

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías

Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES A ESCALA MENOR PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN POBLADO DE QUEQUEÑA

Tesis presentada por los Bachilleres:

Díaz Canazas, Luis Rene

Valencia Curaca, Roberto Antonio

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Electrónico

Asesor:

Mg. Ing. Delgado Barra, Lucy Angela

Arequipa-Perú

2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
URB. SAN JOSÉ S/N - UMACOLLO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INFORME DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

Los que suscriben:

Mg. Ing Lucy Delgado Barra
Ing. Pedro Rodríguez González

Dictaminadores del Borrador de Tesis titulado:

Diseño e implementación y Automatización de una
Planta de Tratamiento de Aguas Superficiales
u Escala Menor para la Producción de Agua Potable
en el Distrito de Quequena

Nombrados con Decreto Nro.: 007-DEPIE-2018, de fecha: 19 Noviembre 2018

Presentado por el (la) los Bachiller (es):

- Roberto Valencia Curaca
- Luis Rene Diaz Canzas

Cumplen con emitir su Dictamen:

- No registra observaciones, es procedente
- Registra observaciones que deben ser subsanadas (ver hoja adjunta)

Arequipa, 27 de Noviembre 2018

Lucy Delgado Barra
Lucy Delgado Barra
Código Nro.: 1546

Pedro Rodríguez González
Pedro Rodríguez González
Código Nro.: 1547

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi esposa e hijo por ser mi soporte y motivación cada día de mi vida para lograr este

Titulo

Mi madre, por creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro.

Mi padre Rene Díaz Ugarte (QEPD), por siempre creer en mí.

Mi familia, por siempre apoyarme en todo momento.

Luis Rene Díaz Canazas

Este trabajo va dedicado a Dios, por bendecirme con la vida y guiarme a lo largo de mi existencia, por darme la fuerza y apoyo durante este arduo camino, por permitir tener a mi lado personas buenas que me apoyaron incondicionalmente en mis estudios.

A mi esposa Johana, que día a día con su amor y apoyo incondicional me impulsa a ser mejor y no rendirme ante las adversidades.

A mis padres Belinda y Roberto, con su amor, paciencia, trabajo, esfuerzo y sacrificio han permitido que cumpla un sueño más en mi vida, gracias por todas sus enseñanzas.

A mis hermanos Victor y Marcos, por enseñarme a alcanzar mis sueños.

A toda mi familia, por brindarme su amor, compañía y apoyo.

Roberto Antonio Valencia Curaca

INTRODUCCIÓN

La carencia del recurso hídrico en nuestra localidad, en especial en las zonas más alejadas de la ciudad de Arequipa, incrementa la necesidad de sistemas de tratamiento de aguas superficiales para su uso como consumo humano. Asimismo, el factor tecnológico (automatización) que se utiliza en este tipo de procesos es una ayuda para el buen funcionamiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

La automatización y control de las depuradoras de agua superficial está bastante avanzada en todo el mundo, pero poco difundida en nuestra localidad, es por ello que se decidió ampliar los conocimientos de electrónica, interactuando con otras áreas como la química, mecánica e hidráulica de fluidos con la finalidad de obtener agua, que cumpla con los estándares para el consumo humano y del mismo modo ayudar a lugares alejados a obtener agua de calidad para su consumo.

“El Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud” establece los valores admitidos que debe tener el agua superficial para que sea considerada apta para el consumo humano, valores a los cuales los efluentes de las plantas de potabilización deben alcanzar.

En el CAPÍTULO 1 se desarrolla el PLANTEAMIENTO TEÓRICO, donde se identifica y describe el problema, muestran los objetivos, variables y alcance.

En el CAPÍTULO 2 se explica el MARCO TEÓRICO de cada etapa, que involucra la potabilización del agua, equipos y software para la supervisión y protocolos de comunicación.

Además de la normativa para el tratamiento de agua potable.

En el CAPÍTULO 3 corresponde al DISEÑO DE INGENIERÍA, donde se muestra el diseño y construcción del módulo de tratamiento, el desarrollo del programa, simulaciones de circuitos e implementación del PID.

En el CAPÍTULO 4 se muestran los RESULTADOS obtenidos.

RESUMEN

En la presente tesis se ha planteado el diseño, implementación y automatización de un módulo de tratamiento de aguas superficiales a escala menor para la producción de agua potable tomando como muestra las aguas superficiales provenientes del poblado de Quequeña (Arequipa). Debido a que, el distrito de Quequeña carece de los servicios básicos, entre ellos el de agua potable, teniendo éste servicio solo por algunas horas al día; es por ello que los pobladores deben almacenar agua proveniente de cisternas que pasan una o dos veces por semana, aumentando su costo de vida y disminuyendo su calidad de vida.

El módulo de tratamiento de aguas superficiales o de potabilización propuesto está compuesto por un tanque donde se receptiona y almacena el afluente, posteriormente pasa a una etapa de coagulación y de floculación con la finalidad de sedimentar los sólidos suspendidos, luego le sigue una etapa de clarificación y de filtrado. Finalmente el afluente pasa a la etapa de cloración. Este proceso de potabilización ha sido automatizado para que sea supervisado y operado de forma remota, utilizando transmisores de flujo que se encargan de sensor la cantidad de agua que ingresa tanto al tanque de coagulación como el de cloración, actuadores como electro válvulas on-off para el traspase de agua entre las diversas etapas, válvulas proporcionales que trabajan en la implementación de los procesos de control PID, sensores de nivel para controlar el nivel en los tanques y finalmente electrobombas para el paso de agua de una etapa a otra. La automatización incluye también la implementación del software para la supervisión con el programa Vijeo Designer de Schneider Electric.

Por último, se ha puesto en funcionamiento el módulo de potabilización obteniendo los parámetros de pH, turbidez, conductividad y coliformes dentro de los valores de Límites Máximos Permisibles (LMP) que cumplen con los valores de agua aptas para el consumo humano según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.

Palabras claves:

Módulo de potabilización de agua, SCADA, control PID, supervisión de procesos.

ABSTRACT

In this thesis the design, implementation and automation of a module of superficial water treatment has been developed in order to obtain drinking water in a minor scale. We had taken the superficial water from Quequeña (Arequipa) as sample, this due to the fact that Quequeña lacks the basic services, such as drinking water among others, having with drinking water only for a few hours. Therefore, there is a cistern that sells drinking water to the local villagers one or twice a week, increasing their life cost and diminishing their quality of life.

The module of superficial water treatment proposed is composed by a tank that receives and stores the influent, posteriorly the influent goes through a coagulation and flocculation stages in order to settle the suspended solids, then follows a clarification and filtration stages. Finally, the influent goes to chlorination stage. This purification process has been automated to make it supervised and operated remotely, using flow transmitters that are responsible for sensing the amount of water that enters both to the coagulation as the chlorination tanks, actuators as on-off electro valves for the transfer of water between the different stages, proportional valves that work in the implementation of PID control, level sensors to control water level in tanks and finally electric pumps for the passage of water from one stage to another. Automation also includes the implementation of Vijeo Designer software from Schneider Electric for monitoring.

To conclude, this module has been put into operation getting values of pH, conductivity, turbidity and coliforms that are suitable for human consumption according the D.S. N° 031-2010-SA

Key Words:

Water Purification module, SCADA, PID control, process supervision.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1.1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1.1. Identificación del problema.....	2
1.1.2. Descripción del problema	2
1.1.3. Justificación.....	6
1.2. OBJETIVOS	6
1.2.1. Objetivo principal.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. HIPÓTESIS	7
1.4. VARIABLES	7
1.4.1. Variable independiente	7
1.4.2. Variables dependientes	7
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	8
2.1. SUMINISTRO DE AGUA	9
2.1.1. Suministro de agua superficial o subterránea	9
2.2. NORMATIVA Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	9
2.2.1. Normativa.....	9
2.2.2. Parámetros de calidad del agua	10
2.3. POTABILIZACIÓN DE AGUA	14
2.3.1. Etapas de potabilización	16
2.3.1.1. Pre-tratamiento	17
2.3.1.2. Coagulación - floculación.....	17
2.3.1.3. Sedimentación	23

2.3.1.4. Filtración	24
2.3.1.5. Desinfección-cloración	26
2.4. AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS	27
2.5. CONTROL DEL PROCESO	28
2.5.1. Tipos de sistema de control.....	29
2.6. MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO (PWM)	30
2.7. EQUIPOS PARA EL CONTROL	32
2.7.1. Controlador lógico programable (PLC).....	32
2.7.1.1. Clasificación de los PLC	34
2.7.2. Variadores de velocidad.....	35
2.7.3. Sensor de flujo	39
2.7.3.1. Tipos de sensores de flujo	39
2.7.4. Agitadores	44
2.7.5. Válvula proporcional	45
2.8. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL.....	48
2.9. MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTROLADORES PID	49
2.10. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN PARA CONTROLADORES	51
2.10.1. Método de ajuste de Cohen Coon (Process Reaction Curve Method).....	51
2.10.2. Método de ajuste de Ziegler-Nichols de lazo abierto	52
2.10.3. Método de Smith.....	53
2.10.4. Método de Ciancone	54
2.10.5. Método de sintonización de síntesis directa	55
2.11. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN	56
2.12. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN: VIJEO DESIGNER	58
2.13. ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES.....	61
2.13.1. Protocolos de comunicación	62
 CAPÍTULO 3 DESARROLLO DE INGENIERÍA	66
3.1. DESARROLLO DEL PROYECTO	67
3.1.1. Memoria descriptiva	67
3.2. CÁLCULOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES.....	71
3.2.1. Volumen del recipiente de almacenamiento inicial	71

3.2.2. Volumen del tanque de coagulación	72
3.2.3. Volumen del tanque de floculación rectangular	73
3.2.4. Cálculos del tanque de sedimentación	75
3.2.5. Cálculos del tanque de almacenamiento secundario.....	75
3.2.6. Cálculos de filtro.....	75
3.2.7. Cálculos de potencia de motor para agitador	76
3.3. ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO	78
3.3.1. Recepción	78
3.3.2. Coagulación.....	79
3.3.2.1. Descripción del circuito.....	81
3.3.3. Floculación	86
3.3.4. Sedimentación	89
3.3.5. Filtración	90
3.3.6. Cloración	93
3.3.6.1. Cálculos para la dosificación.....	94
3.4. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO	94
3.5. LAZOS DE CONTROL DEL COAGULANTE.....	95
3.6. MODELAMIENTO MATEMÁTICO	98
3.7. CONTROL PID SIMULACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN.....	99
3.8. MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER & NICHOLS.....	103
3.9. EQUIPOS INSTALADOS EN EL TABLERO DE CONTROL.....	111
3.10. PLANO P&ID	117
3.11. PROGRAMA	120
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	125
4.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES.....	126
4.2. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	132
4.2.1. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio utilizando el equipo de prueba de jarras	132
4.2.2. Dosificación para la desinfección	136
4.2.3. Análisis de agua	136
4.2.4. Análisis de costos finales	139

CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
ANEXOS	149



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1	PORCENTAJES DE SERVICIOS BÁSICOS DE LA POBLACIÓN DE QUEQUEÑA	4
TABLA N° 2	TIPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SEGÚN VIVIENDAS Y OCUPANTES PRESENTES EN QUEQUEÑA	4
TABLA N° 3	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL PARA SER POTABILIZADAS CATEGORÍA 1: POBLACIONAL, RECREACIONAL Y SUBCATEGORÍA A: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	11
TABLA N° 4	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL PARA SER POTABILIZADAS CATEGORÍA 1: POBLACIONAL, RECREACIONAL Y SUBCATEGORÍA A: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	12
TABLA N° 5	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA AL SALIR DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS	13
TABLA N° 6	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA AL SALIR DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA	14
TABLA N° 7	CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA	15
TABLA N° 8	CONCENTRACIONES EN EL USO DE REACTIVOS QUÍMICOS 19	
TABLA N° 9	SÍMBOLOS DE NOMENCLATURA DE TURBIDEZ	23
TABLA N° 10	UNIDADES DE TURBIDEZ	23
TABLA N° 11	CONCENTRACIÓN DE CLORO AL 5 %	27
TABLA N° 12	MÉTODO DE AJUSTE DE COHEN	51
TABLA N° 13	MÉTODO DE AJUSTE DE ZIEGLER-NICHOLS DE LAZO ABIERTO	52
TABLA N° 14	MÉTODO DE SMITH: CAMBIOS EN EL PUNTO DE CONSIGNA	54

