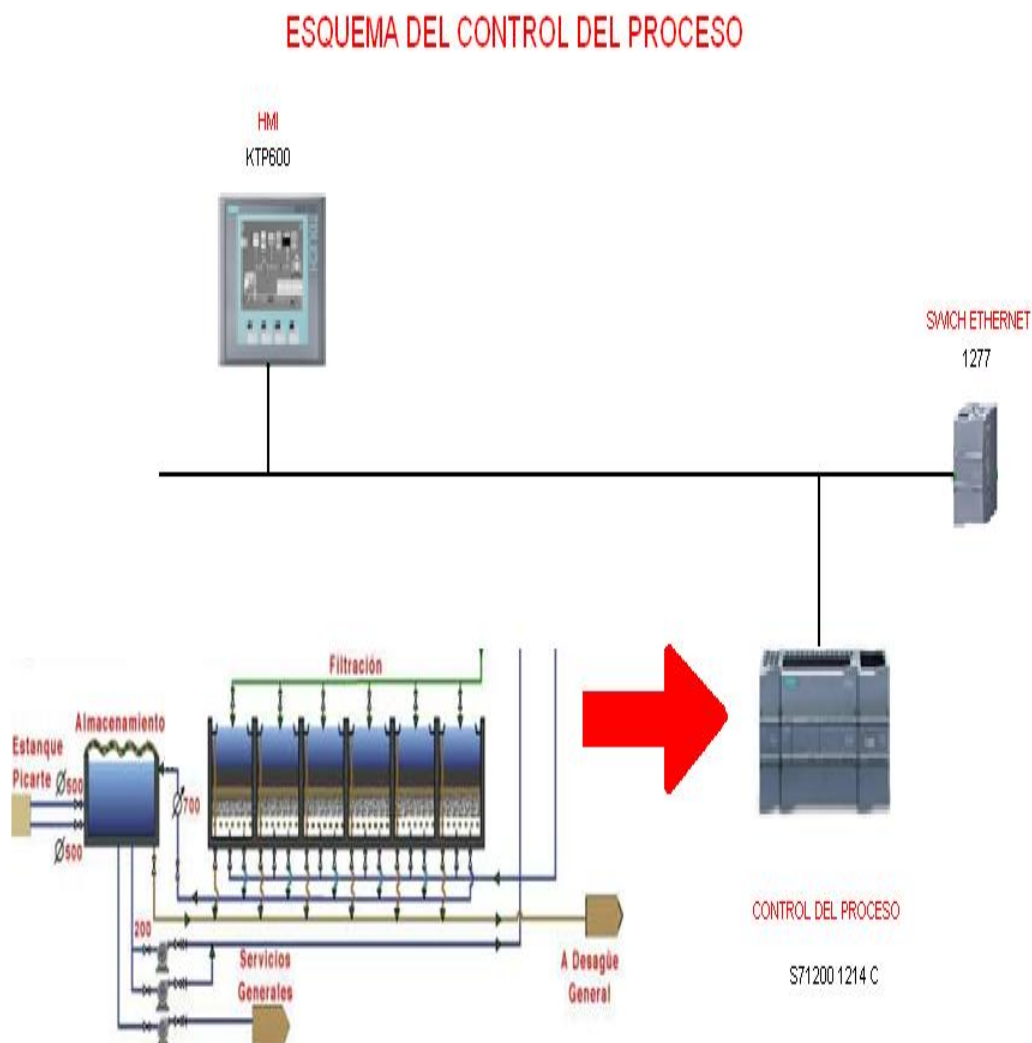


Figura 2.25. Esquema del control de proceso

Fuente: [3]

2.9. SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.9.1. Selección del PLC, módulos de señales y Switch ETHERNET

Para la selección de un controlador lógico programable hay que tomar en cuenta muchos aspectos, para los cuales, en este proyecto se tomó en cuenta los siguientes:

- Agentes nocivos en el ambiente de trabajo
- Complejidad del sistema
- El número de entradas y salidas requeridas.
- Tipo de señales requeridas para el sistema (sensores, transductores, actuadores, etc.)
- Necesidad de diferentes tipos de comunicación (Ethernet, MPI, PPI, Profibus, etc.)
- Costo.

2.9.1.1. Agentes nocivos en el trabajo

El ambiente extremo del oriente como la temperatura y la humedad, toma muy en cuenta que el tipo de controlador debe ser resistente a la temperatura.

También deberá resistir los problemas del agua condensada y la oxidación, por eso en el diseño se establecerá un gabinete eléctrico, el cual pueda proteger al controlador del clima y del ambiente de trabajo que estará expuesto.

2.9.1.2. Complejidad del sistema

El proceso cuenta con sensores de posición, de nivel, de presión, y actuadores como contactores que activan a motores de hasta 30 HP y por supuesto electroválvulas.

Este sistema cuenta con más de 60 entradas de señal y de aproximadamente 76 salidas para actuadores.

Con un proceso sumamente amplio se requiere un controlador de última tecnología que tenga la capacidad de abastecer estos requerimientos, además que los voltajes de entradas y salidas, se adapten a los que existen en el sistema eléctrico.

2.9.1.3. Tipo de señales requerida

Las señales requeridas con un voltaje de alimentación de 220V, se puede adaptar a cualquier controlador, pero el modo de comunicación existente del S7-1200 llama más la atención para los demás controladores, con un alcance de 150 metros ,es excelente para lo previsto en el futuro para este proceso el cual es, la adaptación SCADA y adquisición de datos. Por lo cual, se toma en cuenta este aspecto y se deja en cotización la decisión final para la elección del PLC.

2.9.1.4. Número de entradas y salidas

El sistema eléctrico al ser de gran capacidad ya que cubre un proceso de filtrado sumamente amplio con un número de 62 entradas de control y de 82 salidas.

El PLC a ser seleccionado no solo cumplirá este propósito de cubrir esta demanda, sino de apoyarse con un diseño eléctrico compacto, de fácil entendimiento y confiable.

Para la selección del PLC se ha tomado ya en cuenta todos los elementos que involucran en proceso, se deja designado la entrada y salida en el controlador y la función específica que cumple en dicho proceso.

2.9.2. Cotización

Se realiza la cotización de los diferentes tipos de PLC en la industria separándolos por marca para su respectivo análisis de factibilidad de costo.

2.9.2.1. En Siemens

Tabla 2.13. En Siemens

No.	CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
6	6ES7222-1HF30-0XB0	SM1222 Módulo de señal de 8DO tipo relé	155	930
1	6ES7223-1PL30-0XB0	SM1223 Módulo de señal de 16DI a 24VDC / 16DO tipo relé	405	405
1	6EP1332-1SH43	Fuente de poder LOGO Power. Entrada: 110/220VAC Salida: 24VDC 2.5A	90	90
1	6ES7214-1BE30-0XB0	CPU 1214C AC/DC/Relé, alimentación 110/220VAC. Incluye 14 DI a 24 VDC, 10 DO Tipo relé, 2 AI para voltaje, memoria 50KB. Con puerto de comunicación Profinet/ Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps.	565	565
1	6GK7277-1AA10-0AA0	CSM1277 Switch Industrial Ethernet no gestionado, formato SIMATIC S7-1200. Con 4 puertos RJ45 10/100Mbps	180	180
1	6AV6647-0AD11-3AX0	SIMATIC Basic Panel KTP600 PN, pantalla STN 256 colores, de 5,7", táctil y con 4 teclas de función. Con Interfaz PROFINET / Industrial Ethernet.	1080	1080
			Subtotal	3250
			Total	3640

Elaborado por: Deivid Gaona

2.9.2.2. Schneider Electric

Tabla 2.14. Schneider Electric

No.	CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
1	1	Terminal Táctil 5.7" QVGA, 65536 colores TFT. Puerto Ethernet	1350	1350
1	TWDLCA A40DRF	TWIDO con voltaje de alimentación 100 a 240 VAC, 24 entradas digitales y 14 Relé salidas	956,55	956,55
1	TM2DMM 24DRF	Módulo de 16 entradas digitales y 8 salidas	283,92	283,92
3	M2DRA16 RT	Módulo de 16 salidas digitales	294,89	884,67

CONTINÚA 

No.	CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
1	ABL8RE M24030	Fuente de alimentación monofásica a 24VDC 3 A	255,94	255,94
1	499TWD0 1100	Bridge Serial a Ethernet para todos los controladores Twido	307,47	307,47
			Subtotal	3738,55
			Total	4187,18

Elaborado por: Deivid Gaona

No solo por los precios es favorable los equipos de la marca SIEMENS, sino por el grado de IP, además de la confiabilidad y que para el S71200 la comunicación Ethernet ya viene incluida (por eso abarata el costo), por lo cual sin más que deducir, se escoge el S71200 y sus controladores para la implementación de dicha automatización.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. IMPLEMENTACIÓN

3.1.1. Estudio del proceso de filtrado

Inicialmente, el proceso de filtrado estaba implementado por medio de un control electromecánico, con más de 100 relés de control, 20 temporizadores y 12 sensores de nivel, este sistema sumamente amplio, posee muchos puntos débiles para posibles fallas en el sistema eléctrico, hallar dicha falla, sería muy complicado y de largo tiempo de espera para su reparación.

3.1.2. Importancia de la implementación

La importancia de la implementación del proyecto de automatización radica varios puntos:

- Reducir las posibles fallas de operación por la complejidad del proceso.
- Tener el control del proceso en un controlador programable para poseer la capacidad de modificar o realizar cambios en el proceso de una manera fácil, sencilla y rápida.
- Reducir las posibles averías de los equipos en un 99 por ciento, ya que, solo un equipo (PLC) tendrá control del proceso y no, un conjunto de relés, temporizadores, etc.
- Implementar un sistema moderno actual y robusto a la planta de agua potable.
- Implementar un control de tiempos de funcionamiento de cada componente para programar procesos de mantenimiento preventivos por tiempo.

3.2. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

3.2.1. Descripción del proceso del filtrado

EL proceso de filtrado de agua potable está compuesto en etapas, las cuales, son las mismas para cada uno de los seis filtros existentes. Las etapas del proceso de filtración son:

- Llenado del filtro.
- Señal de inicio del proceso de filtro por el nivel de agua.
- Cierre de dosificación de agua cruda
- Cierre de dosificación de agua potable
- Apertura de aire a presión
- Apertura del retro lavado con agua potable
- Apertura de la dosificación del agua potable
- Apertura de la dosificación del agua cruda

Además que posee un sistema de alarmas del proceso de filtrado:

- Alto nivel de llenado de filtro
- Sobrecarga en motores de retro lavado
- Sobrecarga en el compresor
- Falla de válvulas de cada ciclo

La implementación de este proceso se analiza por medio del diagrama de bloques que se presenta a continuación:

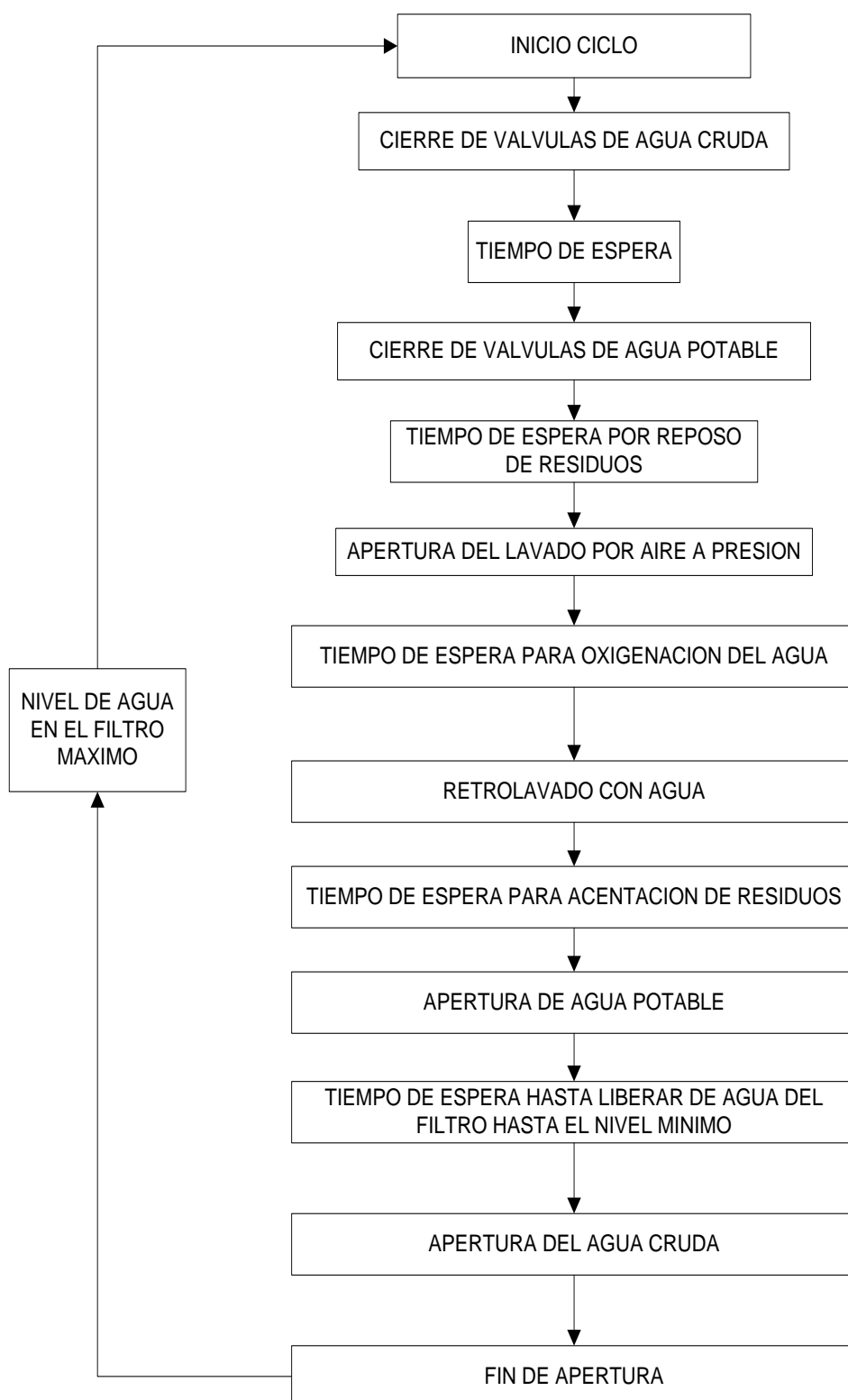


Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de filtrado

Elaborado por: Deivid Gaona

3.3. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

Para poder iniciar la programación, se escoge las diferentes opciones que presenta en la ventana principal del software STEP 7 BASIC 11.0.