TABLA N° 15 MÉTODO DE SÍNTESIS DIRECTA.....	56
TABLA N° 16 VOLUMEN DE TANQUE DE COAGULACIÓN	84
TABLA N° 17 DIMENSIONES Y VOLUMEN DE TANQUE DE FLOCULACIÓN.....	87
TABLA N° 18 PLACA DE DATOS DE ELECTROBOMBA TRIFÁSICA 220 V	88
TABLA N° 19 VOLÚMENES DE TANQUE DE SEDIMENTACIÓN.....	89
TABLA N° 20 MEDIDAS DEL TANQUE DE FILTRACIÓN.....	91
TABLA N° 21 SUSTRATOS DEL TANQUE DE FILTRACIÓN.....	91
TABLA N° 22 PLACA DE ELECTROBOMBA MONOFÁSICA 220 V.....	92
TABLA N° 23 VALORES DE SINTONIZACIÓN, MÉTODO UNO.....	106
TABLA N° 24 TABLA DE ASIGNACIÓN	119
TABLA N° 25 CANTIDAD DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....	127
TABLA N° 26 SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO AL 1 % QUE DEBEN DOSIFICARSE EN LOS VASOS SEGÚN CAPACIDAD (1 O 2 LITROS).....	134
TABLA N° 27 DOSIS DE COAGULANTE	135
TABLA N° 28 DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.....	136
TABLA N° 29 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUPERFICIAL ANTES DE SER TRATADA	137
TABLA N° 30 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUPERFICIAL DESPUÉS DE SER TRATADA.....	137
TABLA N° 31 MUESTRA DE AGUA POTABLE DE CISTERNA	137
TABLA N° 32 MUESTRAS DE PTAP CON MULTIPARÁMETRO	138
TABLA N° 33 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PTAP.....	139
TABLA N° 34 RESUMEN DE PAGO DE AGUA POR PARTE DE LA POBLACIÓN	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO Nº 1	PTA DE QUEQUEÑA.....	3
GRÁFICO Nº 2	COSTO DE AGUA POTABLE EN POBLADO DE QUEQUEÑA POR ABASTECIMIENTO DE CISTERNA.....	5
GRÁFICO Nº 3	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	16
GRÁFICO Nº 4	PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN.....	18
GRÁFICO Nº 5	DEPÓSITOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.....	20
GRÁFICO Nº 6	SISTEMA DE MEZCLA LENTA USANDO DEPÓSITO LABERÍNTICO	21
GRÁFICO Nº 7	MEZCLADORES HIDRÁULICOS.....	22
GRÁFICO Nº 8	SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS.....	24
GRÁFICO Nº 9	FILTRO DE ARENA.....	26
GRÁFICO Nº 10	DIAGRAMA DE CONTROL.....	29
GRÁFICO Nº 11	VALORES MÁXIMO Y MÍNIMO EN UNA ONDA CUADRADA	31
GRÁFICO Nº 12	CICLO DE TRABAJO DE UNA SEÑAL CUADRADA.....	32
GRÁFICO Nº 13	PLC.....	33
GRÁFICO Nº 14	PLC COMPACTOS.....	35
GRÁFICO Nº 15	ESQUEMA EN BLOQUES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD	37
GRÁFICO Nº 16	EJEMPLO DE PAR CRECIENTE LINEALMENTE CON LA VELOCIDAD.....	37
GRÁFICO Nº 17	VARIADOR ALTIVAR 12.....	38
GRÁFICO Nº 18	SENSOR DE FLUJO DE PISTÓN.....	39
GRÁFICO Nº 19	SENSOR DE FLUJO DE PALETA.....	40
GRÁFICO Nº 20	MEDIDOR DE FLUJO DE VORTEX	43
GRÁFICO Nº 21	FLUJOMETRO DE PALETAS.....	43

GRÁFICO N° 22	AGITADORES VERTICALES PARA MEZCLA DE LÍQUIDOS	45
GRÁFICO N° 23	CURVA DE ELEVACIÓN DE VÁSTAGO.....	45
GRÁFICO N° 24	FRACCIÓN DE CAUDAL NOM.....	46
GRÁFICO N° 25	ELEVACIÓN DE VÁSTAGO EN VÁLVULA	46
GRÁFICO N° 26	ESQUEMA INTERNO DE VÁLVULA PROPORCIONAL.....	47
GRÁFICO N° 27	VÁLVULA PROPORCIONAL.....	48
GRÁFICO N° 28	BLOQUE FUNCIONAL PARA UNA VÁLVULA PROPORCIONAL.....	49
GRÁFICO N° 29	EJEMPLO DE DISEÑO CON LAS REGLAS ZIEGLER-NICHOLS EN LAZO ABIERTO.....	53
GRÁFICO N° 30	MÉTODO DE CIANCONE.....	55
GRÁFICO N° 31	SOFTWARE VIJEO DESIGNER.....	58
GRÁFICO N° 32	ESQUEMAS DEL PROYECTO EN VD.....	59
GRÁFICO N° 33	ÁREAS DE TRABAJO EN VD.....	60
GRÁFICO N° 34	NIVELES EN ARQUITECTURA DE REDES INDUSTRIALES..	61
GRÁFICO N° 35	PROTOCOLO MODBUS TCP/IP.....	63
GRÁFICO N° 36	PROTOCOLO TCP/IP.....	65
GRÁFICO N° 37	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN A ESCALA MENOR	68
GRÁFICO N° 38	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN A ESCALA MENOR.....	69
GRÁFICO N° 39	ESQUEMA DE DOSIFICACIÓN (COAGULACIÓN Y CLORADO).....	70
GRÁFICO N° 40	TANQUE DE COAGULACIÓN.....	74
GRÁFICO N° 41	TABLA DE NÚMERO DE REYNOLDS Y NÚMERO DE POTENCIA	77
GRÁFICO N° 42	TANQUE DE RECEPCIÓN.....	79
GRÁFICO N° 43	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL LAZO DE CONTROL.....	80
GRÁFICO N° 44	CIRCUITO PWM PARA CONTROL DE MOTOR DE CC DE 12 V	81

GRÁFICO N° 45 SIMULACIÓN DE CIRCUITO EN WORKBENCH.....	83
GRÁFICO N° 46 ETAPA DE COAGULACIÓN.....	84
GRÁFICO N° 47 PLANO DE ETAPA DE COAGULACIÓN.....	85
GRÁFICO N° 48 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE	85
GRÁFICO N° 49 PLANO DE ETAPA DE FLOCULACIÓN.....	87
GRÁFICO N° 50 ETAPA DE FLOCULACIÓN.....	88
GRÁFICO N° 51 CORTE LATERAL Y DE PLANTA DEL TANQUE SEDIMENTADOR CON LAMELAS	89
GRÁFICO N° 52 ETAPA DE FLOCULACIÓN.....	90
GRÁFICO N° 53 PLANO DE FILTRO MULTIMEDIOS	91
GRÁFICO N° 54 ETAPA DE FILTRACIÓN.....	92
GRÁFICO N° 55 DOSIFICACIÓN DEL CLORO	93
GRÁFICO N° 56 LAZO DE CONTROL DEL COAGULANTE.....	97
GRÁFICO N° 57 PID EN LA DESINFECCIÓN.....	98
GRÁFICO N° 58 ESQUEMA DE DOSIFICACIÓN EN TANQUE DE FLOCULACIÓN.....	100
GRÁFICO N° 59 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN TIEMPO CONTINUÓO ..	103
GRÁFICO N° 60 RESPUESTA ESCALÓN EN MATLAB	104
GRÁFICO N° 61 RESPUESTA ESCALÓN Y APROXIMACIÓN LINEAL.....	105
GRÁFICO N° 62 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE UNA PLANTA CON UN CONTROL PID IMPLEMENTADO Y RETROALIMENTACIÓN.....	107
GRÁFICO N° 63 RESPUESTA ESCALÓN SIN PID.....	108
GRÁFICO N° 64 BLOQUES DE SIMULACIÓN EN SIMULINK.....	109
GRÁFICO N° 65 AUTO TUNIG DEL BLOQUE PID.....	109
GRÁFICO N° 66 AUTO TUNIG PARA EL PROCESO DE CLORACIÓN.....	110
GRÁFICO N° 67 PLC COMPACTO TWDLCAA24DRF.....	111
GRÁFICO N° 68 MÓDULO ANALÓGICO TWDAMM3HT.....	112
GRÁFICO N° 69 MÓDULO ANALÓGICO TWDALM3LT	113

GRÁFICO N° 70 MÓDULO ETHERNET CONNEXIUM.....	114
GRÁFICO N° 71 ALTIVAR 12	115
GRÁFICO N° 72 GUARDA MOTOR SIRIUS R3.....	116
GRÁFICO N° 73 GRAFCET DEL PROGRAMA	124
GRÁFICO N° 74 PTAP TERMINADA	126
GRÁFICO N° 75 TANQUE DE COAGULACIÓN	127
GRÁFICO N° 76 TANQUE DE FLOCULACIÓN	128
GRÁFICO N° 77 TANQUE DE DECANTACIÓN	129
GRÁFICO N° 78 TANQUE DE FILTRACIÓN.....	129
GRÁFICO N° 79 TABLERO DE CONTROL	130
GRÁFICO N° 80 PANTALLA DE SUPERVISIÓN EN VIJEO DESIGNER.....	131
GRÁFICO N° 81 PANTALLA DE SUPERVISIÓN GENERADA EN VIJEO DESIGNER.....	132
GRÁFICO N° 82 POSIBLES UBICACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS PTAP	140



CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Identificación del problema

La falta de un tratamiento adecuado para la producción de agua potable para el consumo humano en la localidad de Quequeña (Arequipa).

1.1.2. Descripción del problema

En la actualidad la municipalidad distrital de la villa de Quequeña administra el servicio básico de agua potable mediante la captación de agua del canal de riego localizado en la Quebrada el Chiflón y de este es llevado a una “Planta de Tratamiento” que consta de las siguientes etapas (Barrios Cruz, 2011):

- Captación.
- Sedimentación y filtro lento.
- Redes de distribución que datan de más de 15 años de antigüedad.

GRÁFICO N° 1. PTA DE QUEQUEÑA.



Fuente: Elaboración propia.

Esta planta no cumple con los estándares para consumo humano definidos en el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud” (Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, 2011) debido a que no cuenta con una etapa de desinfección. Además de que su planta no se da abasto para suplir la necesidad del agua potable a todos sus pobladores por lo que una a dos veces por semana una cisterna les vende agua potable.

Es por ello que las autoridades de la municipalidad de Quequeña, están en la obligación de implementar una planta de tratamiento que cumpla con los requerimientos que exige el “Ministerio de Salud”, entregando agua de calidad y que abastezca a toda la población del distrito.

La población del distrito de Quequeña según el último censo de población y de vivienda realizado en el 2007, es de 1219 habitantes (INEI, 2007), los cuales carecen de agua potable debido a que se encuentran ubicados en una zona alejada de la ciudad de Arequipa, como se muestra en la tabla N° 1.

TABLA N° 1. PORCENTAJES DE SERVICIOS BÁSICOS DE LA POBLACIÓN DE QUEQUEÑA.

SERVICIOS BÁSICOS	TOTAL	%
Vivienda sin agua potable de un 100%	279	79.82
Vivienda sin desagüe de un 100%	342	97.71
Viviendas sin electricidad de un 100%	93	26.61
Viviendas precarias de un 100%	24	6.88

Fuente: Plan de desarrollo estratégico concertado del distrito de Quequeña, 2007.

TABLA N° 2. TIPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SEGÚN VIVIENDAS Y OCUPANTES PRESENTES EN QUEQUEÑA.

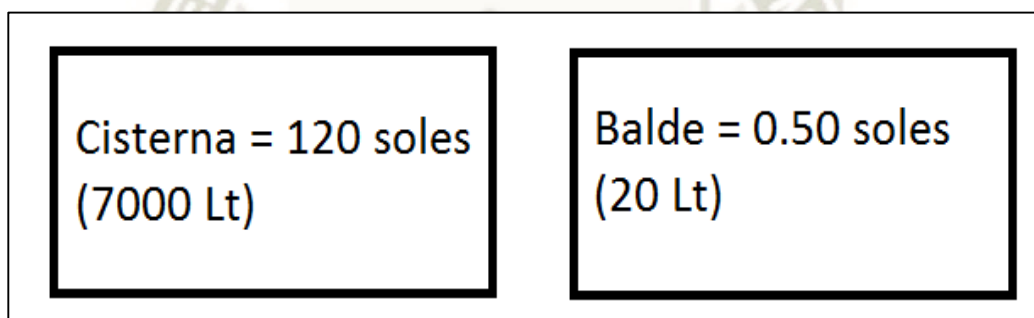
	TOTAL	TIPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA							
		Red pública dentro de la vivienda (agua potable)	Red pública fuera de la vivienda pero dentro de la edificación (agua potable)	Pilón de uso público (agua potable)	Camión-cisterna u otro similar	Pozo	Río, acequia, manantial o similar	Vecino	Otro
Viviendas particulares	313	219	-	7	10	6	59	11	1
Ocupantes presentes	1219	953	-	23	21	10	171	40	1

Fuente: Recuperado de INEI, Sistema de Consulta de Resultados Censales, 2007.

Como se deduce el principal problema es la falta de agua potable en un porcentaje del 79.8% del total de la población (Quequeña, 2003). Los pobladores de Quequeña no tienen acceso al agua potable las 24 horas del día y únicamente 953 habitantes poseen agua potable pero por días y horas específicas, mientras que 266 habitantes no poseen agua potable y se abastecen de un pilón público, cisterna, acequia y otros como se muestra en la tabla N° 2 (INEI, 2007).

La población realiza un pago por el reparto de agua potable en el distrito (cisterna), que se muestra en el gráfico N° 2.

GRÁFICO N° 2. COSTO DE AGUA POTABLE EN POBLADO DE QUEQUEÑA POR ABASTECIMIENTO DE CISTERNA.



Fuente: Elaboración propia.

Es por ello que en la presente tesis se propone la construcción de un módulo de tratamiento de agua superficial a escala menor con un volumen de producción de $0.00175 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, el alcance de este proyecto está basado en la producción de agua que pase por todas las etapas de potabilización y cumpla con los “Estándares de Calidad de Agua para Consumo Humano según el D.S. N° 031-2010-SA”. Adicionalmente brindarle a este módulo de tratamiento un funcionamiento más adecuado a través de la automatización y supervisión.

De acuerdo a estudios realizados por la autoridad nacional del Agua, el consumo por persona en zonas urbanas debe ser de mínimo 100 L por persona, con este dato podemos afirmar que nuestro proyecto cumple con la dotación de agua para una familia de 4 personas con una producción de 6 horas diarias en nuestra planta de tratamiento a escala.

1.1.3. Justificación

La presente tesis involucra el diseño e implementación de un prototipo (módulo) automatizado y supervisado de tratamiento de agua superficial proveniente del poblado de Quequeña (Arequipa) para la producción de agua potable a escala menor.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo principal

Diseñar e implementar un prototipo de una planta automatizada de tratamiento de aguas superficiales para la producción de agua potable en el poblado de Quequeña.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Implementar y automatizar la planta de potabilización de aguas superficiales.
2. Definir un control y supervisión para la planta de tratamiento.
3. Demostrar con mediciones que el agua tratada al final del proceso es potable cumpliendo con el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA”.

1.3.HIPÓTESIS

- Es posible que la implementación y automatización de un módulo de tratamiento permita potabilizar el agua de río proveniente del distrito de Quequeña y hacerla apta para el consumo humano.
- Es posible definir un control y un sistema de supervisión para la planta de tratamiento.
- Verificar con un análisis final el cumplimiento del reglamento en la calidad de agua tratada por el módulo.

1.4.VARIABLES

1.4.1. Variable independiente

- Flujo de floculante.
- Flujo de desinfectante.

1.4.2. Variables dependientes

- Constante de proporcionalidad (K_p).
- Tiempo de integración (T_i).
- Tiempo de derivación (T_d).



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1.SUMINISTRO DE AGUA

2.1.1. Suministro de agua superficial o subterránea

El suministro del agua puede ser a través de aguas superficiales o aguas subterráneas (Ferrer, 2012).

Las fuentes subterráneas, es una fuente de agua dulce que se encuentra, como su nombre lo indica, en zonas profundas por lo que para ser explotada debe ser extraída lo que implica un costo económico adicional (Ferrer, 2012) ya que puede arrastrar metales disminuyendo su calidad e incrementando también el costo de potabilización (Felix Cañedo, 2010). Para la captación de fuentes subterráneas se realiza mediante pozos y sondeos, éstos se diferencian en que son más profundos que los pozos.

Las fuentes superficiales de agua dulce corresponden al agua de manantiales, presas, ríos y humedales (Felix Cañedo, 2010). Estas corrientes pueden presentar cambios en su composición debido a las lluvias y estaciones del año (Ferrer, 2012).

En ambos casos el agua tendrá impurezas, ya que no hay agua natural que sea químicamente pura por lo que se requiere de su tratamiento para su consumo humano (Ferrer, 2012).

2.2.NORMATIVA Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

2.2.1. Normativa

Las normas que se rigen en el Perú para la potabilización del agua superficial son:

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, donde se aprueban “Estándares de Calidad Ambiental” (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias, este decreto

ha compilado las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los “Estándares de Calidad Ambiental” (ECA) para agua. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos (Peruano, D.S. N°004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias", 2017).

- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN, donde se establecen los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental” para el agua, en el presente caso se indican los valores mínimos que deben tener las aguas superficiales para ser potabilizadas (Peruano, D.S. N°002-2008 "Aprueban los Estandares Nacionales de Calidad ambiental para agua", 2008).
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA: “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, donde se establecen las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, entre ellas los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua potabilizada para que sea apta para el consumo humano (Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, 2011).

2.2.2. Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua están en función a la normativa establecida en los dos decretos supremos mencionados anteriormente.

El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM establece los parámetros de calidad que el agua superficial debe cumplir para que sea tratada (potabilizada) por desinfección, un tratamiento convencional o avanzado (Tabla N° 3 y N° 4).

TABLA N° 3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL PARA SER POTABILIZADAS: CATEGORÍA 1: POBLACIONAL, RECREACIONAL Y SUBCATEGORÍA A: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOQUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	0.5	1.7	1.7
Cianuro total	mg/L	0.07	**	**
Cianuro libre	mg/L	**	0.2	0.2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	uS/cm	1500	1600	**
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de oxígeno	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0.003	**	**
Fluoruros	mg/L	1.5	**	**
Fósforo total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Materiales flotantes de origen antrópico		Ausencia de material flotante de origen antrópico		
Nitratos	mg/L	50	50	50
Nitritos	mg/L	3	3	**
Amoníaco	mg/L	1.5	1.5	**
Oxígeno disuelto	mg/L	≥6	≥5	≥4
Potencial de hidrógeno	unidad de pH	6.5-8.5	5.5-9	5.5-9
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

NOTA: ** significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría.

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

TABLA N° 4. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL PARA SER POTABILIZADAS: CATEGORÍA 1: POBLACIONAL, RECREACIONAL Y SUBCATEGORÍA A: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2000	20000
Formas parasitarias	N°organismo /L	0	**	**
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismo de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estados evolutivos) (f)	N°organismo /L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

NOTA: ** significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría, (f): microorganismos unicelulares.

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

En la tabla N° 5 y tabla N° 6, se establecen los parámetros de calidad que debe cumplir el agua potabilizada (a la salida de la planta de potabilización) según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.

TABLA N° 5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA AL SALIR DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS.

PARÁMETROS	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Bacterias coliformes totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
<i>E. Coli</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
Bacterias coliformes termotolerantes o fecales	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
Bacterias heterotróficas	UFC/100 mL a 35°C	500
Huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	N° org/L	0
Virus	UFC/mL	0
Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus estados evolutivos	N° org/L	0

NOTA: UFC es Unidad Formadora de Colonia, () en caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples =<1.8/100 ml.*

Fuente: Decreto Supremo N° 031-2010-SA.



TABLA N° 6. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA AL SALIR DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA.

PARÁMETROS	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	-	Aceptable
Sabor	-	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl/L	250
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250
Dureza total	mg CaCO ₂ /L	500
Amoníaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2
Zinc	mg Zn/L	3
Sodio	mg Na/L	200

NOTA: UCV es Unidad de Color Verdadero, UNT es Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

Fuente: Decreto Supremo N° 031-2010-SA.

2.3.POTABILIZACIÓN DE AGUA

La potabilización del agua es un proceso que tiene la finalidad de eliminar los compuestos volátiles, seguida de la sedimentación o precipitación de las impurezas con el uso de floculantes, la filtración y la desinfección (Idrovo, 2010).

Existen distintos métodos para la purificación de agua, sin embargo, su efectividad va a depender de la fuente de agua (Felix Cañedo, 2010), (Idrovo, 2010) y del tipo de aplicación en la que se va a utilizar el agua. Es así que las aguas superficiales (procedentes de los ríos) requieren de un tratamiento mucho más complejo, y por ende, más costoso antes de ser

suministrada a una población, debido a que están en contacto directo con el medio ambiente (Idrovo, 2010), (Felix Cañedo, 2010).

Los procesos de tratamiento de agua para consumo humano se realizan con el objeto fundamental de mejorar la calidad física, química y bacteriológica del agua proveniente de una toma, a fin de eliminar los contaminantes presentes y brindar agua, apta, inocua y aprovechable para el hombre (Chulluncuy Camacho, 2011). Los contaminantes presentes en el agua se muestran en la tabla N° 7.

TABLA N° 7. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA.

FÍSICOS	QUÍMICOS	GASEOSOS	BIOLÓGICOS
Color	Materia orgánica	Anhidrido carbónico	Bacterias
Olor y sabor	Acidez/alcalinidad	Metano	Protozoos
Grasas y aceites	pH	Ácido sulfhídrico	Animales
Espumas	Nitrógeno		Plantas
Radiactividad	Fósforo		Virus
Temperatura	Salinidad		
Sólidos disueltos	Metales pesados		
Sólidos en suspensión	Detergentes		
	Compuestos tóxicos		
	Pesticidas		

Fuente: Chulluncuy Camacho (2011).

Para la purificación y consumo del agua, esta debe pasar por diferentes procesos de tratamiento que comprenden las siguientes etapas (Chulluncuy Camacho, 2011), (Idrovo, 2010):

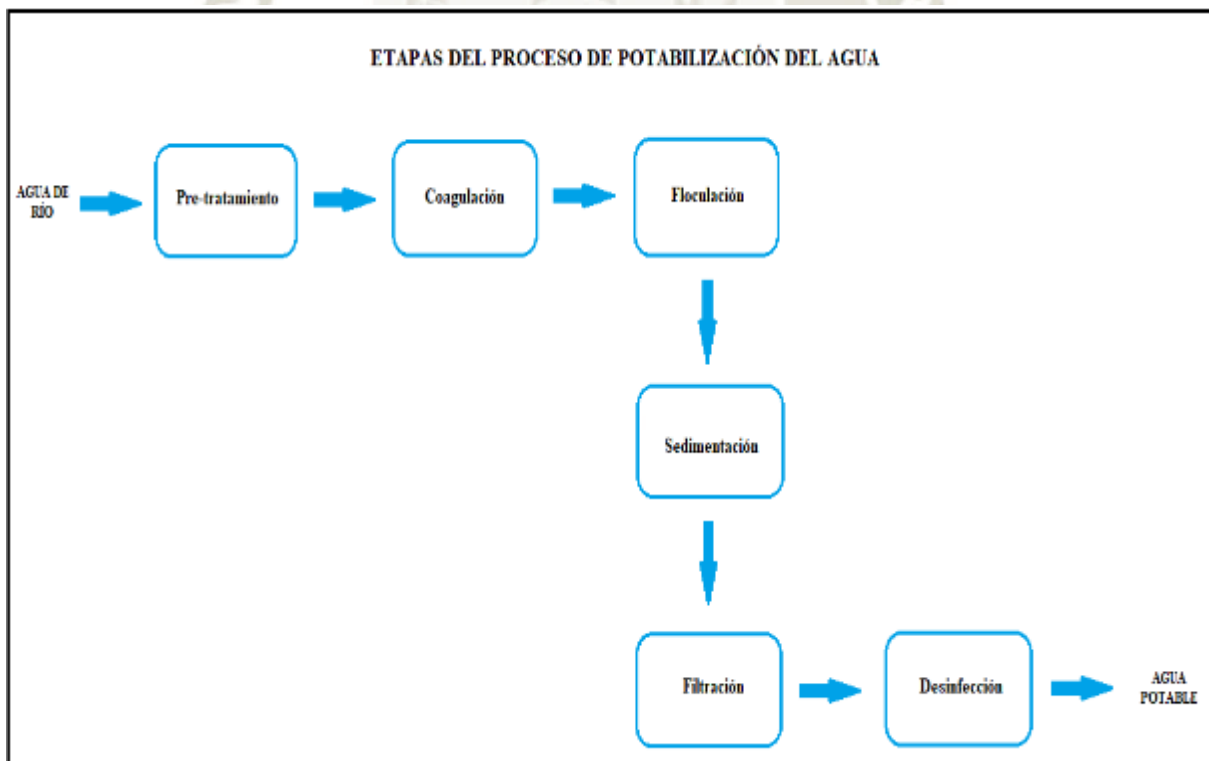
- Pre- tratamiento.
- Coagulación.
- Floculación.

- Sedimentación.
- Filtración.
- Desinfección.

2.3.1. Etapas de potabilización

Para establecer las etapas de potabilización es necesario conocer las características físico-químicas y biológicas de la fuente de agua (Idrovo, 2010). En el gráfico N° 3 se muestra el diagrama de bloques del proceso de tratamiento de agua para ser potabilizada.

GRÁFICO N° 3. **DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.**



Fuente: Elaboración propia.

La potabilización del agua para su consumo humano comprende seis etapas, sin embargo el grado de complejidad de estas etapas dependerá de las características del agua cruda (Chulluncuy Camacho, 2011).

2.3.1.1.Pre-tratamiento

El pre-tratamiento o cribado, es el primer paso en la depuración del agua que consiste en la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos (ramas, madera, piedras, plásticos, etc.), con el uso de rejas cuya retención es importante para el buen funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora (Chulluncuy Camacho, 2011).

2.3.1.2.Coagulación – floculación

a. Proceso de coagulación – floculación

La **coagulación** consiste en el agregado de productos químicos (coagulantes) para la desestabilización de los coloides o turbiedad del agua (Idrovo, 2010), (Chulluncuy Camacho, 2011). La coagulación es un etapa muy importante ya que de ella depende la eficiencia de las etapas siguientes (floculación, sedimentación y filtración), ya que a través de ella se eliminan las propiedades que hacen que las partículas en suspensión (que conforman la turbiedad y el color) se mantengan juntas de tal forma que sean decantadas en la siguiente etapa de floculación (Chulluncuy Camacho, 2011), (Ferrer, 2012), (Idrovo, 2010).

Los coagulantes usados pueden ser el sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico y el cloro-sulfato férrico (Idrovo, 2010), (Etienne, 2009).

Este proceso dura pocos segundos (desde decimas de segundos hasta 100 segundos, según las características del agua) por lo que es necesario que se produzca una agitación rápida, que se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida (Idrovo, 2010).

La **floculación** es el proceso a través del cual las partículas desestabilizadas en la coagulación chocan entre sí, por efecto de la agitación, y se aglomeran conformando los flóculos o flocs (Chulluncuy Camacho, 2011) para su posterior precipitación (Etienne, 2009), (Idrovo, 2010).