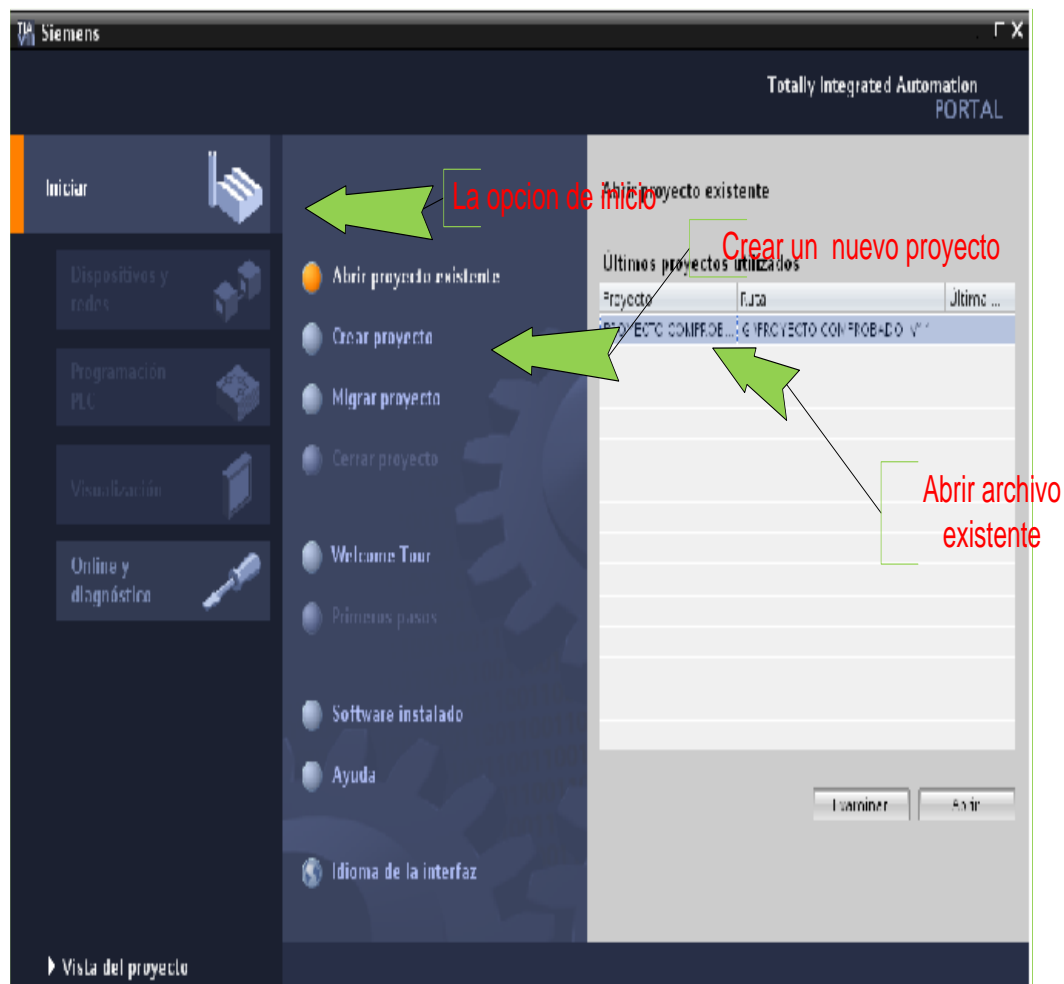


Figura 3.2. Ventana principal del software STEP 7 BASIC 11.0

Fuente: Software Siemens

Al crear un nuevo proyecto, se coloca el nombre a conveniencia del programador, después de esto, se despliega la ventana INICIAR, donde se podrá escoger el dispositivo a ser programado (HMI, PLC) y las configuraciones del hardware en el programa.

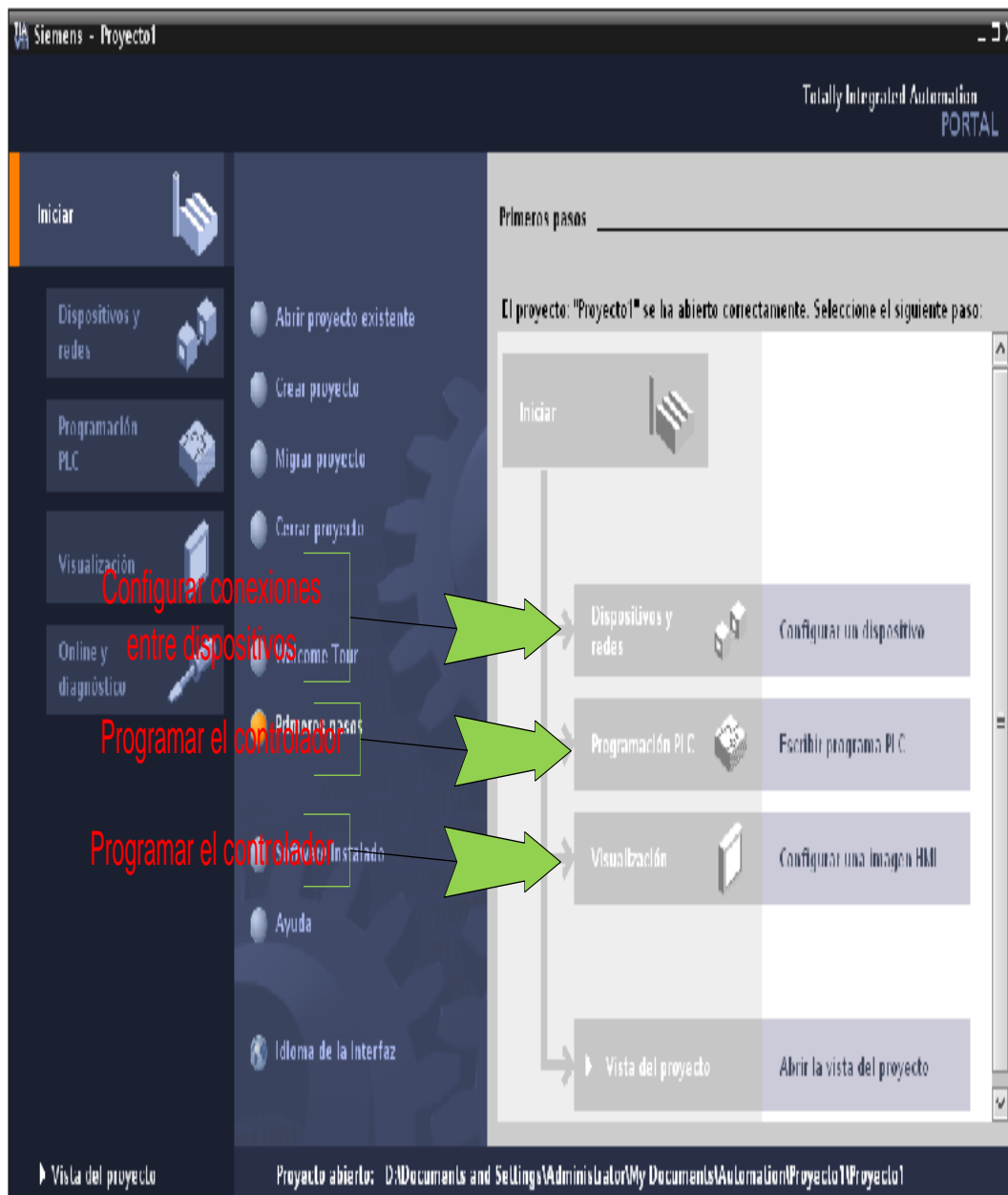


Figura 3.3. Ventana iniciar

Fuente: Software Siemens

3.3.1. Configuración del dispositivo HMI

Cuando se crea un nuevo dispositivo HMI, se puede escoger en la ventana de HMI, todos los equipos disponibles dependiendo el tipo.

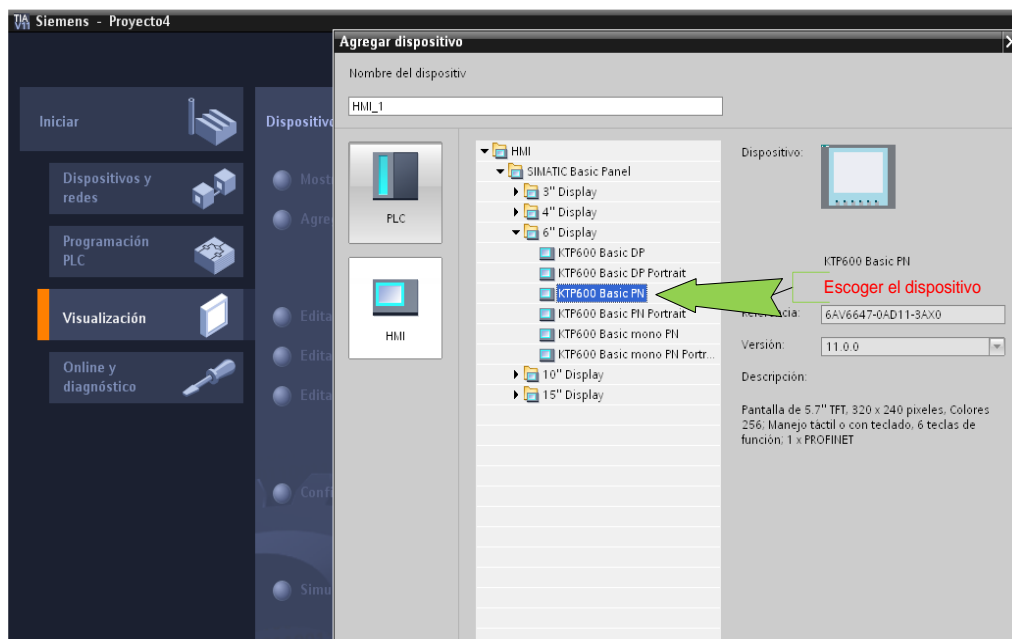


Figura 3.4. Ventana de HMI

Fuente: Software Siemens

Seleccionamos el dispositivo HMI que disponemos.

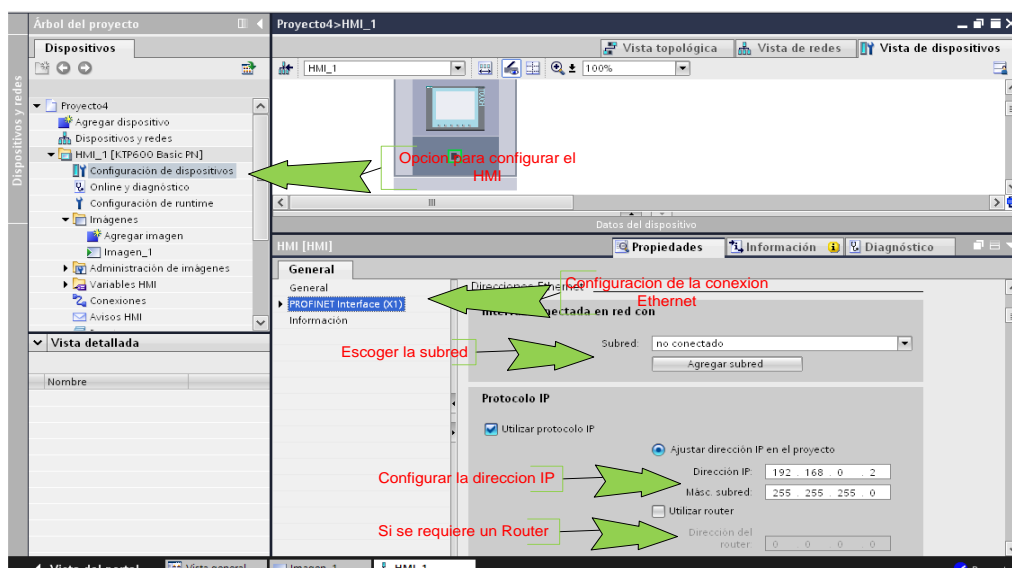


Figura 3.5. Ventana de HMI

Fuente: Software Siemens

Ya creado el dispositivo, se procede a configurar al dispositivo, en la ventana árbol de proyecto, se escoge la opción configuración de dispositivo, después de esto, escogido el HMI, se coloca en Profinet donde se despliegan las funciones:

Subred: Se puede escoger las conexiones que ya fueron configuradas en el proyecto.

Ajustar dirección IP Se configura la dirección IP de la comunicación Ethernet que estará designado el equipo.

Ubicar Router: De utilizar router o switch Ethernet, se puede configurar la dirección.

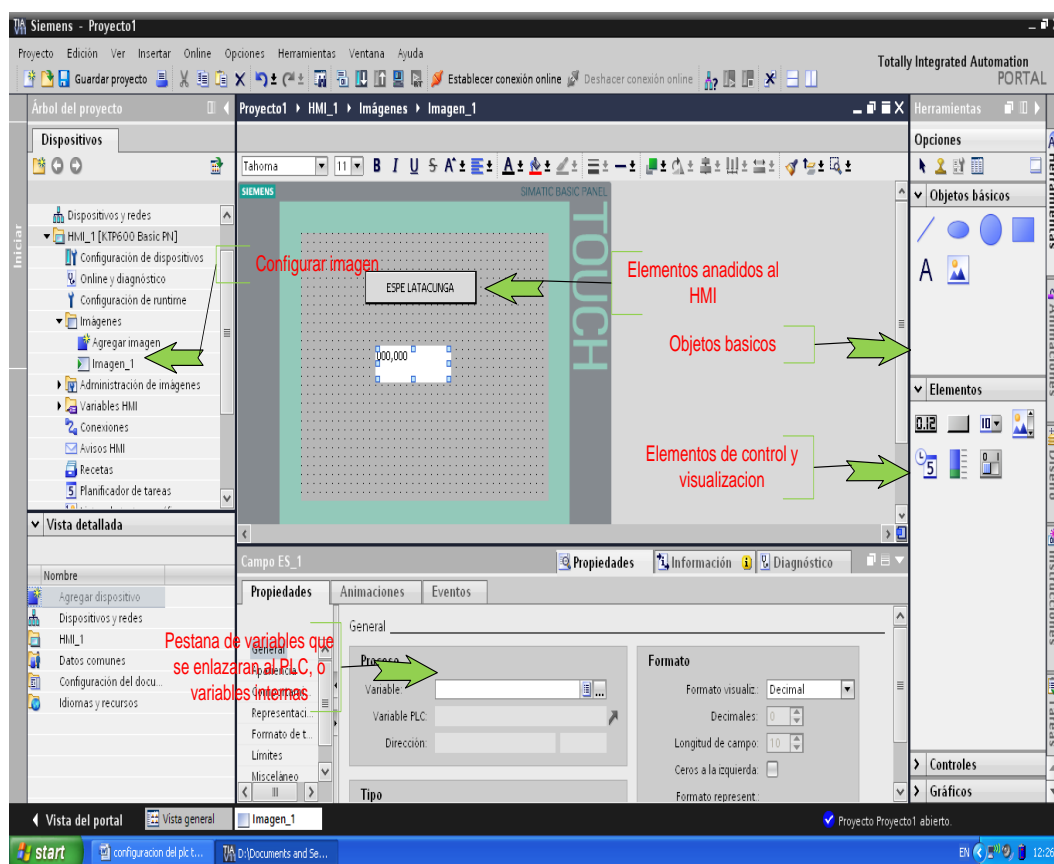


Figura 3.6. La ventana árbol de proyecto

Fuente: Software Siemens

Después de configurar la comunicación, en el árbol de proyectos se puede escoger la opción Imágenes, para comenzar a configurar el HMI.

En esta ventana se presentan los elementos que se podrán agregar al HMI y servirán para interactuar con el programa.