Para la formación de los flóculos se requiere de una agitación lenta la cual se hace dentro de un floculador para que las partículas se unan y formen otras de mayor tamaño, llamados flóculos y finalmente sedimenten o precipiten en la etapa siguiente de sedimentación (Idrovo, 2010), (Chulluncuy Camacho, 2011), (Bello, 2006). En el gráfico N° 4 se muestra la etapa de coagulación-floculación donde se muestra el mezclado rápido y lento indicado para cada etapa respectiva.

GRÁFICO N° 4. PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN.



Fuente: National Academy of Sciences (2007).

TABLA N° 8. CONCENTRACIONES EN EL USO DE REACTIVOS QUÍMICOS.

Producto	Estado	Riqueza	Solución trabajo	Dosis	pH óptimo
Sulfato de aluminio alúmina $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Grano Líquido	~100% líquido 50%	~10%	< 35-45 mg/L	5.8 a 7.4
Cloruro férrico $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Sólido (cristalina o anhidra) Líquido	37%-47%		<25-35 mg/L	3.5 a 6.5 y > 8.5
Sulfato ferroso $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sólido	09%-94%		<50 mg/L	3.5 a 6.5 y > 8.5
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$	Sólido	09%-94%		< 25 mg/L	3.5 a 7 y > 9.0
Polímeros	Polvo Líquido	100%	1%	c: < 5 mg/L F: < 0.5 mg/L	
Policloruro aluminio $Al_2(OH)_3Cl$				15-100 mg/L	
Cal $Ca(OH)_2$	Polvo 0.5 kg/L	85%-99%	lechada 10%	Corrección pH 0.39 mg/mg alúm. 40% dosis sulf. Fe+3 26% dosis sulf. Fe+2	
Carbono activo	Polvo Grano	100%	Suspensión	< 25 mg/L	

Fuente: Adaptado de Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

b. Cámaras de coagulación y floculación

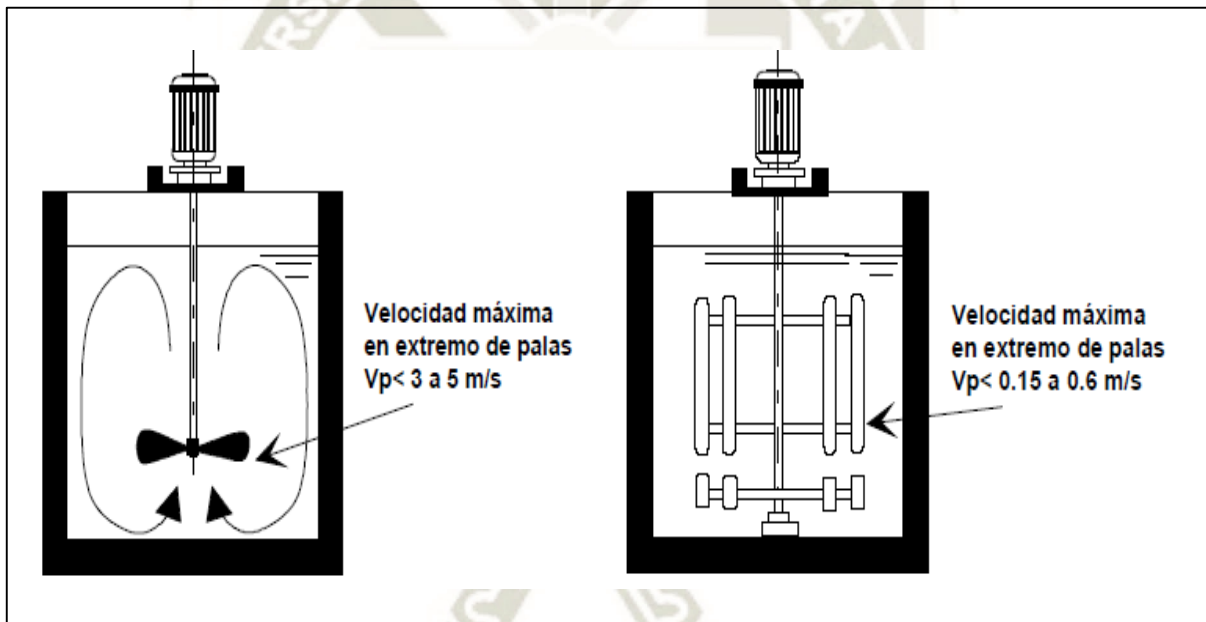
El proceso de coagulación se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida, mientras que la floculación en un floculador. En ambos casos se requiere de agitación por lo que se usa sistemas mecánicos o tanques que incluyen un sistema de agitación.

Los sistemas mecánicos, tanto para la coagulación y floculación, son tanques o depósitos que poseen un sistema de agitación compuesto por una turbina con eje vertical u horizontal (Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano, sf).

Las características del sistema de agitación de **mezcla rápida (coagulación)** son (Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano, sf).

- La energía de mezcla usada para la agitación se regula mediante las revoluciones del motor (rpm) y el diseño de la hélice.
- Para las unidades de tratamiento de mezcla rápida la velocidad periférica de la hélice suele oscilar entre 3 y 5 m/s con potencias que van desde los 35 a los 70 CV/m³/s (Gráfico N° 5).

GRÁFICO N° 5. DEPÓSITOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.



Fuente: Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

Para el caso de **mezcla lenta (floculación)** se suelen utilizar paletas en vez de hélices y las características son (Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano, sf):

- Las velocidades periféricas de las paletas se limitan a velocidades de 0.15 a 0.6 m/s.
- No se suelen superar los 2 ó 3 CV/m³/s.

- Tiempos de retención hidráulica más altos que los de coagulación, por lo que los volúmenes de depósito son mayores. Los tanques suelen ser largos con varios agitadores de eje vertical u horizontal.
- Otra forma son el uso de depósitos laberínticos (Gráfico N° 6).
- Los floculadores hidráulicos son unidades de flujo horizontal o vertical con pantallas laterales (Gráfico N° 7).

GRÁFICO N° 6. SISTEMA DE MEZCLA LENTA USANDO DEPÓSITO LABERÍNTICO.



Fuente: Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

GRÁFICO N° 7. MEZCLADORES HIDRÁULICOS.



Fuente: Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

c. Turbidez

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

Las unidades de turbidez actualmente utilizadas son:

TABLA N° 9. SÍMBOLOS DE NOMENCLATURA DE TURBIDEZ.

NOMBRE	SÍMBOLO Y UNIDAD
Unidad Nefelométrica de turbidez	NTU (1)
Unidad Nefelométrica de Formazina	FNU (1)

Fuente: Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

Se tiene que: 1 NTU = 1 FNU

Anteriormente se utilizaban las unidades de turbidez Jackson (JTU) basadas en el antiguo método Jackson. Con lo que se tienen los siguientes factores de conversión de unidades:

TABLA N° 10. UNIDADES DE TURBIDEZ.

UNIDAD	JTU	NTU/FNU
JTU	1	19
NTU/FNU	0.053	1

Fuente: Tejero, Suarez , Jácome, & Temprano (sf).

2.3.1.3.Sedimentación

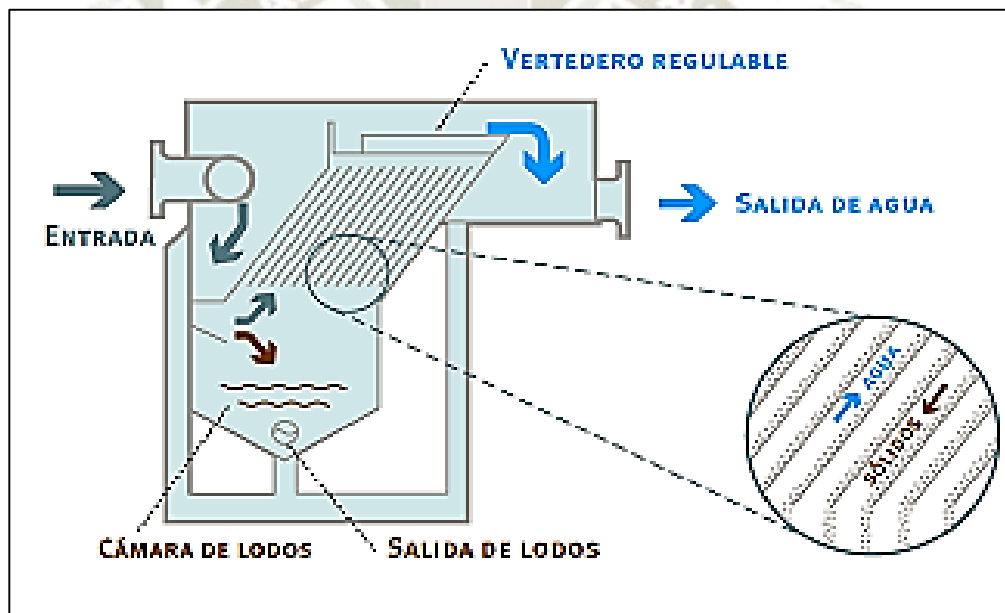
La sedimentación es el proceso físico a través del cual las partículas en suspensión o flóculos, provenientes de la etapa de floculación, son removidas debido al efecto de la gravedad (Chulluncuy Camacho, 2011), (Bello , 2006).

La sedimentación se lleva a cabo en decantadores o sedimentadores (Idrovo, 2010). En el tanque de sedimentación la velocidad de circulación del agua es reducida para que en el fondo

queden los lodos por precipitación y en la parte superior el agua clara para que ésta pase a la etapa de filtración (Bello , 2006), (Idrovo, 2010).

En el gráfico N° 8 se muestra un sedimentador donde se explica la etapa de sedimentación, además de que las placas laterales ayudan a la precipitación de los lodos y por ende a la clarificación del agua. Los flóculos precipitados van hacia la cámara de lodos donde luego son eliminados por la salida de lodos.

GRÁFICO N° 8. SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS.



Fuente: Novarsa, 2017.

2.3.1.4. Filtración

Etapa posterior a la sedimentación, que tiene por finalidad completar el proceso de remoción de los sólidos en suspensión y coloidales (entre ellas bacterias y virus) a través de un medio

poroso (Idrovo, 2010), (Chulluncuy Camacho, 2011) que retiene los sólidos que no fueron removidos en las etapas anteriores.

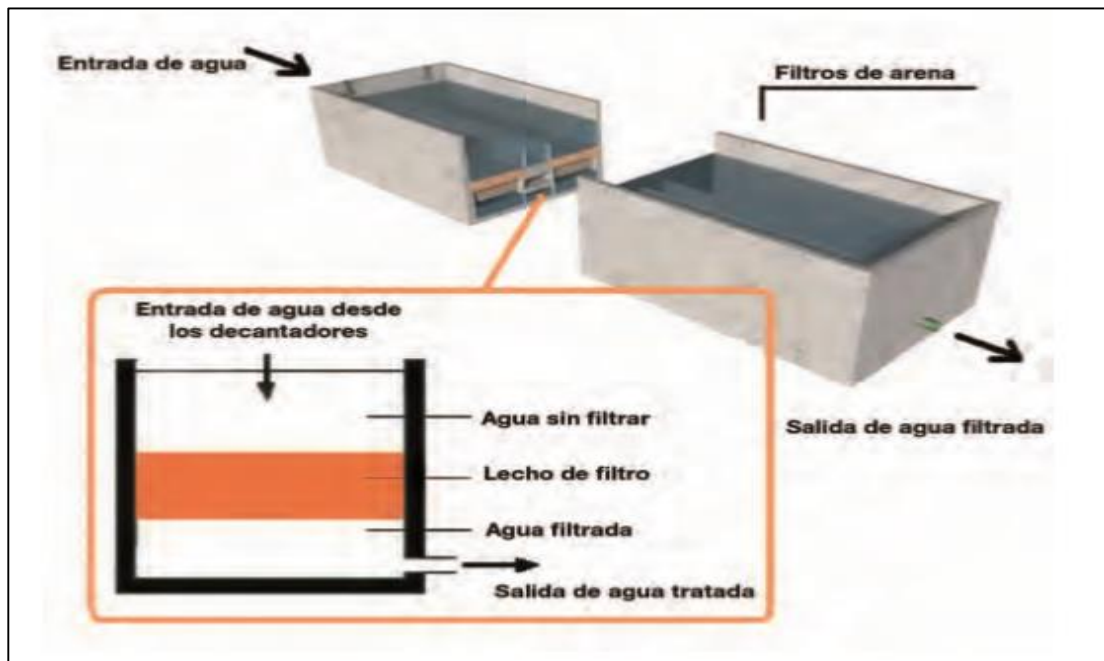
El material filtrante o poroso generalmente es mixto, es decir, está conformado por capas de más de un elemento como arena, carbón, grava, antracita, etc.(Idrovo, 2010).

La filtración comprende dos mecanismos: transporte y adherencia, es decir, en un inicio son transportadas de la suspensión presente en el efluente a la superficie del material poroso donde son adheridos (Idrovo, 2010), (Chulluncuy Camacho, 2011). Los granos del medio filtrante retienen las partículas hasta que se saturan por lo que requieren ser lavados periódicamente (Chulluncuy Camacho, 2011).

Las unidades de filtración se pueden clasificar según (Chulluncuy Camacho, 2011):

- a. **Lecho filtrante:** que pueden ser simples (de arena o antracita) y lechos dobles o múltiples como se muestra en el gráfico N° 9.
- b. **Sentido del flujo:** el ingreso del flujo puede ser descendente, ascendente y ascendente-descendente.
- c. **Forma de aplicar la carga sobre el lecho:** por gravedad o a presión.
- d. **Forma de control operacional:** tasa constante y nivel variable, tasa y nivel constante o tasa constante y nivel declinante.

GRÁFICO N° 9. FILTRO DE ARENA.



Fuente: Álvarez Guisasola, 2005.

2.3.1.5. Desinfección - cloración

El proceso de desinfección es la etapa final del proceso de tratamiento de agua, tiene la finalidad de eliminar a todos los microorganismos que no han sido removidos en las etapas anteriores y de ese modo asegurar la ausencia de microorganismos patógenos que ocasionan daños a la salud de las personas (Idrovo, 2010), (Chulluncuy Camacho, 2011). El agente desinfectante generalmente es el cloro que puede ser aplicado en forma de gas, líquido o de sal (hipoclorito de sodio), es por esto que esta etapa suele denominarse cloración (Chulluncuy Camacho, 2011), (Felix Cañedo, 2010), (Idrovo, 2010).

La dosis del desinfectante debe ser tal que al momento de tomar muestras en cualquier punto de distribución su concentración no deberá contener menos de 0.5 mg/L (5%) según lo

establecido en la norma peruana (Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, 2011), (Rojas Vargas, 2008).

TABLA N° 11. CONCENTRACIÓN DE CLORO AL 5 %.

VOLUMEN DE AGUA A DESINFECTAR	CANTIDAD DE CLORO LÍQUIDO A AGREGAR
1 Litro	1/2 gota
2 Litros	1 gota
1 Galón	1 ½ gota
5 Litros	2 gotas
10 Litros	4 gotas
20 Litros (5 galones)	8 gotas
100 Litros (25 galones)	40 gotas (2 mililitros)
200 Litros (50 galones)	80 gotas (4 mililitros)

Fuente: Elaboración propia.

2.4. AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS

Actualmente la automatización de los procesos industriales es uno de los objetivos en las empresas para que haya un mejor control de los mismos, disminución de los costos de producción, y una calidad constante del proceso (García Moreno, 1999). La automatización consiste en controlar la actividad y funcionamiento de los procesos sin la intervención continua de un operador humano para lo cual se ha desarrollado un sistema denominado SCADA (Sistema de Adquisición de Datos y Control) (Pérez López, 2015). Este sistema SCADA permite la supervisión de sus procesos por medio del cual se controlan las distintas variables para lo cual usan software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, entre otros, que brinda las ventajas de adquisición de datos en tiempo real, la configuración gráfica por medio de

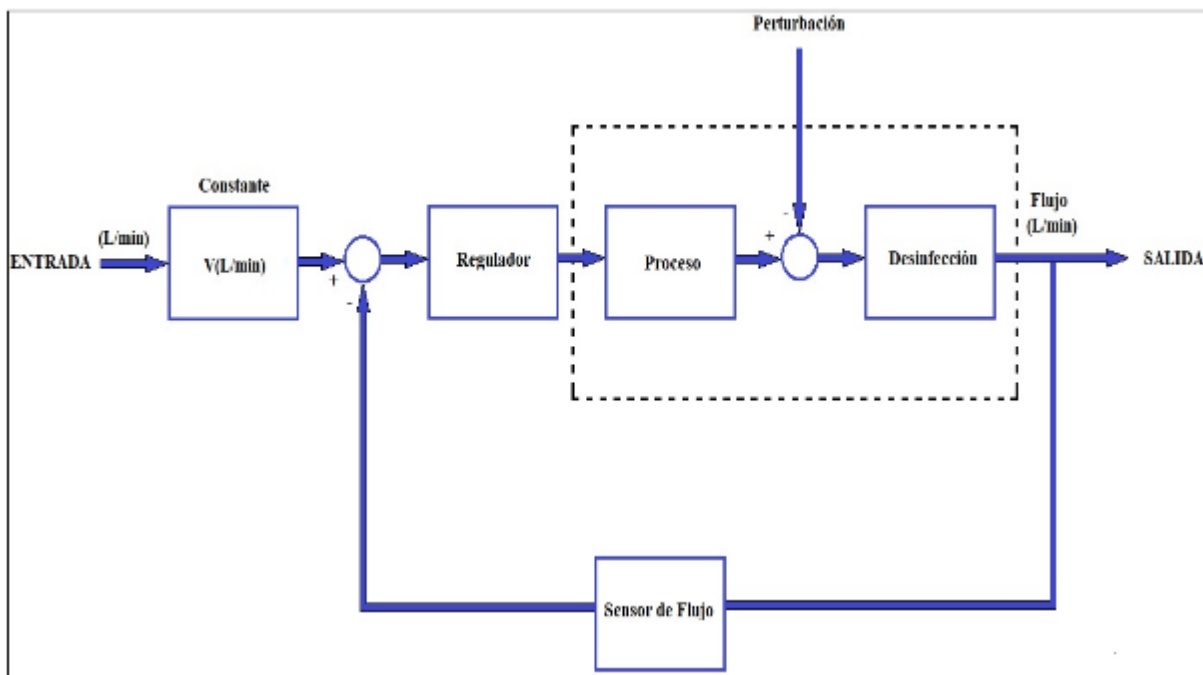
pantallas de fácil manejo para el operador y la comunicación con computadores remotos, a través de una red (Pérez López, 2015).

Estos computadores remotos permiten tener un control y supervisión desde cualquier lugar de la planta industrial. Ante esta perspectiva, es importante que las plantas de tratamiento de agua potable entren al proceso de modernización, con la vinculación de estas tecnologías para mejorar el proceso y la información a cualquier nivel.

2.5.CONTROL DEL PROCESO

Un sistema de control es un conjunto de elementos, que como su nombre lo indica, está encargado de realizar el control coordinado de distintos procesos con la finalidad de mantener un adecuado funcionamiento preestablecido en un programa (García Moreno, 1999). Uno de esos procesos es el control de plantas de potabilización que en la actualidad son automatizadas, con la finalidad que se tenga un funcionamiento óptimo y con un mayor control de la calidad del agua tratada. Esta automatización utiliza sensores, actuadores, motores, electrobombas, equipos de protección y control, divididos en los diferentes bloques dentro del diagrama de control como se muestra en el gráfico N° 10.

GRÁFICO N° 10. DIAGRAMA DE CONTROL.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1. Tipos de sistemas de control

Existen diversos tipos de sistemas de control en la automatización industrial:

a. Control de lazo abierto

Un control de lazo abierto es aquello donde la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control) (Kuo, 1996). Este sistema de control en lazo abierto es económico ya que no son complejos, sin embargo son inexactas por lo que se usa en aplicaciones no críticas. Se obtienen los datos de entrada y se ejecuta el proceso de control.

b. Control de lazo cerrado

Sistemas de control realimentado, que a diferencia del control de lazo abierto, este posee una realimentación desde la salida hacia la entrada del sistema (Kuo, 1996). Es decir, la señal de

salida del sistema (variable controlada) interviene sobre la acción de control (variable de control) (Kuo, 1996), verifica la señal y si está no es correcta, se modifica la entrada o los procesos del sistema.

Existe otra clasificación de los sistemas de control en función al procedimiento lógico usado por el controlador del sistema, que son:

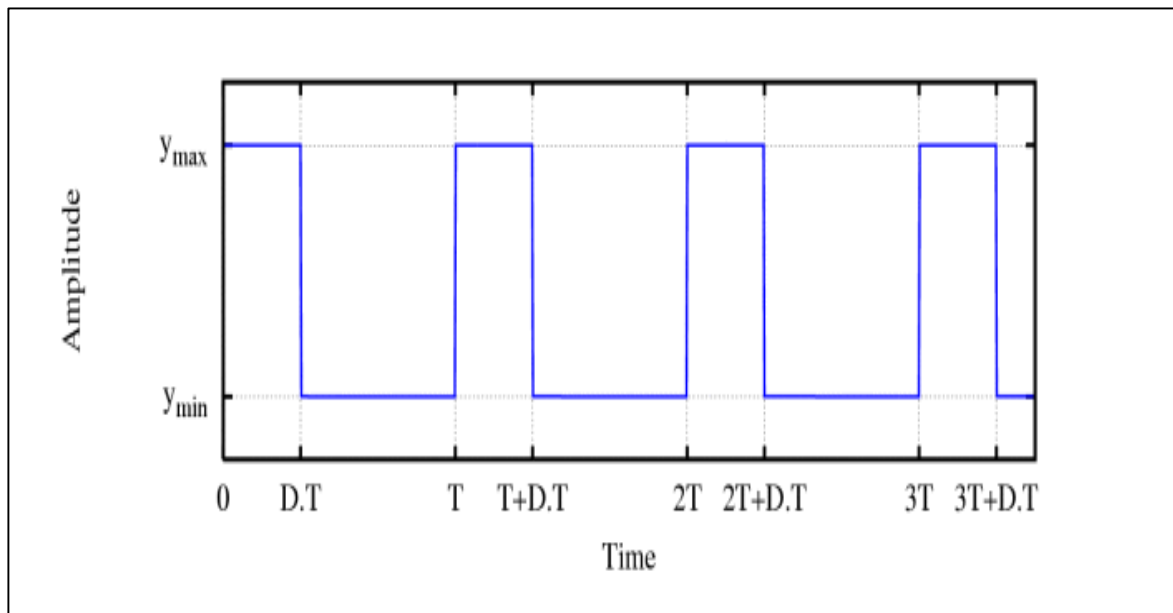
- Sistemas de realimentación (Feed-back).
- Sistema anticipativo (Feed-Foward).
- Sistema en cascada (Cascade).
- Sistema selectivo (Over-Ride).

Uno de estos tipos de sistemas de control son los **controladores PID** que son muy utilizados en la industria y que han sido ampliamente estudiados e implementados. En la presente tesis se usará los controladores PID en dos procesos de la potabilización del agua.

2.6. MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO (PWM)

Las siglas PWM en inglés significan *Pulse Width Modulation*, que en español se traduce como “Modulación por ancho de pulso”. La señal PWM trabaja a partir de una señal con una determinada frecuencia que posee un mismo periodo, la cual consta de dos valores fijos de tensión: uno alto (High), que es la amplitud, y otro bajo (Low), cuyo valor es nulo.

GRÁFICO N° 11. VALORES MÁXIMO Y MÍNIMO EN UNA ONDA CUADRADA.



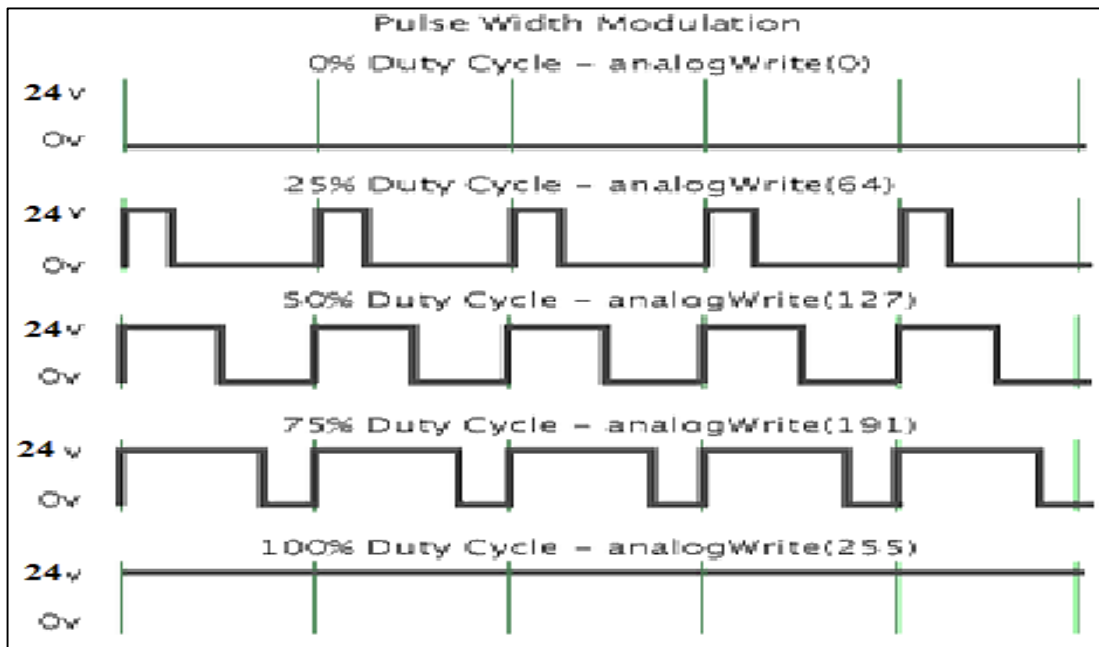
Fuente: Abellán , 2016.

Depende de otro parámetro que es el ciclo de trabajo (duty cycle) que es el porcentaje de tiempo en que el pulso (la cantidad de voltaje entregada) está en activo durante un ciclo o periodo.

Además también posee como parámetro el ancho de pulso (PW – Pulse Width), que es el tiempo que dura el pulso.



GRÁFICO N° 12. CICLO DE TRABAJO DE UNA SEÑAL CUADRADA.



Fuente: Adaptado de Abellán (2016).

PWM es una técnica que consiste en variar el ancho de pulso de una señal de voltaje cuadrada con el objetivo de controlar la cantidad de potencia de un motor de CC.