Los objetos básicos, sirven como bosquejos, o entornos para darle formas y fondos al HMI.

Los elementos de control, como Campo E/S, botón, barra, etc., son elementos que nos permiten controlar o visualizar variables tanto del controlador o internas del HMI, todo depende de cómo serán configurados en el HMI.

En la barra de propiedades de cada elemento, se puede enlazar la variable que será modificado su valor dependiendo del cambio que se la da a dicho elemento.

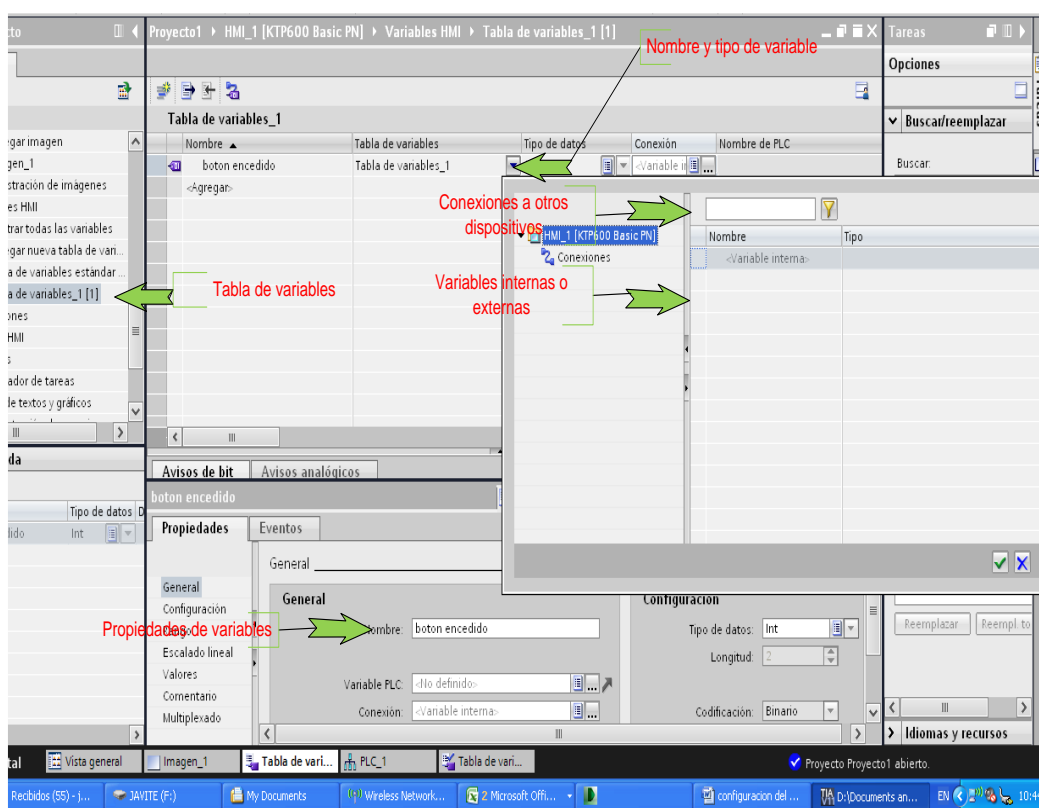


Figura 3.7. La ventana de Variables HMI

Fuente: Software Siemens

La configuración de la variable se realiza directamente en la pestaña de propiedades o en la tabla de variables. En esta ventana, se puede visualizar todas las variables que existen en el proceso, tipo que es (Word, Dword, Int, etc.), y si es una variable externa de otro dispositivo como un PLC, la conexión que tiene o simplemente como una variable interna.

3.3.2. Configuración del PLC

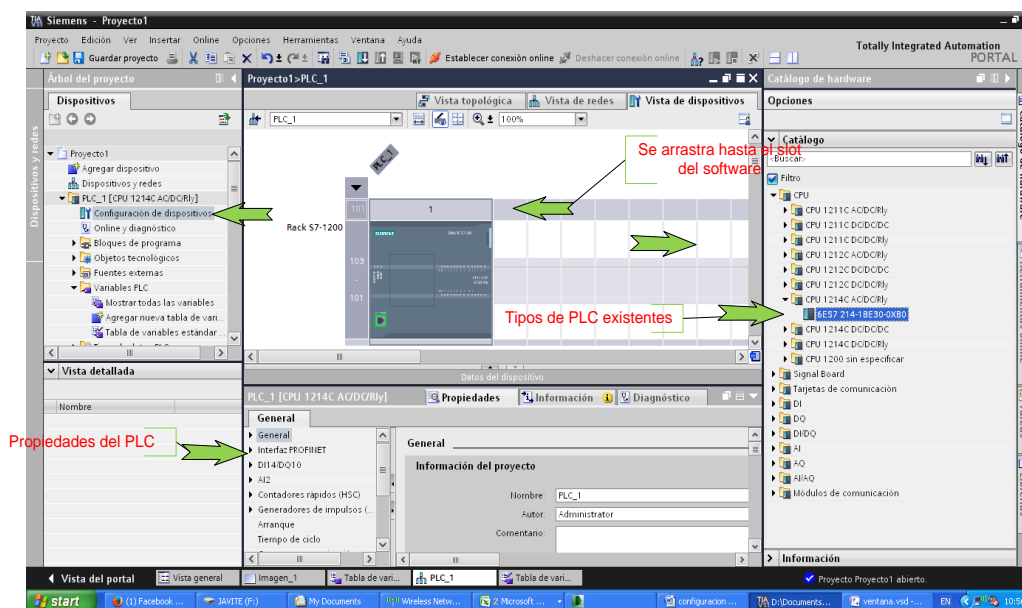


Figura 3.8. Ventana de configuración del PLC

Fuente: Software Siemens

La configuración del PLC, parte de la ventana del mismo nombre configuración del PLC. En dicha ventana, se puede escoger el tipo de PLC que se requiera, se lo arrastra al Slot del programa en la ventana de propiedades, se puede escoger las opciones que se requerirán cambiarse para el control correcto del dispositivo, como:

General: Nombre del PLC y comentarios,

Interfaz PROFINET Todo lo referente a la conexión Ethernet, dirección, etc.

DI/DQ: Se puede cambiar las direcciones de las entradas y salidas y otras opciones.

AI: De tener el dispositivo según su modelo, en esta opción se puede configurar las entradas analógicas, tanto la dirección, estado inicial de arranque etc.

Contadores Rápidos En esta opción se puede configurar los contadores rápidos, tanto, el sentido ascendente, descendente, la frecuencia de pulsos, etc.

Generador de pulsos (PWM, PTO), implica la configuración para que una salida del PLC pueda generar pulsos PWM, PTO.

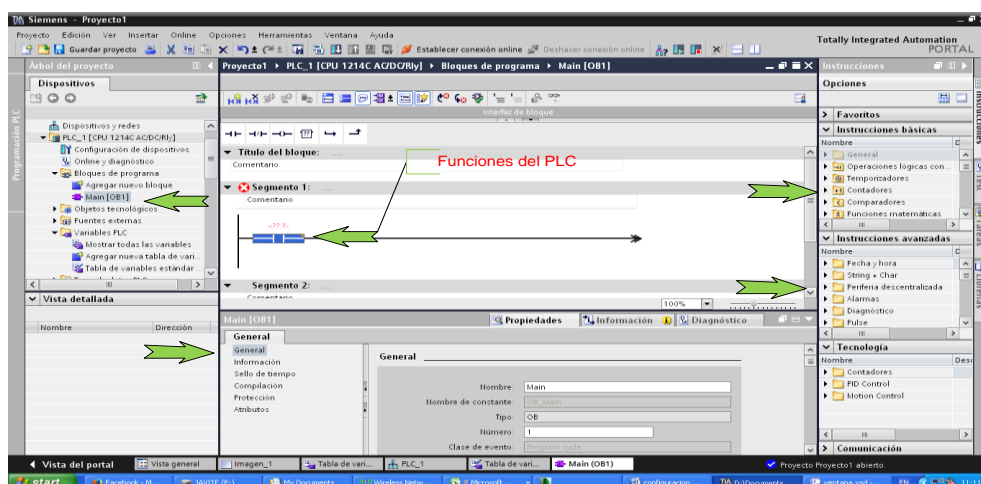


Figura 3.9. Ventana bloques de programa

Fuente: Software Siemens

En la ventana bloques de programa, se puede crear el programa que se requiere para el control del proceso, disponemos de todas las herramientas de programación como las instrucciones básicas, avanzadas y las funciones como PID, etc.

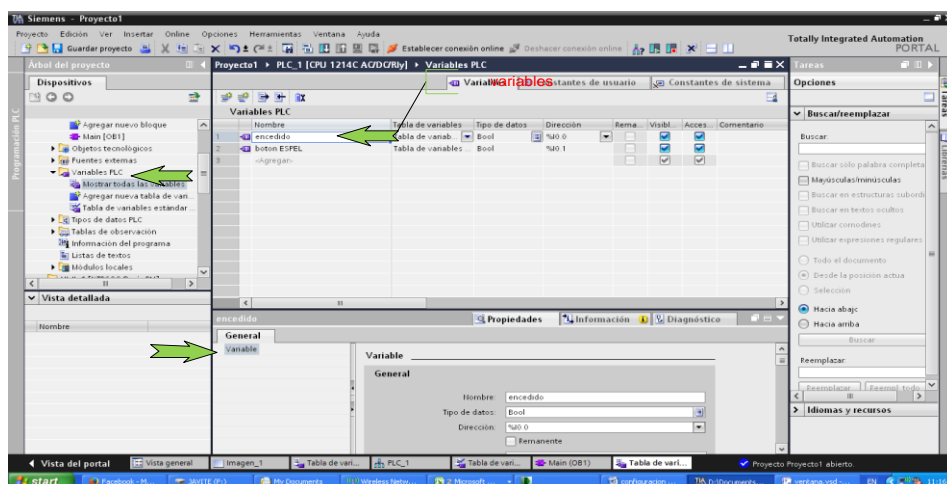


Figura 3.10. Ventana tabla de variables

Fuente: Software Siemens

Cada vez que se crea una variable, ésta se ubica en la tabla de variables. En esta ventana se presentan todas las variables creadas en el programa del PLC, donde se puede colocar el nombre, escoger el tipo de variable y la dirección donde será colocada esta variable en la memoria del PLC.

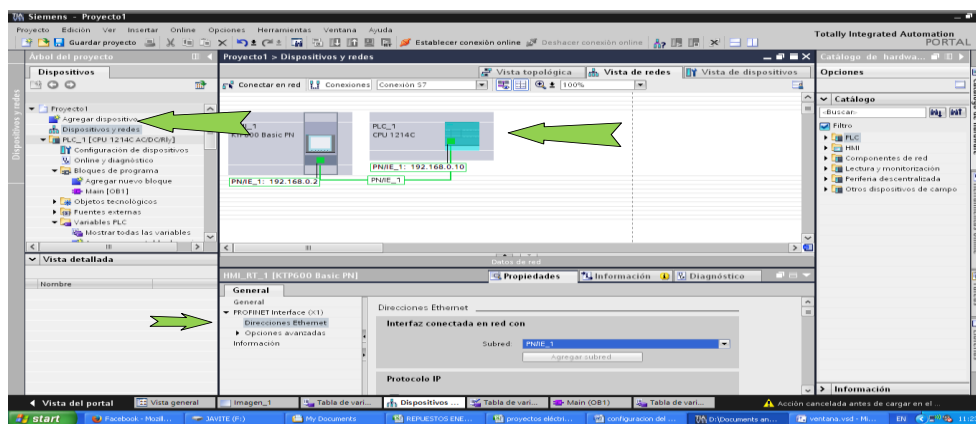


Figura 3.11. Ventana de variables

Fuente: Software Siemens

Después, en la configuración de dispositivos y redes, se debe realizar la conexión de los dispositivos instalados, por medio de la Interfaz PROFINET. Todos los dispositivos deberán poseer su propia dirección IP y estar conectados a una Subred PN/IE la cual, es la que permite la comunicación de un dispositivo con otro.

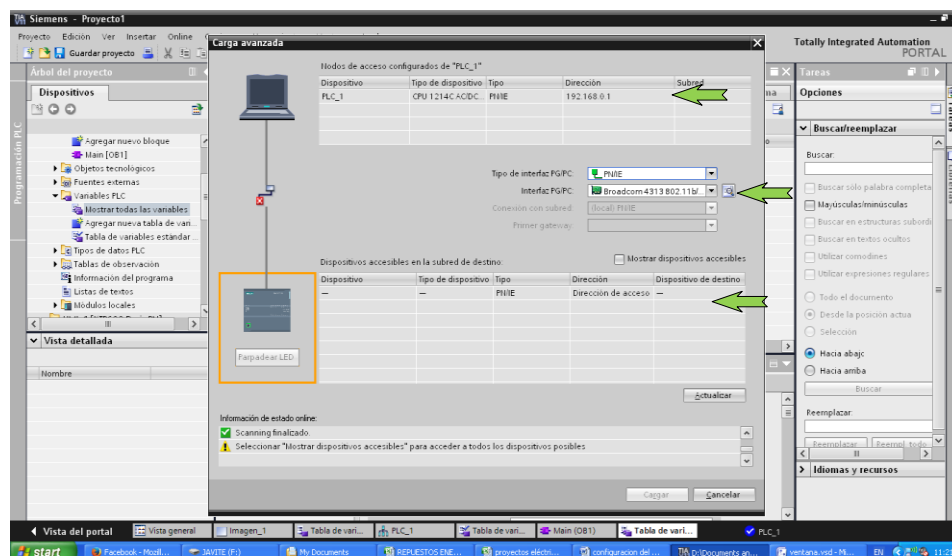


Figura 3.12. Ventana de Interfaz PROFINET

Fuente: Software Siemens

Ya terminado la programación, cuando se requiera cargar en los dispositivos, esto nos permite realizar con la ventana de CARGA. En esta ventana, se puede observar la dirección que posee el PC, y por medio de un PN/IE (tarjeta de Ethernet del PC), procede a la búsqueda de todos los dispositivos accesibles en esta red (los que están conectados). De encontrar el adecuado se procede a cargar el programa en los dispositivos.