2.7.EQUIPOS PARA EL CONTROL

2.7.1. Controlador lógico programable (PLC)

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo (Ramires, 2011).

GRÁFICO N° 13. PLC.



Fuente: Prieto, 2007.

Una vez que se pone en marcha, el procesador realiza una serie de tareas según el siguiente orden:

- a. Al encender el procesador ejecuta un auto-chequeo de encendido y bloquea las salidas. A continuación, si el chequeo ha resultado correcto, el PLC entra en el modo de operación normal.
- b. El siguiente paso lee el estado de las entradas y las almacena en una zona de la memoria que se llama tabla de imagen de entradas.
- c. En base a su programa de control, el PLC actualiza una zona de la memoria llamada tabla de imagen de salida.
- d. A continuación el procesador actualiza el estado de las salidas "copiando" hacia los módulos de salida el estado de la tabla de imagen de salidas (de este modo se controla el estado de los módulos de salida del PLC, relay, triacs, etc.).
- e. Vuelve a ejecutar el paso b.

Cada ciclo de ejecución se llama ciclo de barrido (scan), el cual normalmente se divide en:

- Verificación de las entradas y salidas.
- Ejecución del programa.

2.7.1.1. Clasificación de los PLC

Los PLC pueden clasificarse, en función de sus características en:

a. PLC Nano

Generalmente es un PLC de tipo compacto (es decir, que integra la fuente de alimentación, la CPU, las entradas y salidas) que puede manejar un conjunto reducido de entradas y salidas, generalmente en un número inferior a 100. Este PLC permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

b. PLC Compacto

Estos PLC tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos (alrededor de 500 entradas y salidas), su tamaño es superior a los PLC tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

GRÁFICO N° 14. PLC COMPACTOS.



Fuente: Available online <https://www.automationint.com/productos/plc-compactos/plc-compactos/plc-compactos-serie-fx-fx3u/>

- Entradas y salidas análogas.
- Módulos contadores rápidos.
- Módulos de comunicaciones.
- Interfaces de operador.
- Expansiones de entrada y salida.

Otro equipo que puede trabajar en combinación con los controladores (PLC) son los variadores de velocidad.

2.7.2. Variadores de velocidad

Un variador de C.A. es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de C.A. o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o en jaula de ardilla.

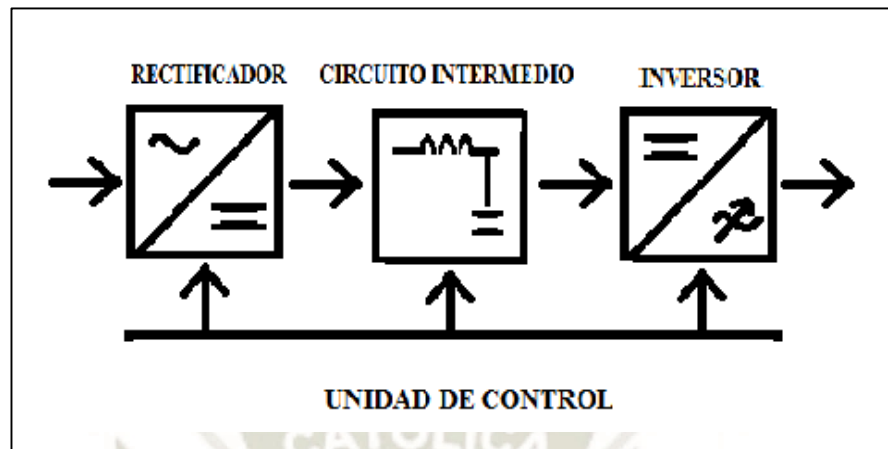
El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (60Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable. La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia.

Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna (Avellaneda, 2017).

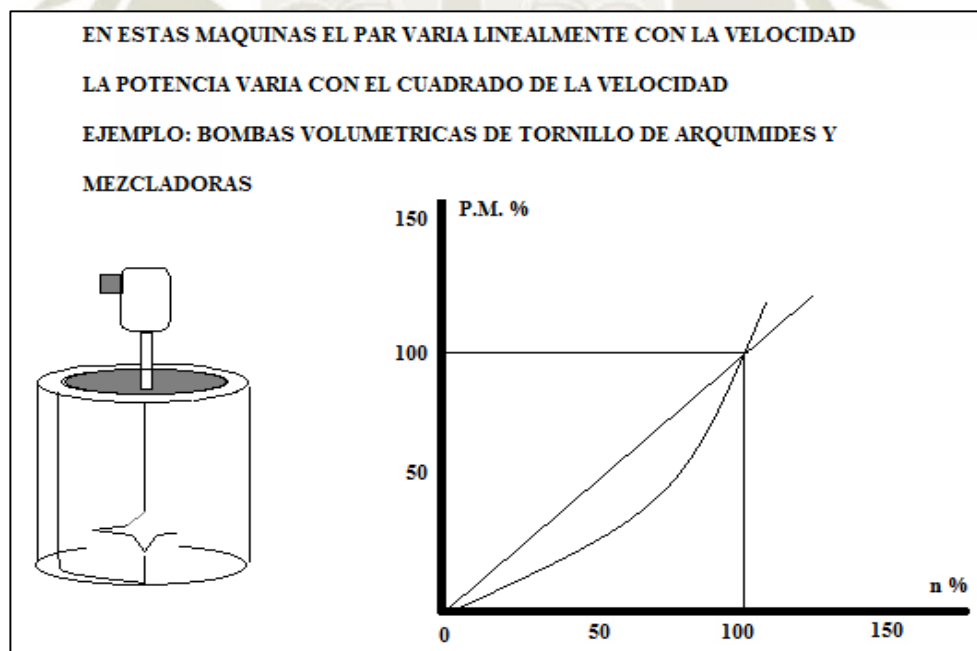
GRÁFICO N° 15. ESQUEMA EN BLOQUES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD.



Fuente: Elaboración propia.

Como ejemplo mostramos la aplicación en un par creciente linealmente con la velocidad.

GRÁFICO N° 16. EJEMPLO DE PAR CRECIENTE LINEALMENTE CON LA VELOCIDAD.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la velocidad los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

- Control manual de velocidad. La velocidad puede ser establecida o modificada manualmente (display de operador). Posibilidad de variación en el sentido de giro.
- Control automático de velocidad. Utilizando realimentación se puede ajustar la velocidad automáticamente. Esta solución es la ideal para sus instalaciones en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua (Avellaneda, 2017).

En nuestro caso se utilizara el variador Altivar 12 de Telemecanic como se muestra en el gráfico N° 17.

GRÁFICO N° 17. VARIADOR ALTIVAR 12.



Fuente: Electric, 2017.

2.7.3. Sensor de flujo

Los equipos de tipo turbina se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante. Los caudalímetros a turbina no son aptos para medir productos viscosos ni con arrastre de sólidos. (Serrano, Ramírez, & Amador, 2012).

2.7.3.1. Tipos de sensores de flujo

a. Sensor de flujo de pistón

Son los más comunes de los sensores de flujo. Este tipo de sensores de flujo se recomienda cuando se requiere detectar caudales entre 0,5 LPM y 20 LPM. Consiste en un pistón que cambia de posición, empujado por el flujo circulante. Dicho pistón puede regresar a su posición inicial por gravedad o por medio de un resorte. El pistón contiene en su interior un imán permanente. Con el pistón se mueve el imán se acerca y activa un red switch, que cierra o abre (según sea la configuración) el circuito eléctrico. El área entre el pistón y la pared del sensor determina su sensibilidad y por ende a qué caudal se activará el sensor. (Serrano, Ramírez, & Amador, 2012).

GRÁFICO N° 18. SENSOR DE FLUJO DE PISTÓN.



Fuente: Serrano, Ramírez, & Amador, 2012.

b. Sensor de flujo de paleta (Compuerta)

Este modelo es recomendado para medir grandes caudales, de más de 20 LPM.

El mecanismo consiste en una paleta que se ubica transversalmente al flujo que se pretende detectar. El flujo empuja la paleta que está unida a un eje que atraviesa herméticamente la pared del sensor de flujo y apaga o enciende un interruptor en el exterior del sensor. Para ajustar la sensibilidad del sensor se recorta el largo de la paleta. (Serrano, Ramírez, & Amador, 2012).

GRÁFICO N° 19. SENSOR DE FLUJO DE PALETA.



Fuente: Serrano, Ramírez, & Amador, 2012.

c. Sensor de flujo de elevación (Tapón)

Es de uso general, altamente confiable y se puede ajustar para casi cualquier caudal. El mecanismo consiste en un tapón que corta el flujo. Del centro del tapón surge un eje que atraviesa herméticamente la pared del sensor. Ese eje empuja un interruptor ubicado en el exterior del sensor. (<http://instrumentacion1industrial.blogspot.com/2012/12>).

d. Contadores de turbina

En líquidos funciona tanto con caudales bajos y altos (<2 LPM y >20000 LPM). En gases se puede ajustar para caudales bajos (<20 LPM). La velocidad de la turbina se cuenta por medios mecánicos o inductivos. Cada vez que un aspa pasa por el sensor se genera un impulso. Así la frecuencia de la señal corresponde a la velocidad del caudal. (<https://es.slideshare.net/EquipoSCADA/sensores-de-flujo-33527546>).

e. Diferenciales de presión

Principalmente para caudales bajos tanto líquidos (<2 LPM) como gaseosos (<20 LPM).

Principio de funcionamiento: estos modelos se basan en la diferencia de presión medida antes y después del sensor. Dicha diferencia es proporcional al caudal medido. (https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/7/tema3_medida%20de%20caudales.pdf).

f. Magnéticos

Tienen un Rango: 0.01 [mis] a 10 [mis], con precisión dada por un error ajustable. El principio de funcionamiento del sensor es inducir voltaje proporcional a la velocidad del fluido para luego detectarlo por dos electrodos y transmitido a etapas posteriores de amplificación. (<https://www.flowmeet.com/articulos-de-interes/principio-funcionamiento-caudalímetros-electromagnéticos>)

g. Medidor de coriolis

La fuerza de coriolis aparece como respuesta a fuerzas inerciales cuando en un sistema se superponen el movimiento rotacional y translacional. La diferencia de fase es proporcional a la velocidad del caudal (<https://learn.canvas.net/courses/404/pages/la-fuerza-de-coriolis>).

h. Ultrasónicos

Varían fuertemente dependiendo del diseño y fabricante.

Principio de Funcionamiento:

- Efecto Doppler: Requiere de que el fluido contenga partículas que reflejen la onda sonora y de un dispositivo que emita una onda de frecuencia determinada y de un sensor que determine la frecuencia de la onda reflejada. La velocidad del caudal es proporcional a la diferencia de frecuencias (<http://instrumentacionycontrol.net/principios-de-medicion-de-flujometros-ultrasonicos-efecto-doppler-y-tiempo-de-transito-de-la-senal/>).
- Tiempo de Tránsito: consiste en medir la diferencia de tiempo que le toma a dos señales recorrer la misma distancia en direcciones opuestas. La diferencia de tiempo y el conocimiento (<http://www.slideboom.com/presentations/974158/SENSORES-DE-FLUJO>).

i. Vortex

En general puede medir flujos con caudales altos. Los rangos específicos dependen de cada diseño.

Principio de Funcionamiento:

- Se basa en la formación de vórtices flujo abajo cuando un cuerpo sólido atraviesa un fluido.
- La formación alternada de vórtices genera una diferencia de presión que generalmente son medidas por sensores piezo eléctricos o del tipo capacitivos.
- La velocidad del flujo es proporcional a la frecuencia de formación de vórtices o a los

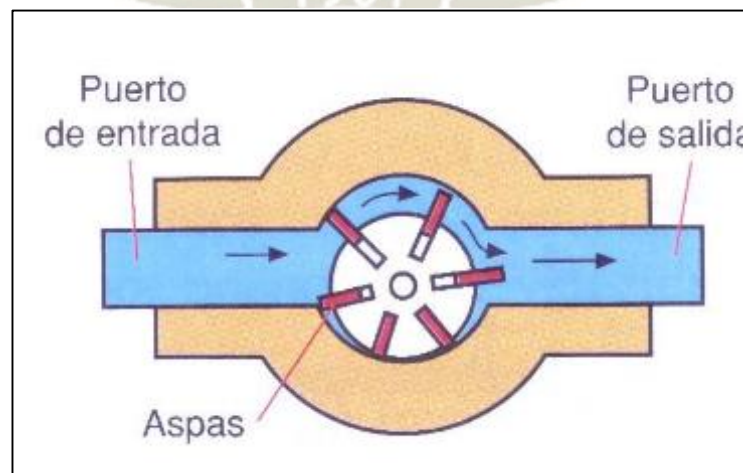
cambios de presión (<https://es.slideshare.net/EquipoSCADA/sensores-de-flujo-33527546>).

GRÁFICO N° 20. **MEDIDOR DE FLUJO DE VORTEX.**



Fuente: Serrano, Amador, & Ramirez.

GRÁFICO N° 21. **FLUJOMETRO DE PALETAS.**



Fuente: Roman, 2010.

2.7.4. Agitadores

El proceso de agitación se refiere a forzar a un fluido por medios mecánicos a circular en el interior de un recipiente. El objetivo principal de la agitación es:

- Mezcla de líquidos.
- Disolución de sólidos en líquido.
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento).
- Dispersión de un gas en un líquido.
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases no miscibles (grasa en la leche).

Usualmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto) y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las dimensiones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la aplicación, tipo de fluido y del problema de agitación (Julian, 1981).

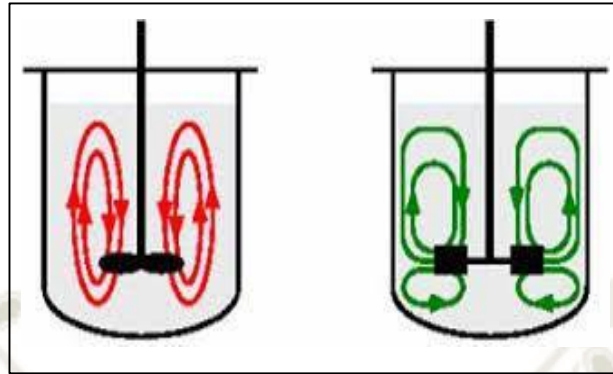
Los agitadores se dividen en dos clases:

- Agitadores de flujo axial: los cuales generan corrientes paralelas al eje del agitador.
- Agitadores de flujo radial: dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial.

Los tres tipos principales de agitadores utilizados en la industria son:

- De hélice.
- Paletas.
- Turbina.

GRÁFICO N° 22. AGITADORES VERTICALES PARA MEZCLA DE LÍQUIDOS.

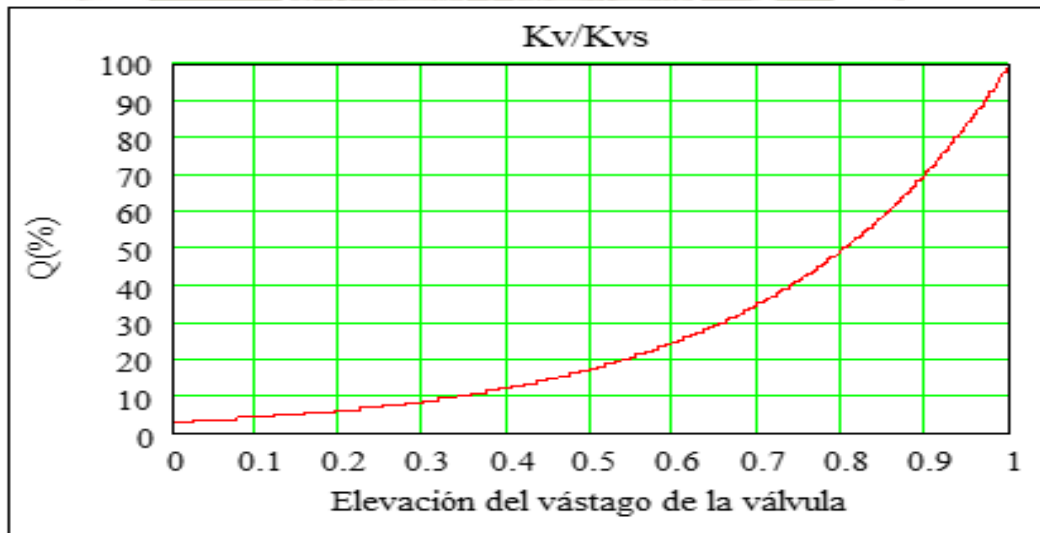


Fuente: Cunill, Iborra, & Tejero, 2012.

2.7.5. Válvula proporcional

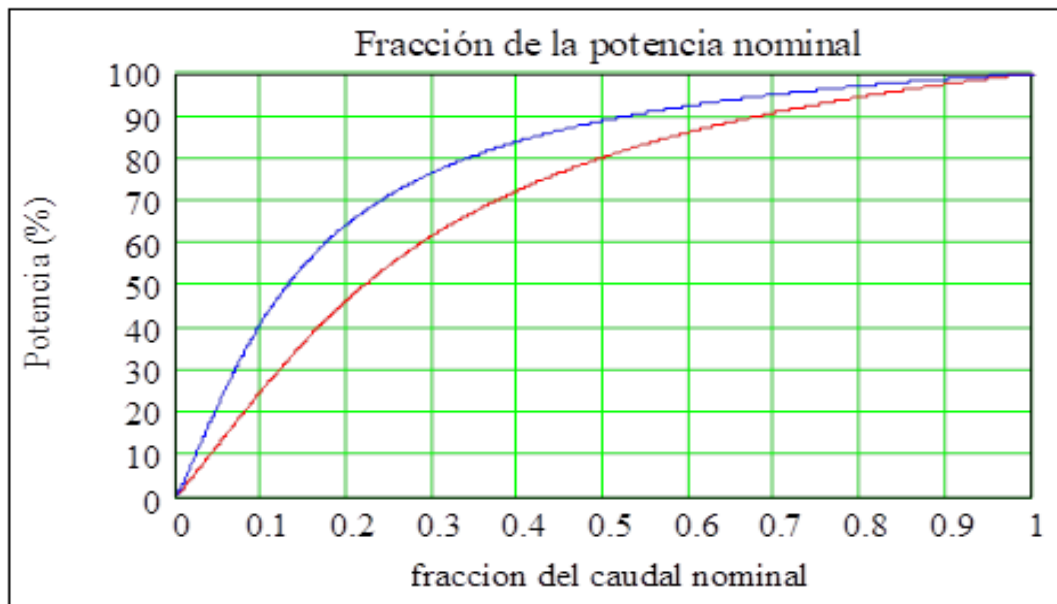
Una válvula de control se define como la relación entre el caudal que circula Q y la posición del actuador (normalmente la elevación del vástago de la válvula).

GRÁFICO N° 23. CURVA DE ELEVACIÓN DE VÁSTAGO.



Fuente: Julio, 2016.

GRÁFICO N° 24. **FRACCIÓN DE CAUDAL NOM.**

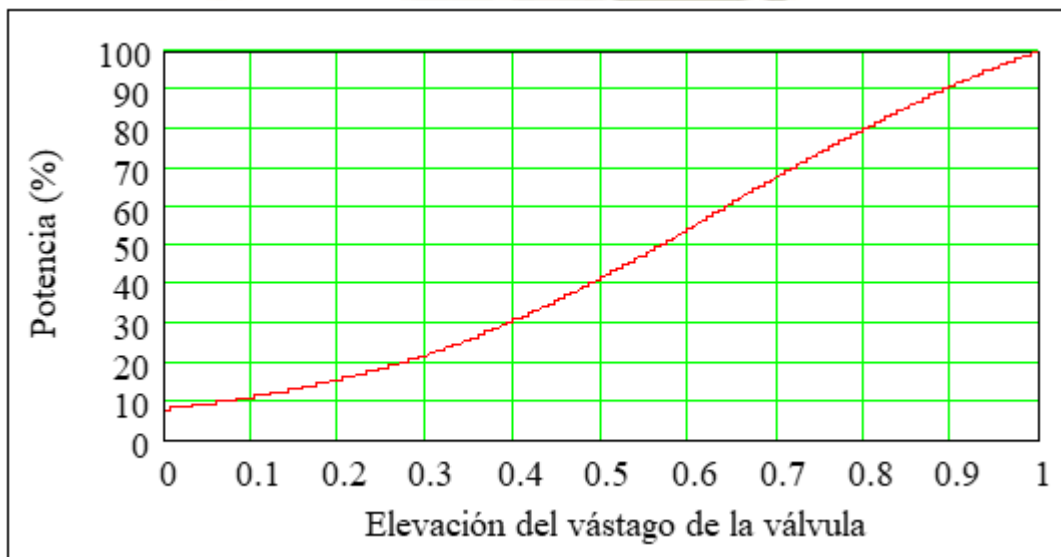


Fuente: Julio, 2016.

Ambas expresadas de forma relativa (% de su valor máximo).

$P = (Q) * (L)$ se puede expresar la potencia como el % de elevación de la válvula.

GRÁFICO N° 25. **ELEVACIÓN DE VÁSTAGO EN VÁLVULA.**



Fuente: Julio, 2016, Jose, Blog SEAS, 2016.

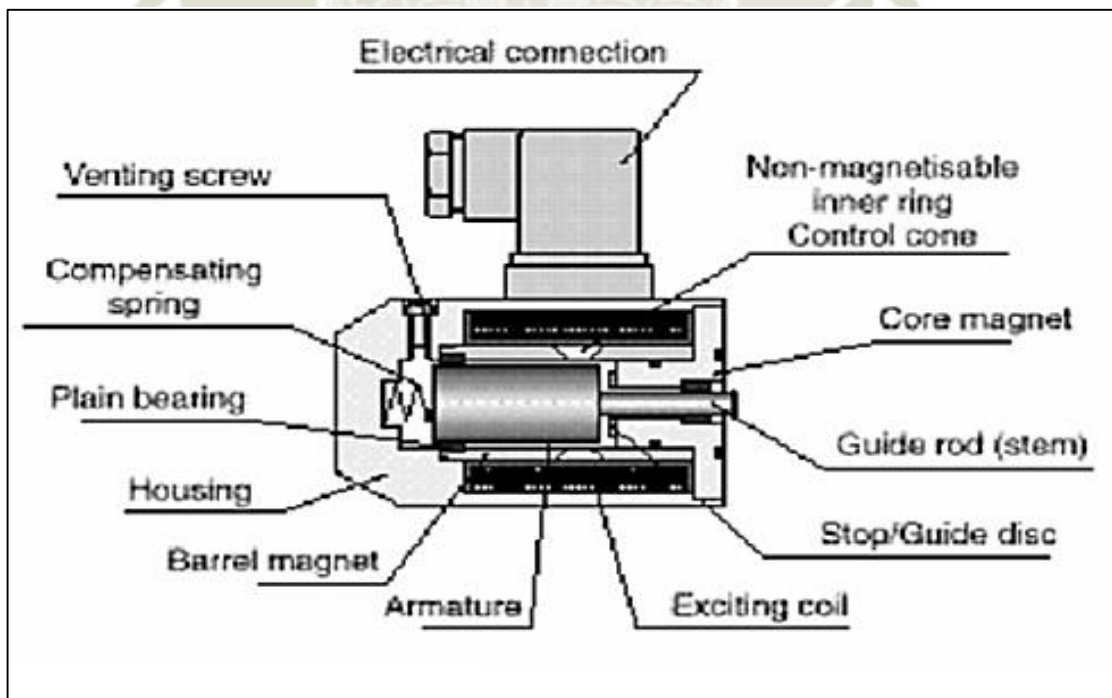
Que es una relación aproximadamente proporcional y permite un control sencillo.

Dentro de los tipos de válvulas de control existentes podemos mencionar a:

El solenoide proporcional que es una variante del solenoide de conmutación. La corriente eléctrica atraviesa la bobina del solenoide y genera un campo magnético. El campo desarrolla una fuerza dirigida hacia la derecha de la armadura. De forma similar al solenoide de conmutación, la armadura y el núcleo del solenoide proporcional están hechos de material fácilmente magnetizable.

En comparación con el solenoide de conmutación, el solenoide proporcional tiene un cono de control de forma diferente, que consiste en material no magnetizable y que influye en el recorrido de las líneas del campo magnético.

GRÁFICO N° 26. ESQUEMA INTERNO DE VÁLVULA PROPORCIONAL.



Fuente: Jose, Blog SEAS, 2016.

GRÁFICO N° 27. VÁLVULA PROPORCIONAL.



Fuente: Jose, Blog SEAS, 2016.

2.8. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL

Para encontrar el modelo matemático de una válvula debemos partir de:

$$C_i(t) = K_1 * P_e(t) \quad (1)$$

Dónde:

$C_i(t)$ = caudal de entrada

K_1 = constante que representa el caudal que fluye por la válvula de entrada en litros por segundo

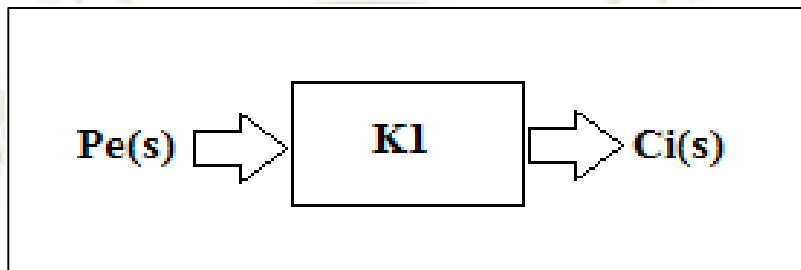
$P_e(t)$ = recorrido en grados de la válvula de entrada

Ahora se hace necesario hallar la transformada de Laplace de la ecuación expresada en el dominio del tiempo, suponiendo condiciones iniciales iguales a cero.

$$Ci(s) = K1 * Pe(s) \quad (2)$$

Posteriormente podemos dibujar un bloque funcional para la ecuación expresada en la transformada de Laplace.

GRÁFICO N° 28. BLOQUE FUNCIONAL PARA UNA VÁLVULA PROPORCIONAL.



Fuente: Elaboración propia.

2.9.MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTROLADORES PID

Los lazos PID fueron inventados para simplificar las labores de los operadores y ejercer un mejor control sobre los procesos. Algunas de las aplicaciones más comunes son:

- Lazos de temperatura (aire acondicionado, calentadores, refrigeradores).
- Lazos de nivel (nivel en tanques de líquidos como agua, lácteos, mezclas, crudo).
- Lazos de presión (para mantener una presión predeterminada en tanques, tubos, recipientes).
- Lazos de flujo (mantienen la cantidad de flujo dentro de una línea o tubo).