3.3.3. Introducción a la programación del proceso de filtrado

Para la programación del proceso de filtrado se dividió en 7 etapas:

Tabla 3.1. Etapas de filtrado

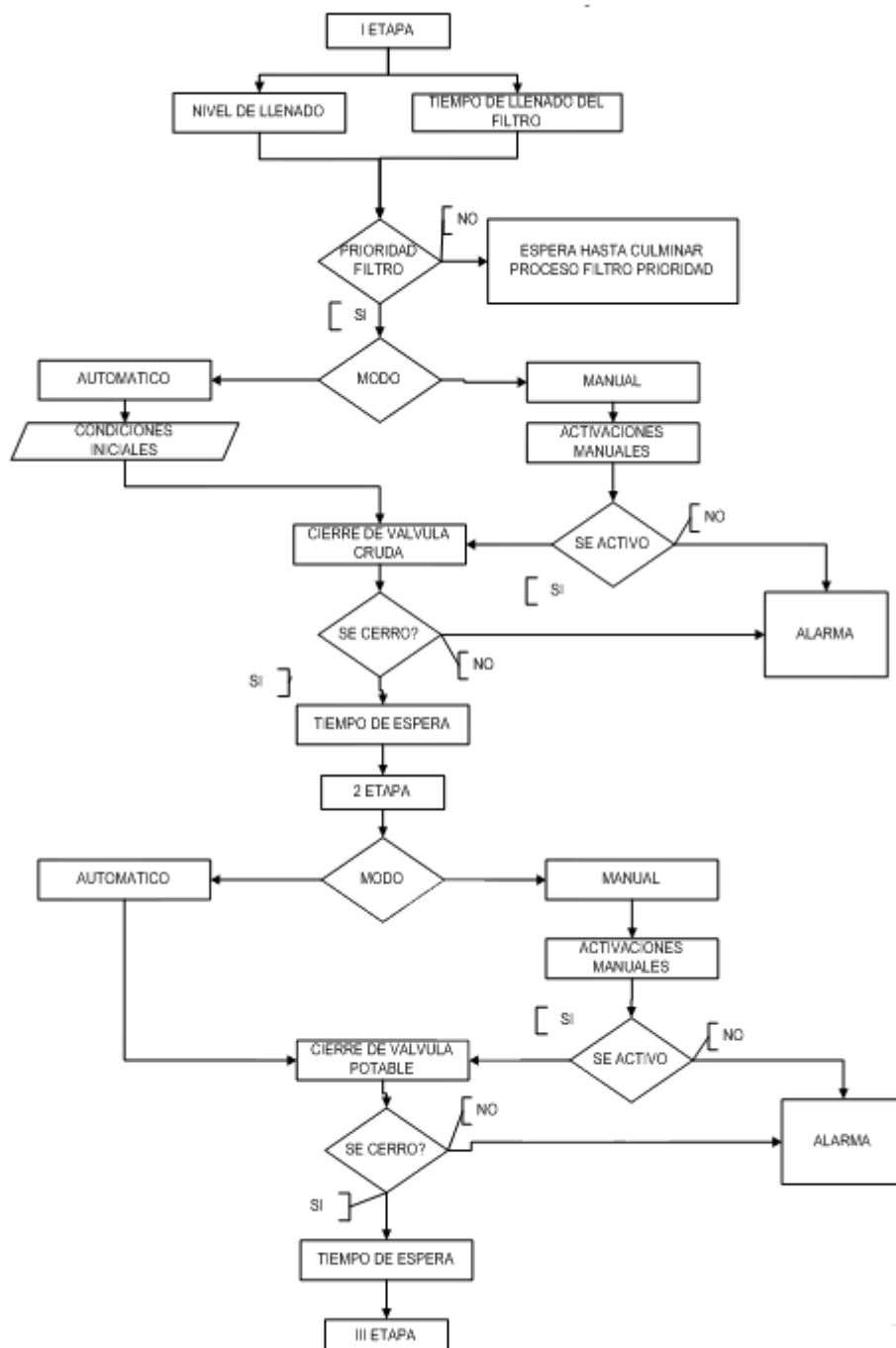
No.	ETAPA	DESCRIPCIÓN
-	Fin de llenado o fin de tiempo de llenado	El agua cruda alimenta al filtro hasta que llega al nivel de llenado. De no llegar al nivel de llenado, existe otra activación del proceso por medio de un temporizador de llenado el cual está configurado por horas, y activa el inicio del proceso.
0	Inicio del proceso	Da la señal el sensor de nivel, aparecen las condiciones iniciales como: Prioridad de filtro Modo manual o automático Válvulas en condiciones iniciales De estar todo correcto inicia el ciclo
I	Cierre de la válvula de agua cruda	Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua cruda, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa, caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso
II	Cierre de la válvula de agua potable	Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua potable, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa, caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso.
III	Apertura del soplado	Después del tiempo de la etapa IV, se abre la válvula de soplado, confirmado con el sensor de posición que está completamente abierto, se envía una orden para encender el motor del compresor. Cada 3 minutos la válvula de soplado se cierra 2 segundos y después se abre, esto se realiza, para enviar pulsos fuertes de aire a presión y mejore el soplado en el filtro. Culminado el tiempo de soplado se cierra la válvula de soplado y cuando llega la confirmación del sensor de posición que está totalmente cerrada la válvula, hay un tiempo de espera para la siguiente etapa.

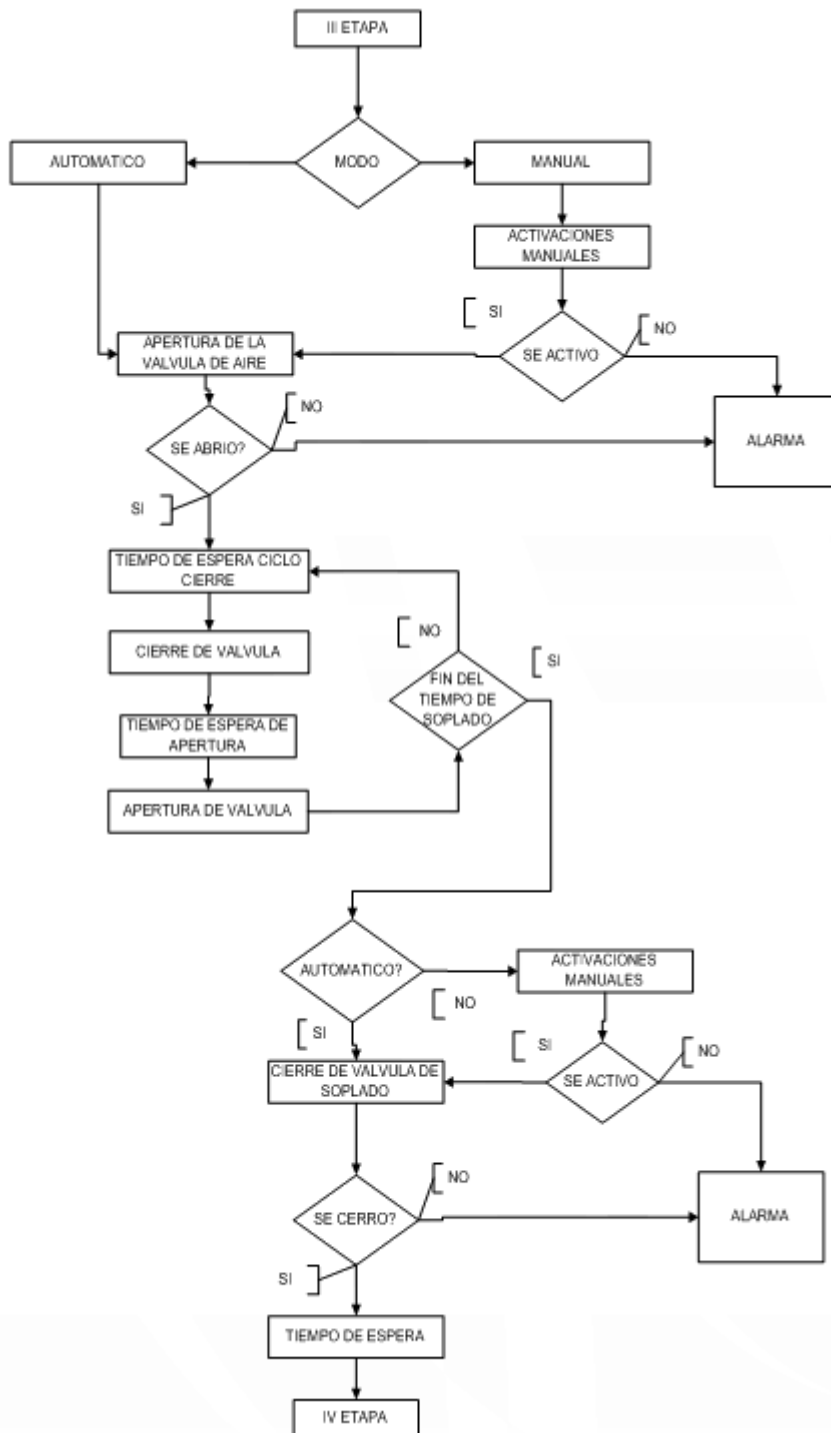
No.	ETAPA	DESCRIPCIÓN
IV	Ciclo de retro lavado	Después del tiempo de espera del soplado, se apertura la válvula de retro lavado. Confirmada la orden de que la válvula está abierta en su totalidad, se enciende secuencialmente en un periodo de tiempo, los tres motores de las bombas de lavado. Culminado el tiempo de lavado, se cierra la válvula de retro lavado y después de confirmar que está cerrada, se activa un tiempo de espera para el siguiente proceso.
V	Apertura de agua potable	Después del tiempo de la etapa VI, se abre la válvula de agua potable y registrado que la válvula está abierta se espera dos opciones: Culminación del tiempo, Bajo nivel en el filtro De cumplirse uno de los dos se termina el proceso y se espera un tiempo determinado.
VI	Apertura de agua cruda	Después del tiempo de la etapa VII, se abre la válvula de agua cruda, se verifica las condiciones iniciales y se culmina el proceso.

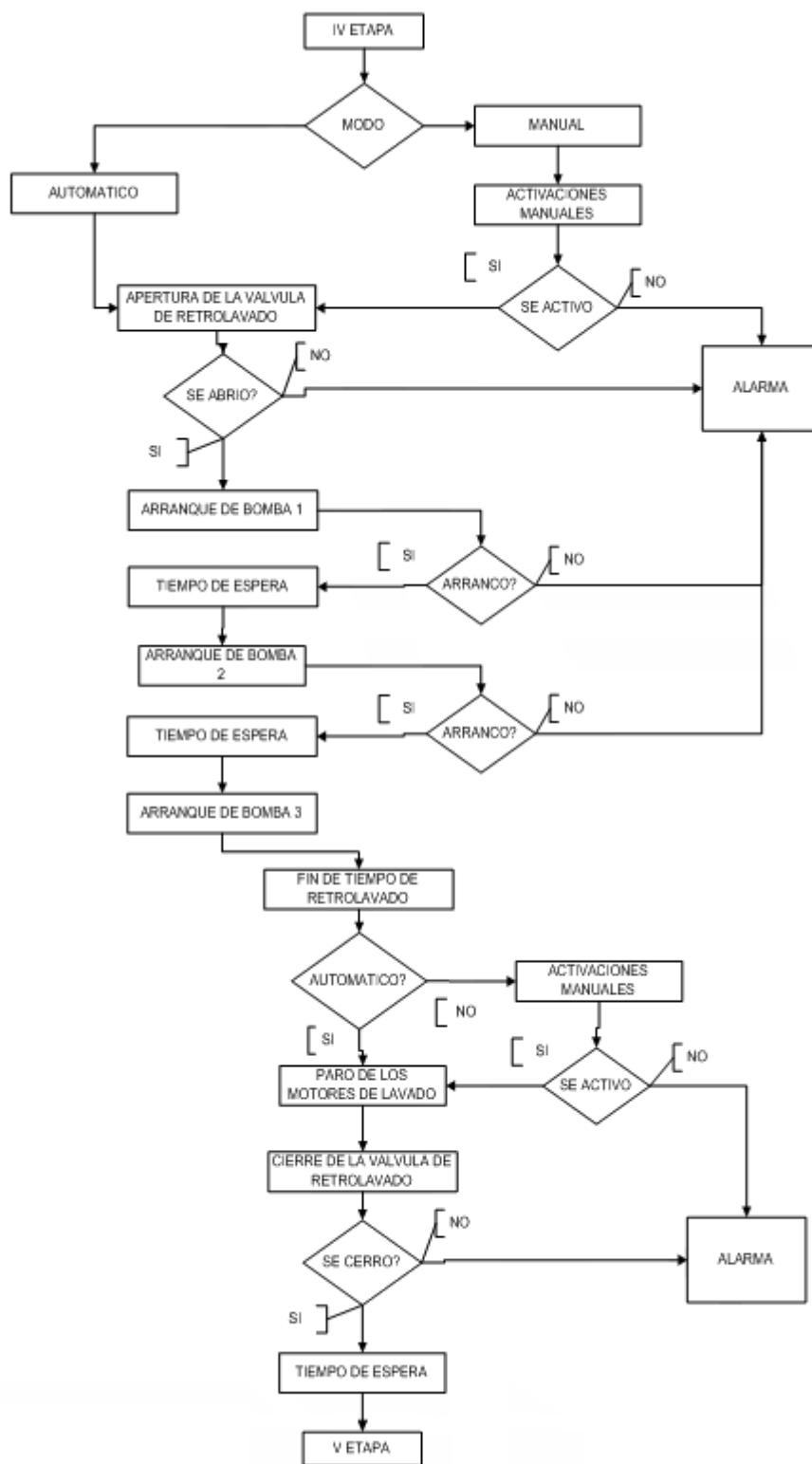
Elaborado por: Deivid Gaona

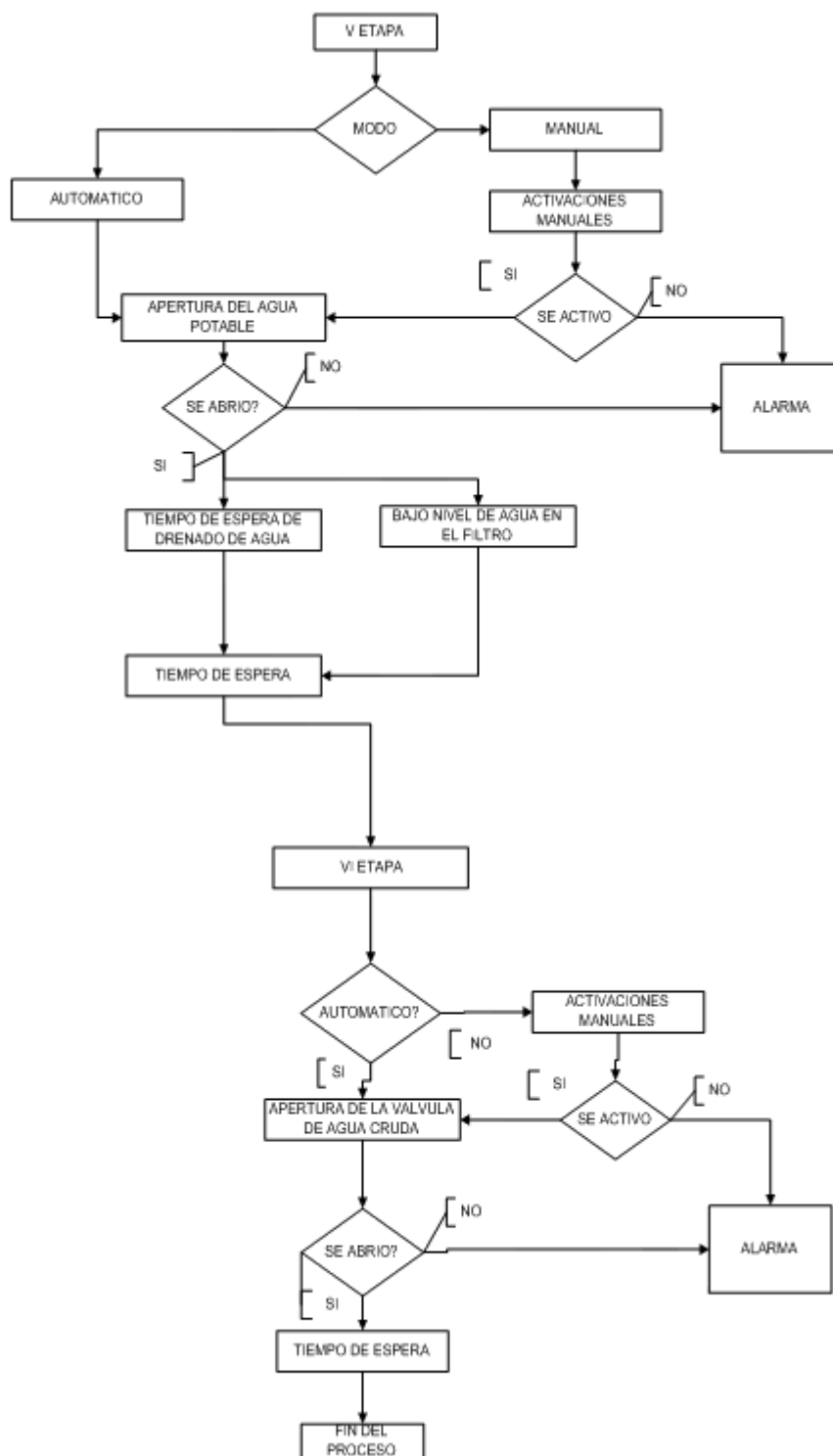
3.3.4. Algoritmo de programación

Para comenzar la realización de la programación se realizó un algoritmo de programación.