La acción de control proporcional-integral-derivativa, combinados reúnen las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Y su función transferencia resulta:

$$C_{PID}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (4)$$

Los controladores programables o también llamados PLCs ejercen este control automáticamente para mantener la "Variable de Proceso" (ej. Medida de la temperatura o nivel de un tanque) cercana al setpoint. (Setpoint es donde la medida debe estar).

El "Error" es definido como la diferencia entre el setpoint y la variable de proceso. El controlador trata de minimizar este error ajustando las entradas del control.

$$\text{Error} = (\text{Setpoint}) - (\text{Variable de Proceso}) \quad (5)$$

La variable que es ajustada es conocida como "Variable de Control" la cual es usualmente la salida del controlador. La salida del controlador PID cambia la respuesta frente a la medida de la variable de proceso.

2.10. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN PARA CONTROLADORES

En la actualidad existe una variedad de métodos para la sintonización del sistema de control, a continuación se verán algunos métodos de sintonización de controladores basados en modelos aproximados.

2.10.1. Método de ajuste de Cohen Coon (Process Reaction Curve Method)

Se basa en ajustar la curva de respuesta del proceso a un sistema de primer orden con tiempo muerto.

TABLA N° 12. MÉTODO DE AJUSTE DE COHEN.

CONTROLADOR	PARÁMETROS	COHEN-COON
P	K_c	$\frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left[1 + \frac{\theta}{3\tau} \right]$
PI	K_c	$\frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left[0.9 + \frac{\theta}{12\tau} \right]$
	τ_I	$\frac{\theta \left[30 + 3 \left(\frac{\theta}{\tau} \right) \right]}{9 + 20 \left(\frac{\theta}{\tau} \right)}$
PID	K_c	$\frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left[\frac{16\tau + 30}{12\tau} \right]$
	τ_I	$\frac{\theta \left[32 + 6 \left(\frac{\theta}{\tau} \right) \right]}{13 + 8 \left(\frac{\theta}{\tau} \right)}$
	τ_D	$\frac{4\theta}{11 + 2 \left(\frac{\theta}{\tau} \right)}$

Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.

2.10.2. Método de ajuste de Ziegler-Nichols de lazo abierto

Se basa en el decaimiento de ratio a $\frac{1}{4}$, Ziegler y Nichols propusieron las anteriores reglas de sintonización tomando en cuenta los siguientes parámetros:

τ = es la constante de tiempo del proceso

θ = es el retardo del proceso

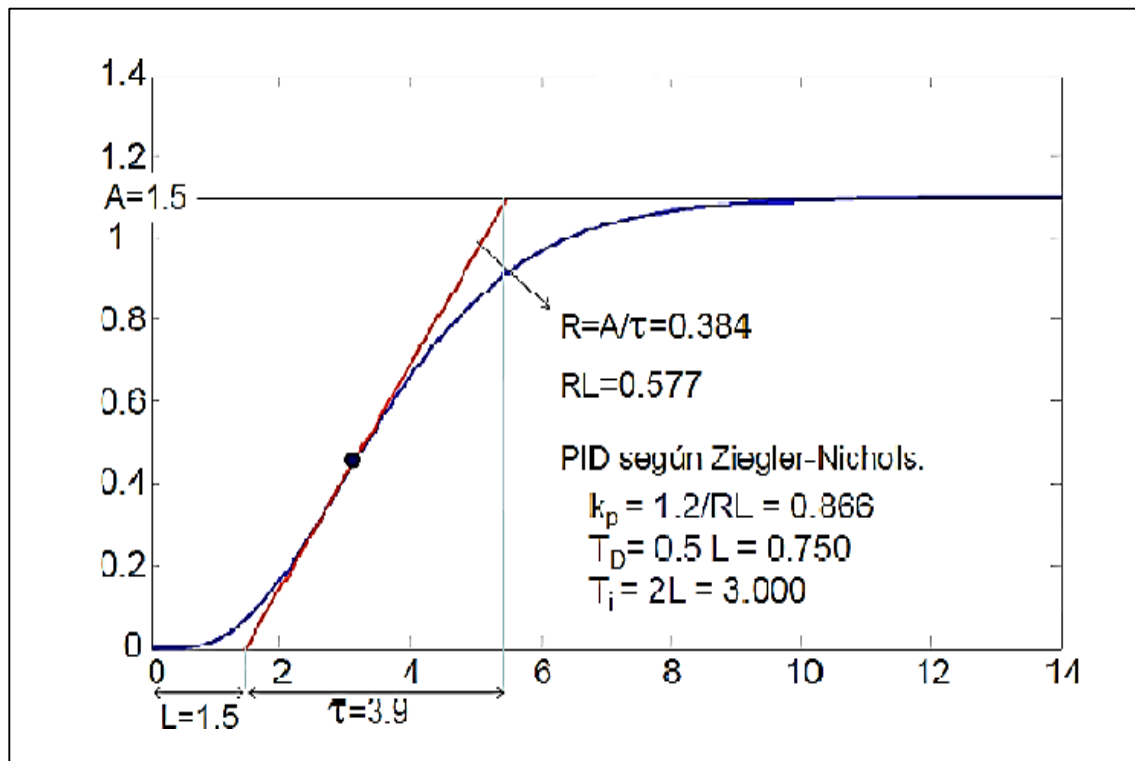
TABLA N° 13. MÉTODO DE AJUSTE DE ZIEGLER-NICHOLS DE LAZO ABIERTO.

CONTROLADOR	K_c	τ_I	τ_D
P	$\frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta}$	--	--
PI	$\frac{0.9}{K} \frac{\tau}{\theta}$	3.33θ	--
PID	$\frac{1.2}{K} \frac{\tau}{\theta}$	2θ	0.5θ

Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.



GRÁFICO N° 29. EJEMPLO DE DISEÑO CON LAS REGLAS ZIEGLER-NICHOLS EN LAZO ABIERTO.



Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.

2.10.3. Método de Smith

Para la sintonización de controladores PID se basan en la minimización de la integral del error.

Al igual que en el caso anterior se recomienda usarlas sólo cuando el cociente tiempo muerto/constante de tiempo se sitúe en el rango 0.1-1.0.

Las correlaciones se dan en las siguientes tablas para cambios en consigna o perturbación:

TABLA N° 14. MÉTODO DE SMITH: CAMBIOS EN EL PUNTO DE CONSIGNA.

	INTEGRAL DEL ERROR	
	IAE	IAET
$K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^{b_1}$ $\tau_I = \frac{a_2 + b_2 \left(\frac{t_m}{\tau} \right)}{a_2 + b_2 \left(\frac{t_m}{\tau} \right)}$	$a_1 = 0.758$	0.586
	$b_1 = -0.861$	-0.916
	$a_2 = 1.02$	1.03
	$b_2 = -0.323$	-0.165
$K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^{b_1}$ $\tau_I = \frac{a_2 + b_2 \left(\frac{t_m}{\tau} \right)}{a_2 + b_2 \left(\frac{t_m}{\tau} \right)}$ $\tau_D = a_2 \tau \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^{b_1}$	$a_1 = 1.086$	0.965
	$b_1 = -0.869$	-0.965
	$a_2 = 0.740$	0.796
	$b_2 = -0.130$	-0.147
	$a_2 = 0.348$	0.308
	$b_2 = 0.914$	0.9292

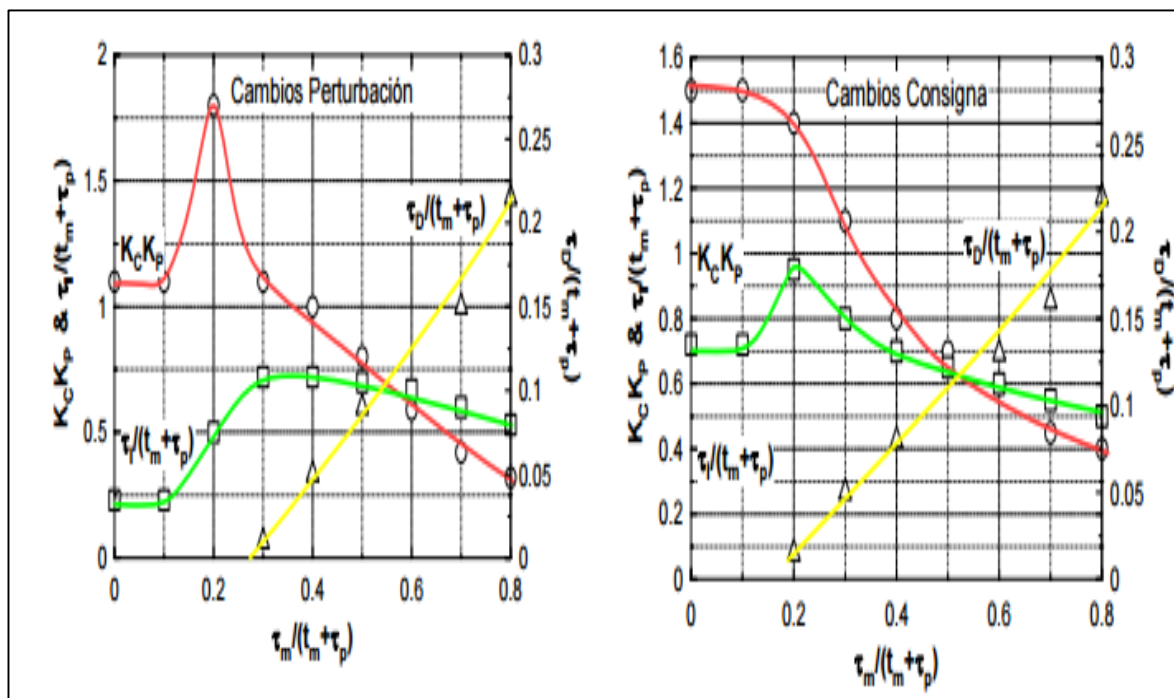
Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.

2.10.4. Método de Ciancone

Ciancone, obtuvo correlaciones diferentes para cambios en el punto de consigna y en la perturbación. Asumiendo GP = GD, las premisas en las que se basó fueron:

- Errores de +25% en los parámetros del modelo.
- Modelo simple de primer orden con tiempo muerto.
- Minimización del índice IAE en la respuesta a un escalón.
- Restricciones en la variación de la variable manipulada.

GRÁFICO N° 30. MÉTODO DE CIANCONE.



Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.

2.10.5. Método de sintonización de síntesis directa.

Es posible desarrollar reglas de sintonización de controladores PID basados en una trayectoria preconcebida de la respuesta en lazo cerrado (Ogunnaike capítulo 19, ejemplo en pag. 526). En este caso la sintonización del controlador viene determinada porque la salida será un sistema de primer orden con tiempo muerto, siendo τ_r la constante de tiempo de la salida y el tiempo muerto igual al del modelo de proceso. Las reglas de sintonización son:

TABLA N° 15. MÉTODO DE SÍNTESIS DIRECTA.

	K_c	τ_I	τ_D
PI	$\frac{\tau_r}{K(\tau_r + t_m)}$	τ	
PID	$\frac{2\tau + t_m}{2K(\tau_r + t_m)}$	$\tau + \frac{t_m}{2}$	$\frac{\tau t_m}{2\tau + t_m}$

Fuente: Ney Andrade, Naranjo, & Tipan, 2014.

2.11. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN

Se entiende por supervisión al conjunto de actividades de vigilancia con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento del proceso, incluso en alguna situación anómala.

El propósito de la supervisión es la automatización de estas tareas. Para ello debe sacar todo el provecho de la información y conocimiento disponible del proceso.

Para realizar este trabajo se desarrolló los sistemas SCADA.

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control and Data Acquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros, supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

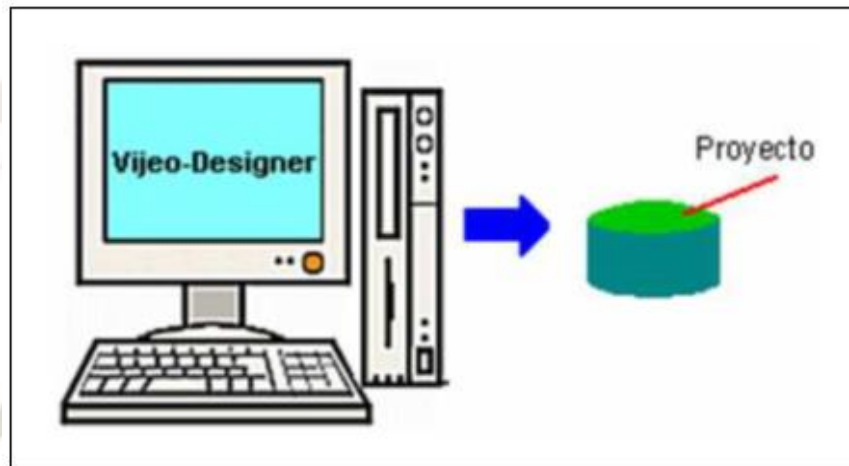
Se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.

1. Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades.
2. Deben comunicarse con total facilidad con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
3. Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
4. Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.
5. Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando pre-programadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
6. Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
7. Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

2.12. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN: VIJEO DESIGNER

Es un software para cubrir las necesidades de diseño de aplicaciones HMI. Un proyecto es un archivo creado en el software Vijeo Designer, como se observa en el Gráfico N° 31.

GRÁFICO N° 31. SOFTWARE VIJEO DESIGNER.