3.3.5. Necesidad de diferentes tipos de comunicación

La necesidad de implementar un sistema SCADA radica en poseer tiempos de operación de cada uno de los ciclos de filtrado, la Empresa de Agua Potable se siente en la necesidad de apoyarse de esa información.

Si bien en cierto, en el actual proyecto no incluye esa implementación, se dejará instalado la comunicación para que en un futuro se pueda implementar con toda facilidad.

La distancia entre la oficina de control y monitoreo y el tablero donde se comanda el de aproximadamente 75 metros, una comunicación serial R232 o R485 no cumpliría ese requisito, por lo cual la decisión de realizarlo por comunicación ETHERNET es la más adecuada, para lo cual, se tomará muy en cuenta en la cotización del equipo.

3.4. MONTAJE DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

3.4.1. Montaje del tablero eléctrico

En el montaje del tablero eléctrico, se utilizó todos los elementos necesarios que fueron diseñados en los planos eléctricos descritos en el anexo A, A1. Cada elemento ocupó el lugar el cual fue designado en el plano físico ya diseñado anteriormente. Para lo cual se tuvo que adquirir un gabinete de 100 cm x 80 cm x 40 cm en el cual estarán instalados todos los elementos de control del proceso. La apariencia física del tablero antes de la instalación, se muestra en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Tablero de control en pleno proceso de constitución

Elaborado por: Deivid Gaona

Tabla 3.2. Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control

No.	ELEMENTOS	DESIGNACIÓN EN PLANOS ELÉCTRICOS	DATOS TÉCNICOS
1	Disyuntor	F1	10 A bipolar
1	Disyuntor	F10	10 A bipolar
1	Fusible	F2	5 A
1	Fusible	F3	1 A
18	Relés control	de C1, ...C18	1NA/1NC bobina 24VDC
8	Relés configurable a sensor de nivel SIEMENS	LS1...LS8	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
4	Relés configurable a sensor de nivel	LS9...LS12	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
1	Fuente de alimentación LOGO	T1	240V/24 VDC 2.5 A
1	Controlador SIEMENS	PLC	S71214 AC/DC/DC 12 entradas, 8 salidas
6	Módulos de expansión salidas	SB3...SB8	Relay 8 salidas
1	Módulo de expansión	SB1	DC/DC 16 DI/16DQ
1	Switch Ethernet industrial	-	4 puertos, 24VDC
1	UPS		60 VA, entrada 120VAC salida 24VDC

Elaborado por: Deivid Gaona

Los elementos fueron conectados según el plano anexo dependiendo de las exigencias del diseño, etiquetado con numeración de la siguiente manera:

- L, R, N líneas de alimentación de 240 VAC,
 1, 2 Voltaje de 24 VDC
 11,12...165 Números que distinguen la bornera.

Son 175 borneras las que se ocuparon, las cuales serán interconectadas el control a los elementos actuadores y sensores.



Figura 3.14. Borneras y etiquetas

Elaborado por: Deivid Gaona

En la parte externa del tablero se implementó una pantalla KTP600 a color, la cual estará configurado con el sistema HMI.

3.4.2. Adaptación de los sensores de nivel al nuevo sistema.

La conexión de los sensores de nivel estará dispuesta en los relés de nivel de SIEMENS, los cuales son 8 y en los 4 serán otros relés de nivel. El esquema de conexión está visualizando el control de los niveles para el conjunto de tanques inferior y superior demostrando el funcionamiento del relé de nivel, ésta es por lo general de forma estándar y lo podemos observar en la Figura 3.15.

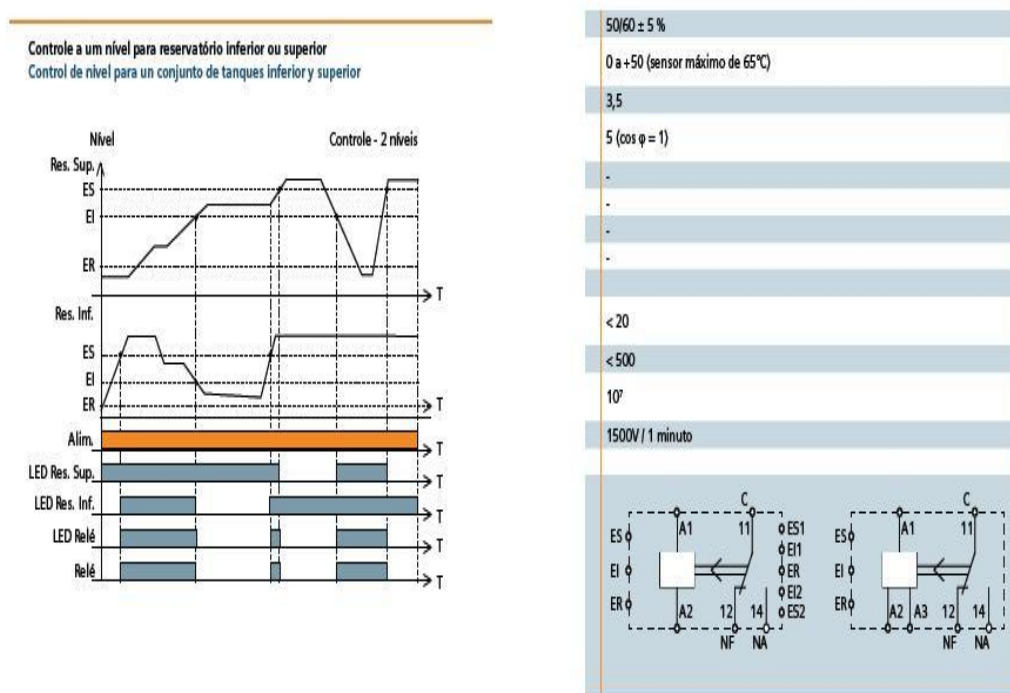


Figura 3.15. Conexión y funcionamiento del relé de nivel

Fuente: Manual de usuario Siemens

3.5. PROGRAMACIÓN DEL PLC

En la programación del PLC se basó ampliamente en las siete etapas del proceso de filtrado contado con seis filtros, el programa cumplirá las mismas funciones para los seis filtros.

3.5.1. Alarmas

Las alarmas que fueron programadas son:

- Por sobrecarga o no arranque del motor del soplador
- Por sobrecarga o no arranque del motor de las bombas de retro lavado
- Alto nivel de agua en filtro, del 1 al 6 (6 alarmas)
- Bajo nivel de agua en el tanque de reserva.

- No activación de cada uno de los sensores de posición de las electroválvulas que activan los procesos, es decir, de agua cruda son dos, una abierta y otra cerrada, de agua potable dos, de retro lavado son dos y de soplado son dos, que serían en total de ocho alarmas por cada filtro, al ser seis filtros suma el total de 48 alarmas. Cada alarma viene numerada e identifica el problema de no funcionar una electroválvula garantizando así el buen funcionamiento del sistema.

3.5.2. Señales al panel principal

Además de controlar el proceso, se requerirá de señales de activación de cada una de las electroválvulas que existen el proceso para el panel principal.

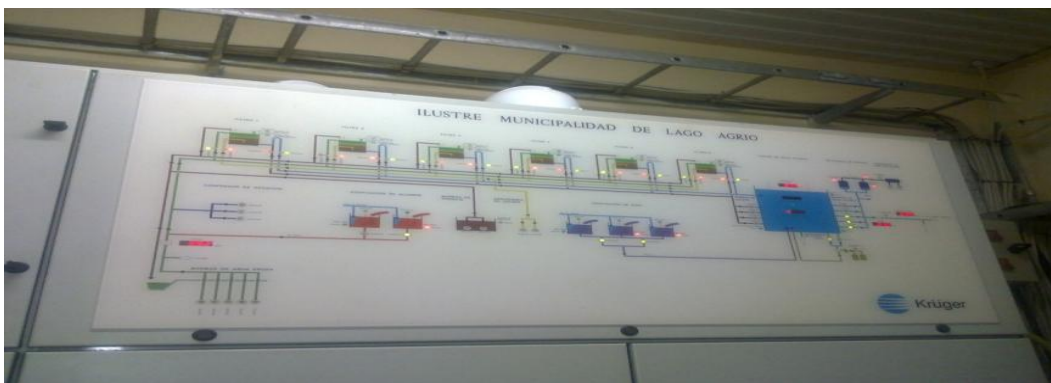


Figura 3.16. Panel principal

Elaborado por: Deivid Gaona

El panel principal, es un visualizador físico donde se muestra a modo de HMI, todos los elementos que componen toda la planta de agua potable de Lago agrío. El filtrado como uno de los procesos, también está presente en este panel, el cual identifica cuáles válvulas están abiertas o cerradas, las bombas y si el soplador está activo, además de alarmas.

Al ya estar implementado en el actual tablero de control, se deberá adecuar las señales al nuevo diseño e incluirlo.

El número de señales de activación están en un total de 28.

3.5.3. Condiciones de activación.

El inicio del proceso de filtrado será iniciado por la prioridad de cada filtro.

La prioridad se da de dos maneras:

- Por el primer filtro que se llena
- Manualmente activando el BOTÓN PRIORIDAD en el HMI
- Se cumple el tiempo de activación de filtrado

De existir una de las tres opciones se iniciará con el proceso de filtrado, caso contrario, el filtro estará inactivo hasta su activación.

3.5.3.1. Condición de prioridad

Cabe recalcar que durante el tiempo de filtrado sólo uno, y solamente un filtro quedará activo, el resto de filtros aun llegando a cumplir las tres condiciones antes predichas, no iniciará el proceso de filtrado hasta que termine el anterior.

En definitiva, el que tiene la PRIORIDAD comienza primero hasta terminar, después el segundo en PRIORIDAD, y si hay otro el tercero y así sucesivamente.

3.5.3.2. Condición manual o automático

Dependiendo de la activación del BOTÓN MANUAL o AUTOMÁTICO, se puede iniciar el proceso, al ser un sistema autónomo, el sistema por lo general está en la opción AUTOMÁTICO, MANUAL sólo se utilizará cuando exista problemas en los sistemas de filtrado o cuando lo requiera el operario.

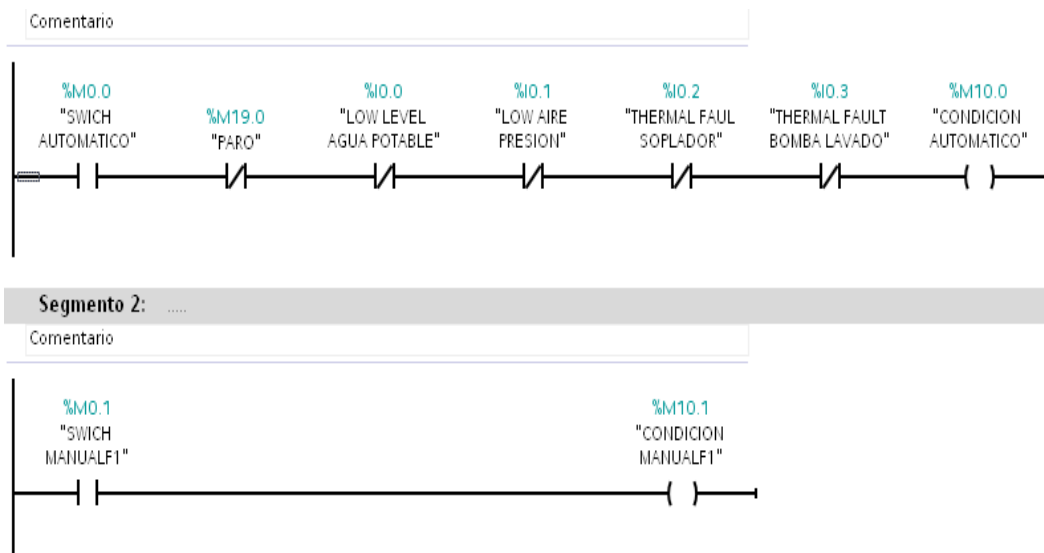


Figura 3.17. Parte de la Programación del PLC

Fuente: Software Siemens

En automático, se cumple la condición PRIORIDAD, dependiendo de esta condición, el sistema inicia el ciclo de filtrado. En la figura 3.18 se puede apreciar el tiempo de activación, el BOTÓN PRIORIDAD y el contacto que representa al nivel de inicio de ciclo, ambas configuradas para activar la prioridad del filtro e iniciar el proceso de filtrado.

Se inicia con el cierre de la válvula de agua cruda, de ser el filtro 1 por ejemplo, por medio de la salida Q0.2, éste activa a la entrada I3.4, la cual detecta que está la válvula abierta, así que la cierra. Al terminar de cerrarse la válvula, se detecta por medio de la entrada I3.5 que físicamente está cerrada y da paso a un tiempo de espera para iniciar la siguiente etapa.

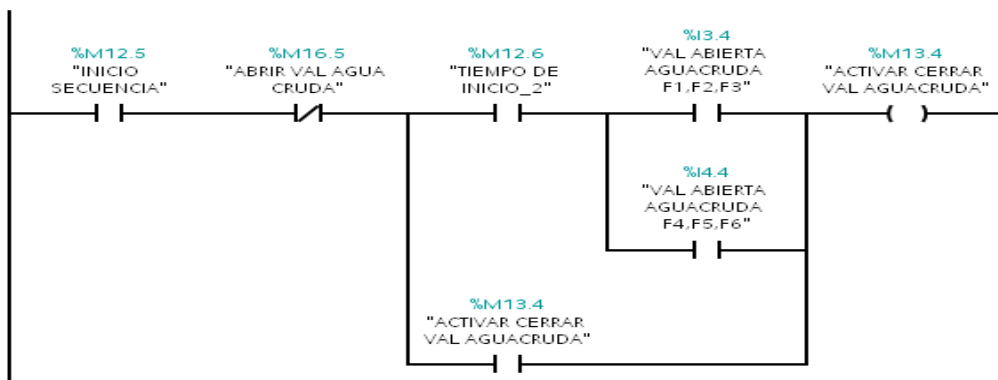


Figura 3.18. Parte de la Programación del PLC

Fuente: Software Siemens

En la siguiente etapa se produce el cierre de la válvula de agua potable, recibiendo la confirmación de que la válvula está abierta por la entrada I3.6, se envía una señal de 1 lógico a la salida Q0.3, cerrando la válvula, al recibir la confirmación de que la válvula está cerrada por medio del sensor de posición que se ubica en la entrada, se inicia un tiempo de espera para la siguiente etapa.

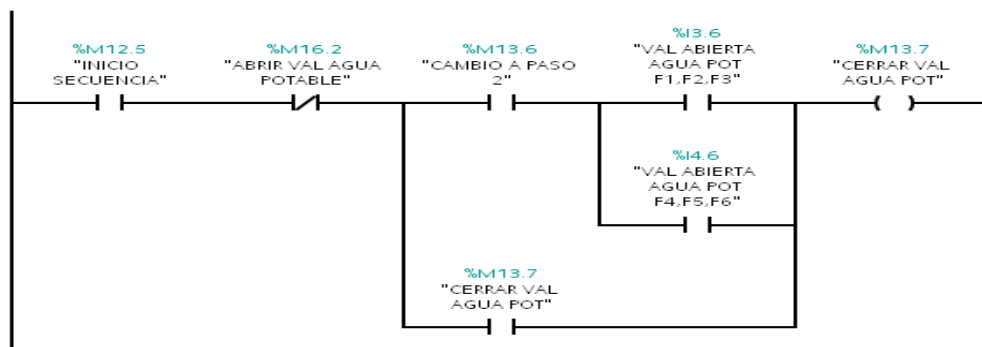


Figura 3.19. Programación del PLC

Fuente: Software Siemens

Después del tiempo de espera y confirmando el programa que las válvulas de aire están cerradas, se envía una orden a la salida Q0.4, para abrir la válvula de soplado, al detectarse que ésta está completamente abierta, se activa el motor del soplador por medio de la salida Q0.0, e inicia el ciclo de soplado. Cada minuto la válvula de soplado se cerrará y después de tres segundos se abrirá con el objetivo de que exista un pulso de presión mejorando la oxigenación del agua, esto será repetitivo hasta que se termine el tiempo del soplado, culminado el tiempo de soplado, se espera un tiempo para iniciar el siguiente ciclo.

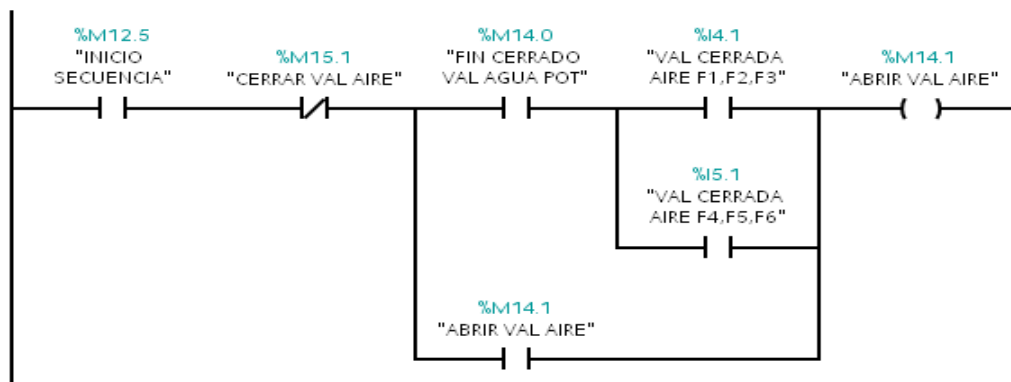


Figura 3.20. Parte de la programación del PLC

Fuente: Software Siemens

Para el ciclo de retro lavado, se activa la válvula de retro-lavado e inicia el arranque de los motores de 30 HP de las bombas de retro-lavado, dependiendo de la opción 1, 2 o 3, entonces se arrancan uno después de otro, solo dos, o uno solamente. Después del tiempo de retro-lavado, se espera un tiempo para la etapa final.

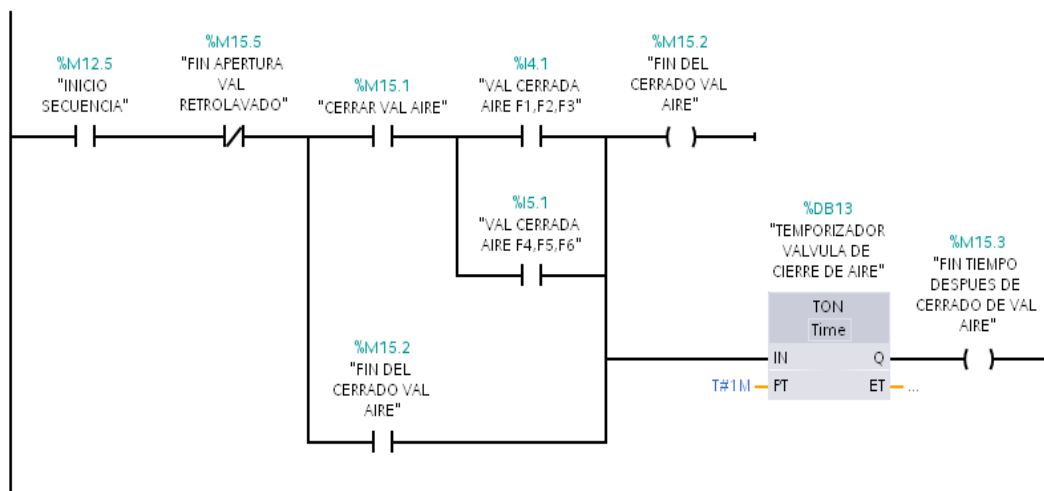


Figura 3.21. Programación del PLC

Fuente: Software Siemens

Al final simplemente se cierra la válvula de agua cruda y la válvula de agua potable seguidamente, culminando el ciclo, con las condiciones ya prescritas en la parte superior.

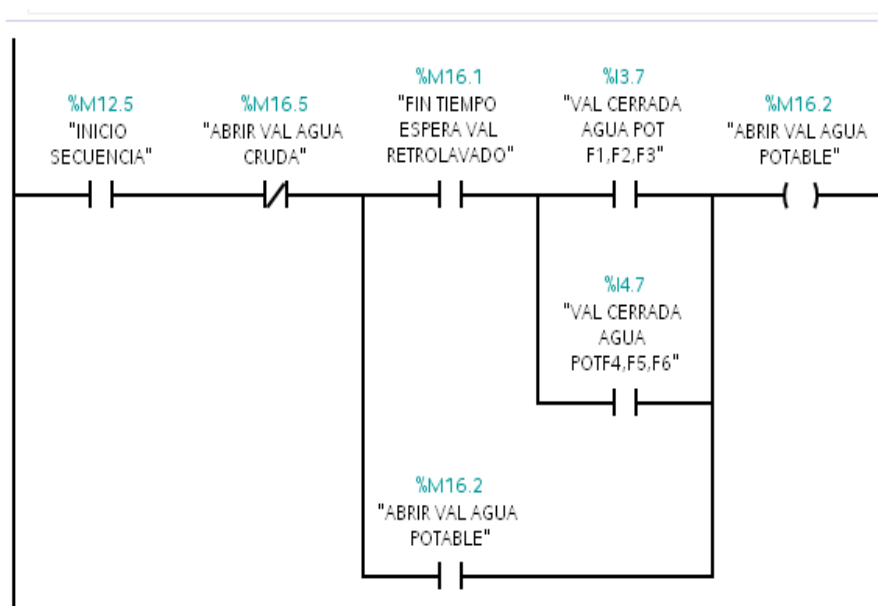


Figura 3.22. Programación del PLC

Fuente: Software Siemens

Las condiciones de las alarmas estarán colocadas en orden a la memoria MW340, una Word, con el objetivo de recibir estos datos el HMI, el cual, manejando la Word y el valor booleano determinará qué alarma se está activando, para mostrarla en el HMI.

La señalización será configurada según el programa a las salidas del PLC y enviadas como contactos abiertos y cerrados al PANEL PRINCIPAL.

3.6. PROGRAMACIÓN DEL HMI

El programa del HMI cuenta con cinco ventanas interactivas, las cuales fueron configuradas y diseñadas con el objetivo de controlar al proceso, visualizarlo y monitorear las variables de tiempos de operación y activaciones necesarias para el funcionamiento en manual y automático.

3.6.1. Las ventanas creadas:

3.6.1.1. Ventana de presentación

En la ventana de presentación se muestra el LOGO de LA EMPRESA DE AGUA POTABLE y un dialogo de presentación.

Además se puede visualizar en la parte inferior todos los botones virtuales que permiten navegar en el HMI según el Fn (El número de función descritos en la Figura 3.22) que tiene en el botón de membrana físico con el objetivo de tener una rápida navegación y control del proceso por medio de dicho HMI.

- Ventana alarmas
- Ventana operación
- Ventana operador
- Ventana tiempos
- Ventana configuración
- Ventana presentación

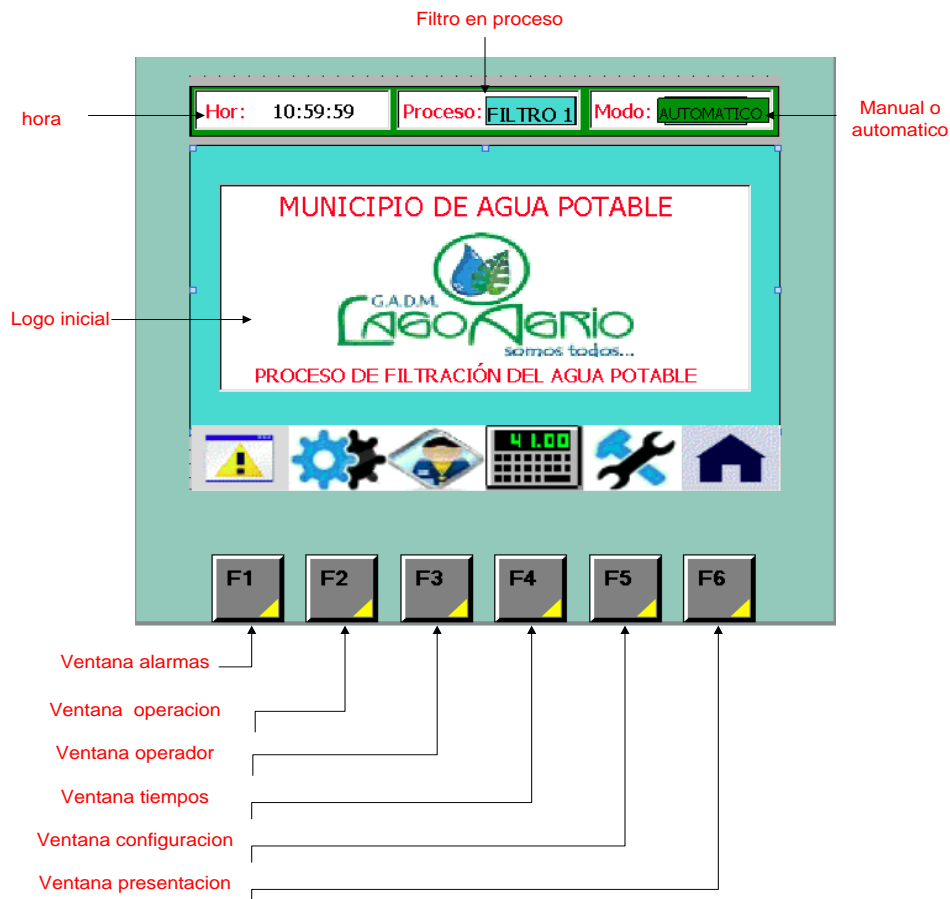


Figura 3.23. Ventana de presentación

Fuente: Software Siemens

3.6.1.2. Ventana de operaciones

En la ventana de OPERACIONES se pueden observar los botones que permiten la operación en MANUAL o en AUTOMÁTICO.

Dependiendo de la operación requerida, se despliega un dialogo dando la opción en que está colocada (en automático) o un panel de botones e indicadores que permiten el control completo del proceso (en manual).

3.6.1.3. Mando manual

El mando manual es utilizado más por requerimientos de falla del sistema en automático, o si se requiere terminar el proceso según el criterio del operador, para lo

cual, en esta opción existe botones virtuales para elegir uno de los seis filtros a poner en funcionamiento.

Escogido el filtro se le da sólo prioridad a ese filtro y pone en consideración cuatro botones que cerrarán o abrirán las válvulas de agua cruda, potable, retro lavado, soplado, además de los botones que activan a las bombas de retro-lavado y soplado.

Todo el funcionamiento del proceso es totalmente realizado por el operario.

En el HMI además permite una interfaz interesante ya que al activar esta opción, cambia el fondo de la pantalla a color celeste.

Aparece en la barra de estado la leyenda manual y aparece un ícono de una mano mostrando que está en manual el sistema.

3.6.1.4. Mando automático

Como su nombre lo dice, en automático, el proceso será realizado automáticamente, sin necesidad de manipulación humana

Sólo dependerá de los sensores de nivel, tiempos, posiciones y de los criterios de control.

En el HMI no sólo se activa el proceso, para dar veracidad del mismo cambia el color del fondo de la pantalla a verde, se muestra la leyenda automática en la barra de estado y además aparece el ícono de automático.

En la Figura 3.24 aparece la ventana de operaciones como se observa en MANUAL

PANEL DE CONTROL CON BOTONES PARA EL OPERADOR

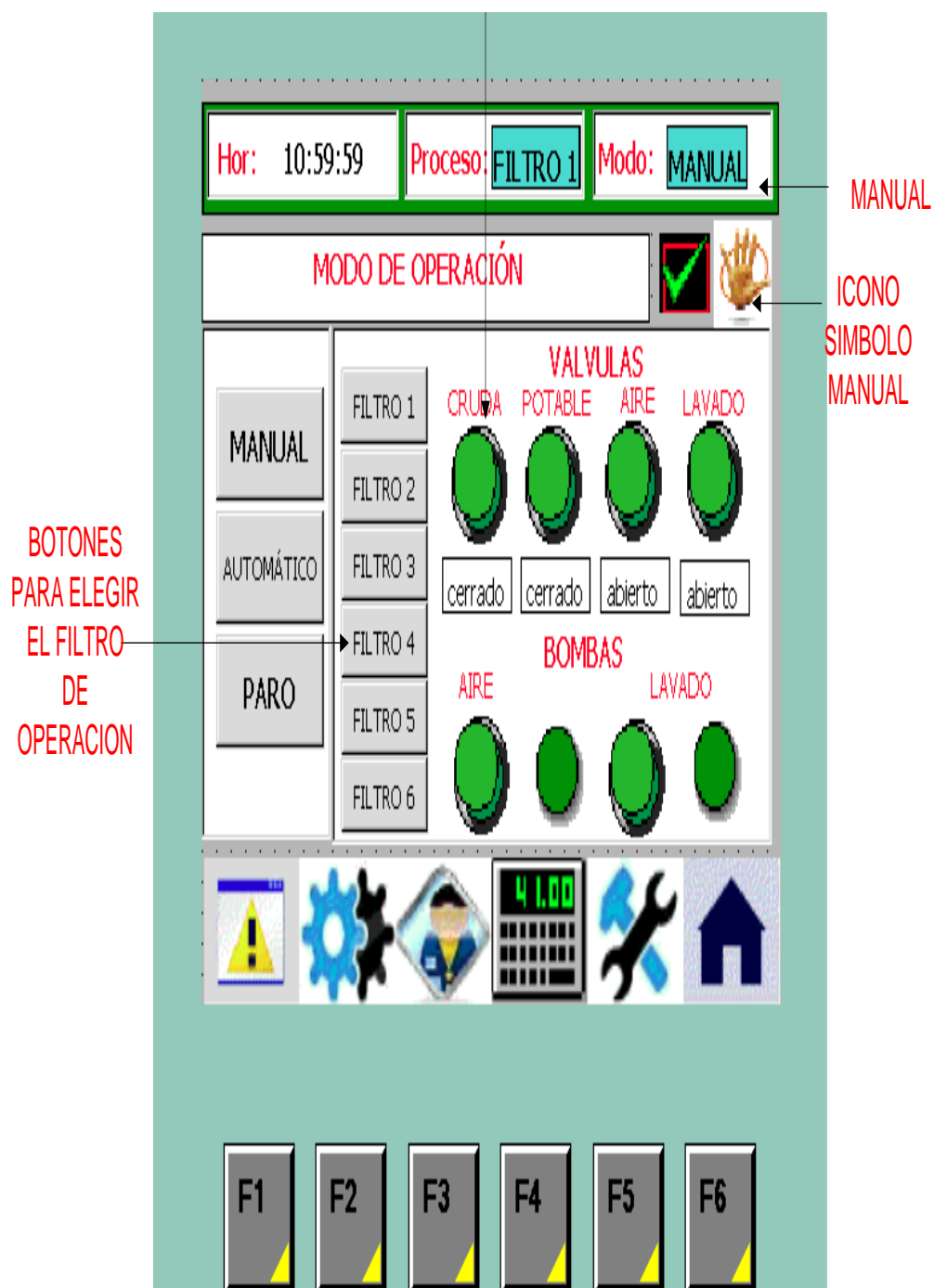


Figura 3.24. Apariencia de la ventana de Operaciones En Manual

Fuente: Software Siemens

En la Figura 3.25 aparece la ventana de operaciones como se observa en AUTOMÁTICO.

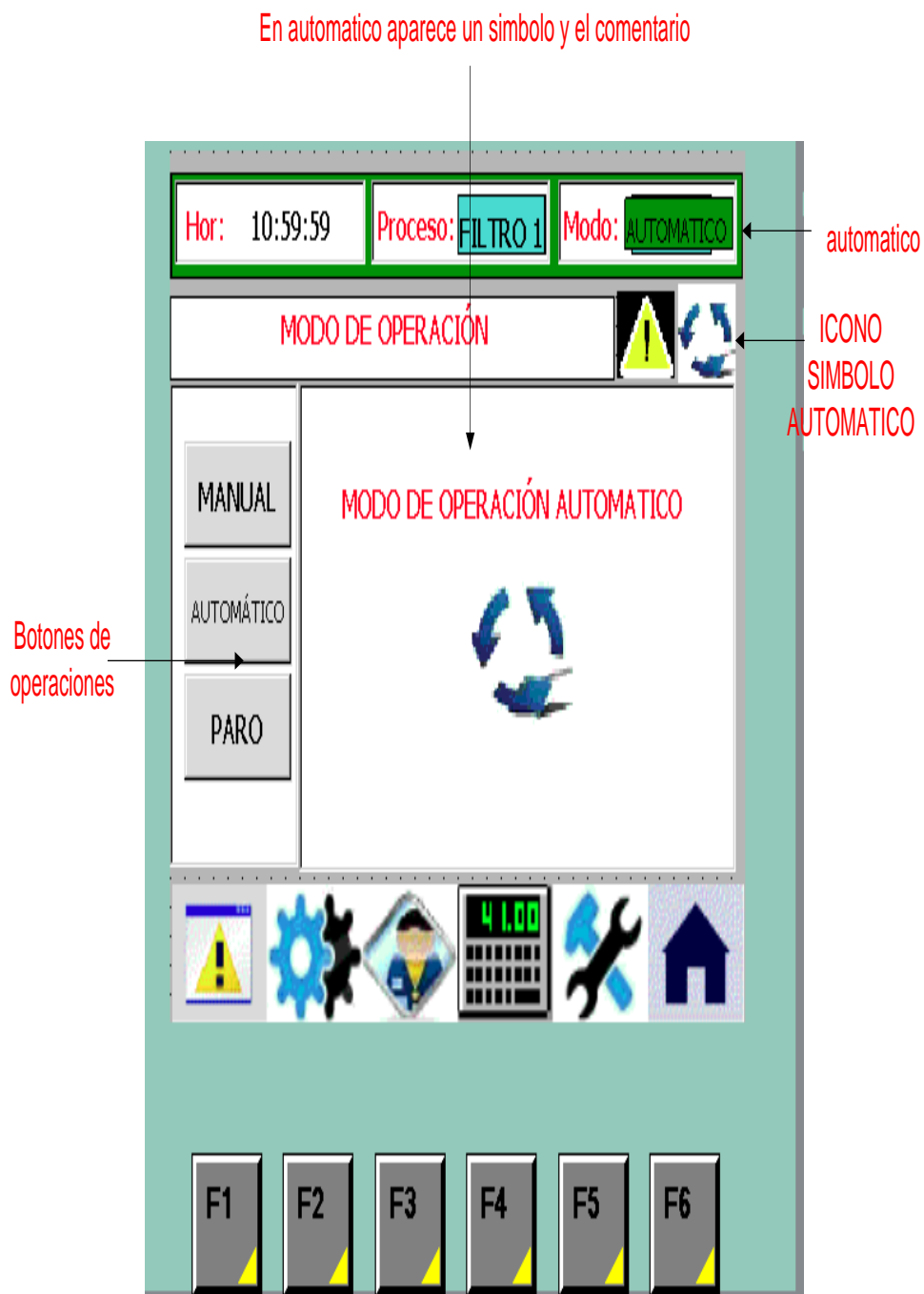


Figura 3.25. Apariencia de la ventana de operaciones en automático

Fuente: Software Siemens

3.6.1.5. Ventana del operador

La ventana del operador en pocas palabras es un sistema de supervisión de todo el proceso. En este cuadro dinámico se simula al proceso, cada vez que se cierra una válvula se muestra señalado con un luz indicadora roja, de abrirse se vuelve verde,

además, aparece los íconos de las bombas cuando éstas se encienden, muestra en qué etapa está, qué filtro está activo y algunos aspectos más del proceso.

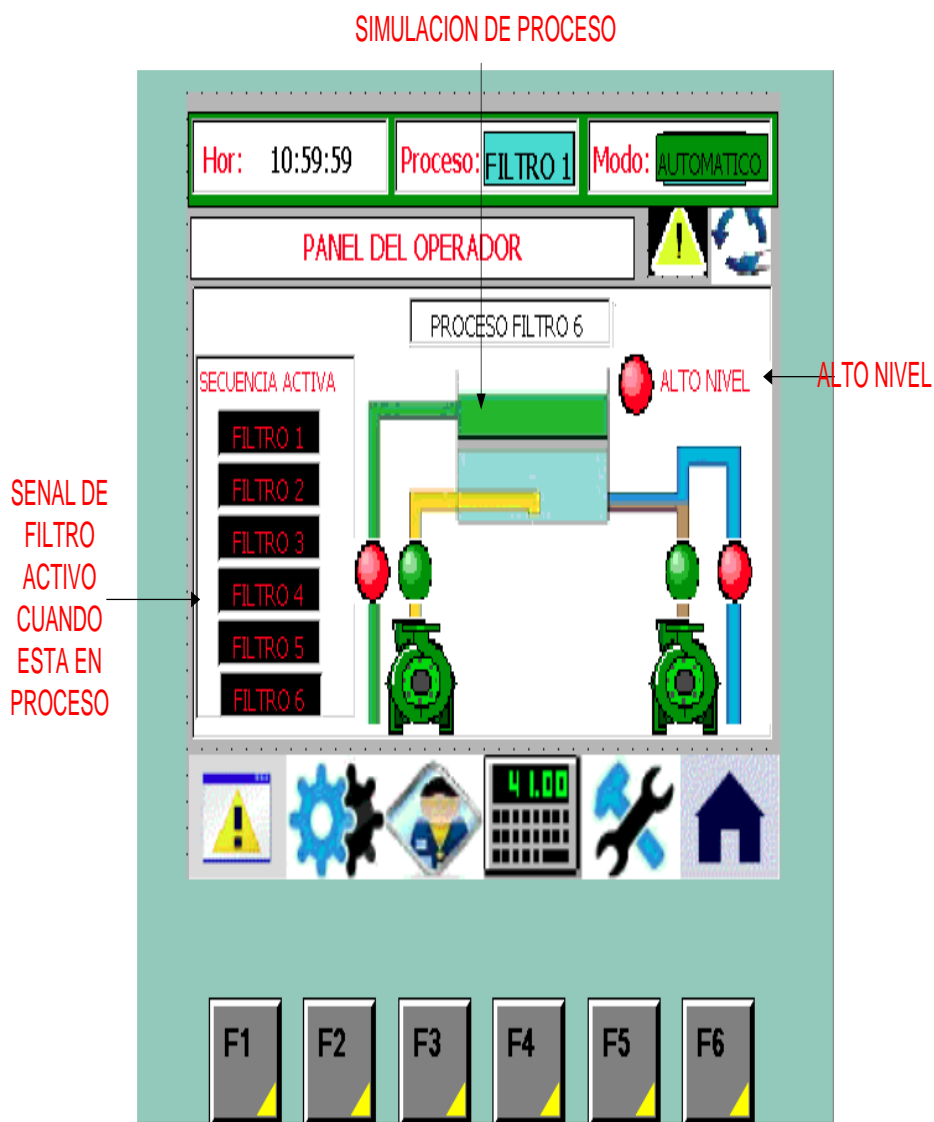


Figura 3.26. Ventana del operador

Fuente: Software Siemens

3.6.1.6. Ventana de tiempos de operación

La ventana de tiempos de operación como su nombre lo dice, es el lugar donde se puede configurar todos los tiempos que son necesarios para el proceso.



Figura 3.27. Ventanas de configuraciones

Fuente: Software Siemens

Los tiempos configurables son:

- Tiempo de inicio:** Al no llegar al nivel máximo de iniciación del filtrado, permite el funcionamiento del proceso cumplido el tiempo de inicio. Este valor está configurado en horas, con un mínimo de 1 y un máximo de 24.
- Tiempo de soplado:** Es el período durante el cual, permanecerá en la etapa de soplado, dentro del proceso, trascurrido ese tiempo, pasará un tiempo de espera para la siguiente etapa, retro-lavado.
- Este tiempo está configurado en minutos y tiene un rango mínimo de 0 y un máximo de 1000.
- Tiempo de retro lavado:** Es el tiempo durante el cual, permanecerá en operación la etapa de retro lavado, concluido este tiempo, pasa a la última etapa del proceso.

El tiempo está configurado en minutos y tiene un rango de 0 a 1000.

3.6.1.7. Ventana de configuraciones

En la ventana configuraciones, se puede escoger las opciones que se requieren necesarias para el proceso o modificar alguna, siendo la más útil e importante por el operario, la opción de PRIORIDAD.

3.6.1.8. Prioridad

La opción prioridad permite escoger de los seis filtros cuál deseas que inicie el proceso de filtrado. Esta opción es activada por botones. Cada filtro tiene su botón.

3.6.1.9. Botón de reseteo de alarmas

Como su nombre lo dice, sirve para resetear alarmas, ya que, debido a que se activa una alarma, ésta envía una señal al PANEL PRINCIPAL, activando a una sirena, con este botón se desactiva la alarma, se verifica cuál fue dicha alarma y se toma medias para verificar qué pasó. También en esta ventana, se puede apreciar luces indicadoras de cuando la prioridad está activa o no.

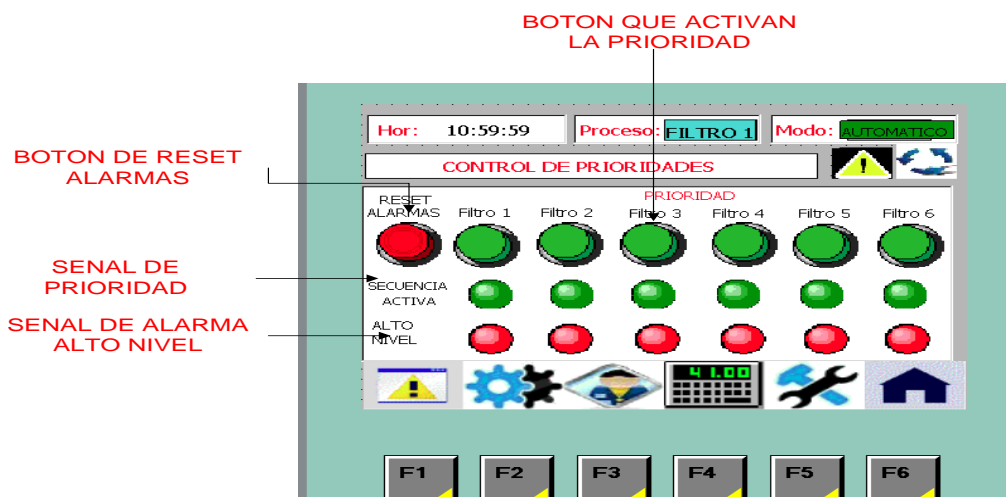


Figura 3.28. Visualización de la ventana de control de procesos

Fuente: Software Siemens

3.6.1.10. Ventana de alarmas

En la ventana ALARMAS, se puede observar las alarmas que aparezcan en el proceso así como la posible ayuda disponible para su posible corrección.

Cuando aparece una alarma, en la ventana que se muestra en la Figura 3.29, aparecerá un texto que indique el tipo de alarma, el número, la fecha y la hora.

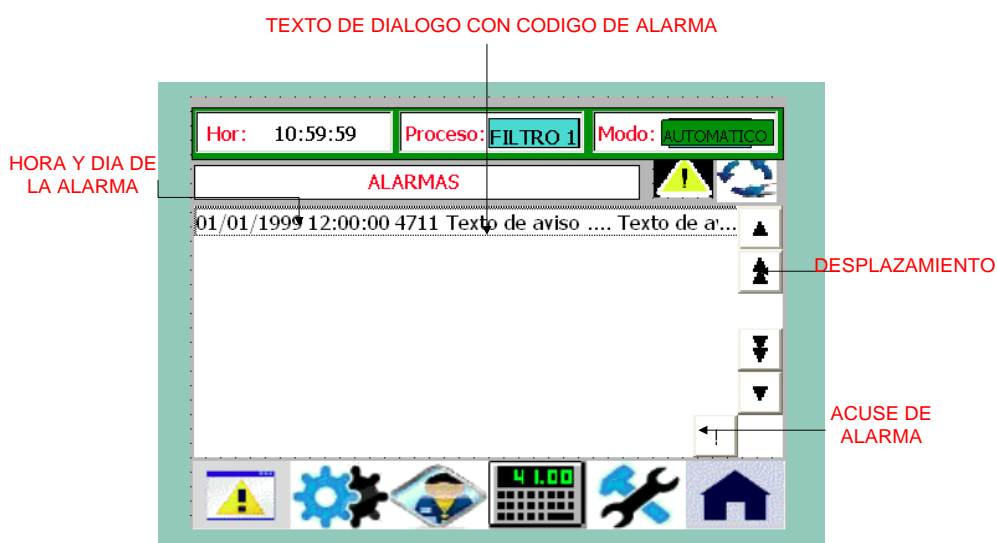


Figura 3.29. Visualización de la ventana de alarmas

Fuente: Software Siemens

3.7. PRUEBAS

3.7.1. Pruebas de conexiones.

3.7.1.1. Pruebas de conexiones eléctricas.

Después de las conexiones se realizó las pruebas eléctricas, como son pruebas de cortocircuito y conexiones a tierra de los actuadores, como son protecciones y corrientes de fuga respectivamente.

Se revisó el cableado de control y todas las posibles fallas existentes.

3.7.1.2. Pruebas de funcionamiento del PLC y HMI.

Con la seguridad de tener un programa confiable por la simulación del accionamiento, antes de armarlo, se energizó a la máquina, se revisó todas las señales de los sensores de nivel, finales de carrera, elementos de sobrecarga y cortocircuito, etc.

Se verificó si existía comunicación entre el HMI - PLC, por medio de señales de control del HMI y accionamientos de todos los elementos por medio de los botones y controles virtuales que ofrece la pantalla táctil ya programada.

3.7.1.3. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se relacionaron con los siguientes aspectos:

- Correcta recepción de datos de los sensores

Las señales son sincronizadas y monitoreadas por medio del programa STEP 7 BASIC V 10.5 la cual se puede visualizar poco a poco que todos los sensores de posición están correctamente conectados y responden al cambio físico en un tiempo estimado de 0,5 seg. El tiempo es suficiente para que el proceso se ponga en marcha.

- Funcionamiento de los actuadores

El funcionamiento de los actuadores se realiza por medio de las salidas Q0.0 hasta el Q3.7, gobernando en mayor medida este proceso las válvulas de cierre y apertura. El gobierno por medio del PLC y de los relés de control es fácilmente identificado por medio de señales luminosas.

- Funcionamiento completo del sistema en manual y automático

En manual, se pone en funcionamiento al proceso por los siguientes pasos:

1. Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.
 2. En la ventana de operaciones se escoge la opción manual, inmediatamente se abre un panel donde se muestran los botones de FILTROS.
 3. Se escoge el número del filtro que se desee.
 4. Ya escogido el filtro, aparecerá el icono de filtro en la barra de estado, y se podrá comandar con los botones de agua cruda, potable, retro lavado y soplado, para abrir y cerrar las válvulas que requieren en el proceso.
 5. Para cada actividad también se deberá activar el botón de bomba de retro-lavado y de soplado para activar a dichas bombas.
 6. La simulación del proceso podrá ser vista en la ventana del operador. En automático,
 - 6.1. Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.
 - 6.2. En la ventana de operaciones se escoge la opción automático, e inmediatamente, aparecerá un ícono de una flecha e incluso en la barra de estado la opción automática, ya estando así, todo el proceso será autónomo y funcionará dependiendo de las condiciones del proceso.
 - 6.3. Para parar el proceso en la ventana de operaciones se escoge la opción PARO y se detendrá todo el proceso.
- Calibración de tiempos de operación del proceso de filtrado.

Ya implementado el proceso de filtrado fue conveniente realizar una calibración de los tiempos de soplado y retro lavado para mejorar el filtrado del agua, y reducir

tiempos de operación, para lo cual, se realizó algunas pruebas de funcionamiento dándonos los siguientes resultados.

3.7.1.4. Prueba 1

La mayoría de los tiempos en esta prueba son excesivos.

Tabla 3.3. Prueba 1

TIEMPOS	SEGUNDOS	RESULTADOS
Pre inicio	60	El tiempo es excesivo se drena el agua todavía cruda por el filtro
Espera de cerrado de agua potable	60	El tiempo es excesivo se drena el agua todavía cruda por el filtro
Espera de inicio de ciclo de soplado	30	El tiempo es excesivo se drena el agua todavía cruda por el filtro
Ciclo de soplado	480	El tiempo es el adecuado
Espera para paso de ciclo de retro lavado	60	El tiempo es excesivo, el agua sucia se filtra.
Retro lavado	480	El tiempo es excesivo, se limpia el agua del filtro antes, y se desperdicia agua potable.
Espera para el ciclo de drenado	30	Tiempo correcto, pero se puede disminuir para no demorar el proceso.
Drenado de agua potable	320	El tiempo es excesivo, se drena toda el agua del filtro y aun hay que esperar para que termine el ciclo.
Tiempo de espera para fin de proceso	60	Tiempo correcto, pero se puede disminuir para hacer al proceso en menor tiempo.


Elaborado por: Deivid Gaona

3.7.1.5. Prueba 2

Los tiempos en la segunda prueba resultan cortos.

Tabla 3.4. Prueba 2

TIEMPOS	SEGUNDOS	RESULTADOS
Pre inicio	15	El tiempo es demasiado corto, no se drena la cantidad de agua para el soplado, se desborda el agua en este ciclo y se desperdicia agua.
Espera de cerrado de agua potable	15	El tiempo es demasiado corto, no se drena la cantidad de agua para el soplado, se desborda el agua en este ciclo y se desperdicia agua.

CONTINÚA 

TIEMPOS	SEGUNDOS	RESULTADOS
Espera de inicio de ciclo de soplado	15	El tiempo es demasiado corto, no se drena la cantidad de agua para el soplado, se desborda el agua en este ciclo y se desperdicia agua.
Ciclo de soplado	480	El tiempo es el adecuado
Espera para paso de ciclo de retro lavado	30	El tiempo es correcto.
Retro lavado	300	El tiempo es demasiado corto, todavía queda el agua sucia, no se lava lo suficiente.
Espera para el ciclo de drenado	15	Tiempo correcto.
Drenado de agua potable	220	El tiempo es demasiado corto, no se drena toda el agua del filtro.
Tiempo de espera para fin de proceso	15	Tiempo correcto.

Elaborado por: Deivid Gaona

3.7.1.6. Prueba 3

Se mejoran los tiempos en la tercera prueba estando en el margen de correctos

Tabla 3.5. Prueba 3

TIEMPOS	SEGUNDOS	RESULTADOS
Pre inicio	15	El tiempo es el correcto mejorando el tiempo de espera del inicio del soplado.
Espera de cerrado de agua potable	15	El tiempo es el correcto mejorando el tiempo de espera del inicio del soplado.
Espera de inicio de ciclo de soplado	60	El tiempo es el correcto, se drena la suficiente cantidad de agua para no desbordar en el soplado.
Ciclo de soplado	480	El tiempo es el adecuado
Espera para paso de ciclo de retro lavado	30	El tiempo es correcto.
Retro lavado	320	El tiempo es el correcto, se lava toda el agua potable.
Espera para el ciclo de drenado	15	Tiempo correcto.
Drenado de agua potable	180	El tiempo es demasiado corto, no se drena toda el agua del filtro.
Tiempo de espera para fin de proceso	15	Tiempo correcto.

Elaborado por: Deivid Gaona

3.7.1.7. Prueba 4

En la prueba final tenemos los tiempos correctos dentro del margen de operación.

Tabla 3.6. Prueba 4

TIEMPOS	SEGUNDOS	RESULTADOS
Pre inicio	15	El tiempo es el correcto mejorando el tiempo de espera del inicio del soplado.
Espera de cerrado de agua potable	15	El tiempo es el correcto mejorando el tiempo de espera del inicio del soplado.
Espera de inicio de ciclo de soplado	60	El tiempo es el correcto, se drena la suficiente cantidad de agua para no desbordar en el soplado.
Ciclo de soplado	480	El tiempo es el adecuado
Espera para paso de ciclo de retro lavado	30	El tiempo es correcto.
Retro lavado	320	El tiempo es el correcto, se lava toda el agua potable.
Espera para el ciclo de drenado	15	Tiempo correcto.
Drenado de agua potable	240	El tiempo es el correcto se drena toda el agua del filtro.
Tiempo de espera para fin de proceso	15	Tiempo correcto.

Elaborado por: Deivid Gaona

3.7.2. Análisis de resultados.

- Durante las pruebas de cortocircuito se comprobó que las protecciones instaladas cumplieron su función durante la operación fuera de los parámetros diseñados de los dispositivos.
- También se comprobó que no hubo corrientes de fuga en los actuadores durante las pruebas de conexión a tierra.
- Las pruebas de funcionamiento y conexión entre el PLC-HMI fueron correctas ya que durante las pruebas de filtrado la operación se realizó según los parámetros establecidos.
- Se mejoraron los tiempos de funcionamiento del proceso gracias a las pruebas realizadas, calibrando en cada una de éstas hasta obtener el valor más óptimo para el sistema.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se comprobó que el sistema registra datos, eventos y alarmas de manera automática y rápida a través de la red de campo implementada en la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “LAGO AGRIO”.
- El proceso de la Planta de tratamiento de agua potable se modificó con lo más actual del mercado ya que era controlado por relés de tecnología descontinuada y los cuales también ya están fuera del mercado y pasó a ser controlado por un PLC Siemens S71200.
- Se mejoraron considerablemente los tiempos de mantenimiento ya que antes era demasiado difícil encontrar la falla en el sistema debido a la gran cantidad de relés que controlaban el proceso y ahora todo es controlado por el PLC.
- Se optimizó los tiempos de operación de la Planta de tratamiento de agua potable gracias al control total por medio del PLC y por ende se redujeron costos de energía al disminuir el tiempo de operación de los motores tanto de bombeo de agua como los motores de compresión de aire y sopladores
- Para realizar el retro lavado de filtros se necesita de tan sólo una persona, pues el sistema incorpora todas las señales de entrada y salida de los dispositivos de campo, haciendo que la labor sea más fácil y rápida, puesto que el operador no necesita trasladarse por el campo para manipular los actuadores y dando la posibilidad de realizar las tareas desde el cuarto de control y desde la terminal de operación ubicada en el tablero de control. Esto se determinó puesto que luego de realizarse la prueba en el filtro se obtuvo como resultado el correcto funcionamiento de los procesos de filtración y retro-lavado desde el cuarto de control y desde la terminal de operación.

- Se consiguió que el lavado sea adecuado evitando considerablemente el escape de la capa de arena del lecho filtrante y mejorando la vida útil del mismo.
- Mediante la implementación del sistema se consiguió a más de la estandarización del proceso de lavado de filtros, un aumento en la eficiencia, reducción en los costos de operación y por ende aumento de la producción, posibilitando que la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “LAGO AGRIO” brinde servicio de calidad a más usuarios

5.2. RECOMENDACIONES

- Los equipos de medición de turbiedad del agua potable son de mucha importancia en el proceso de filtración, por ello es recomendable incorporar estas señales al sistema HMI. Lo ideal sería obtener la turbiedad a la salida de cada unidad de filtración, para obtener una medida más precisa de la colmatación de cada filtro.
- Mantener en condiciones óptimas de trabajo el UPS para evitar problemas con la condición normal de funcionamiento de las válvulas en caso de tener falta de energía.
- Para colocar al sistema completo en funcionamiento, es necesario que las pruebas para determinar el tiempo adecuado de lavado se realicen en las unidades de filtración a las mismas condiciones, para lo cual el lecho filtrante debe ser de la misma proporción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. M. Rígola, Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales, Barcelona: Productiva, 1990.
- [2] A. E. y. o. Carrillo, Implementación de un Sistema Scada para el Control del Proceso de Retrolavado en la EMAAP-Q, Planta "El Placer", Latacunga.
- [3] D. Electric, Manual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD de Lago Agrio, Lago Agrio: GAD, 2000.
- [4] E.-2. DEGREE., «Rama Estudiantil de la UCSA,» 31 Enero 2011. [En línea]. Available: <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>. [Último acceso: 24 Marzo 2012].
- [5] T. J. Tonato, Diseño e Implementación de Agua en las Calderas de Vapor para la Refinería Estatal Esmeraldas, 2011.
- [6] V. F. J. Rodríguez, Proceso de Potabilización del Agua e Influencia del Tratamiento de Ozonización, Madrid: Días Santos, 2003.
- [7] I. E. d. N. INEN, Agua Potable, requisitos, Cuarta ed., Quito, 2011, p. 12.
- [8] E. +. Hauser, «Manual de Endress + Hauser,» 2011. [En línea]. Available: https://portal.endress.com/wa001/dla/5000103/7619/000/05/BA238FEN_0407.pdf. [Último acceso: 7 Enero 2014].
- [9] J. A. Trapote, Depuración y Regeneración de Aguas Residuales Urbanas, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [10] J. Arboleda, Teoría y práctica de la Purificación del Agua, Colombia: Mc. Graw Hill, 2000.
- [11] M. I. y. o. Aguilar, Tratamiento Físico Químico de aguas residuales, Murcia: Universidad de Murcia, 2002.
- [12] G. y. o. Acosta, Manual Hidráulico, Mexico: Harla, 1976.
- [13] R. S. Ramalho, Tratamiento de Aguas Residuales, Barcelona: Reverté S.A., 2003.
- [14] S. V. y. o. Garzón, Automatización del Tanque de Almacenamiento y Distribución del Sistema de Agua Potable de la Comunidad de Oyambarillo, 2004.

- [15] G. Etienne, Potabilización y Tratamiento de Agua, 2009.
- [16] J. B. E. y. C. L. Ranald V. Giles, Mecánica de los fluidos e hidráulica, McGraw-Hill, 1994.
- [17] P. J. A. Perez, Manual de Tratamiento de Aguas, Medellín: Universidad Nacional de Medellín, 1981.
- [18] I. E. C. IEC, IEC 158-2 - PROFIBUS-PA, El Instituto de Estudios Catalanes, 1990.
- [19] D. I. f. N. DIN, DIN 19245 - El Estándar Profibús, Instituto Alemán de Normalización, 1993.
- [20] C. y. o. Bonilla, Diseño e Implementación del Sistema de Control Manual y Automático para la Estación de Bombeo de Agua Potable Puengasi de la EMAAP-Q.
- [21] y. H. Endress, Medición del Caudal, Madrid: Edición Española, 2005.

ANEXOS

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Gaona Ramos Deivid Javier, bajo nuestra supervisión.

ING. WASHINGTON FREIRE
DIRECTOR DE PROYECTO

ING. FRANKLIN SILVA
CODIRECTOR DE PROYECTO

ING. KATYA TORRES
DIRECTORA DE CARRERA

DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO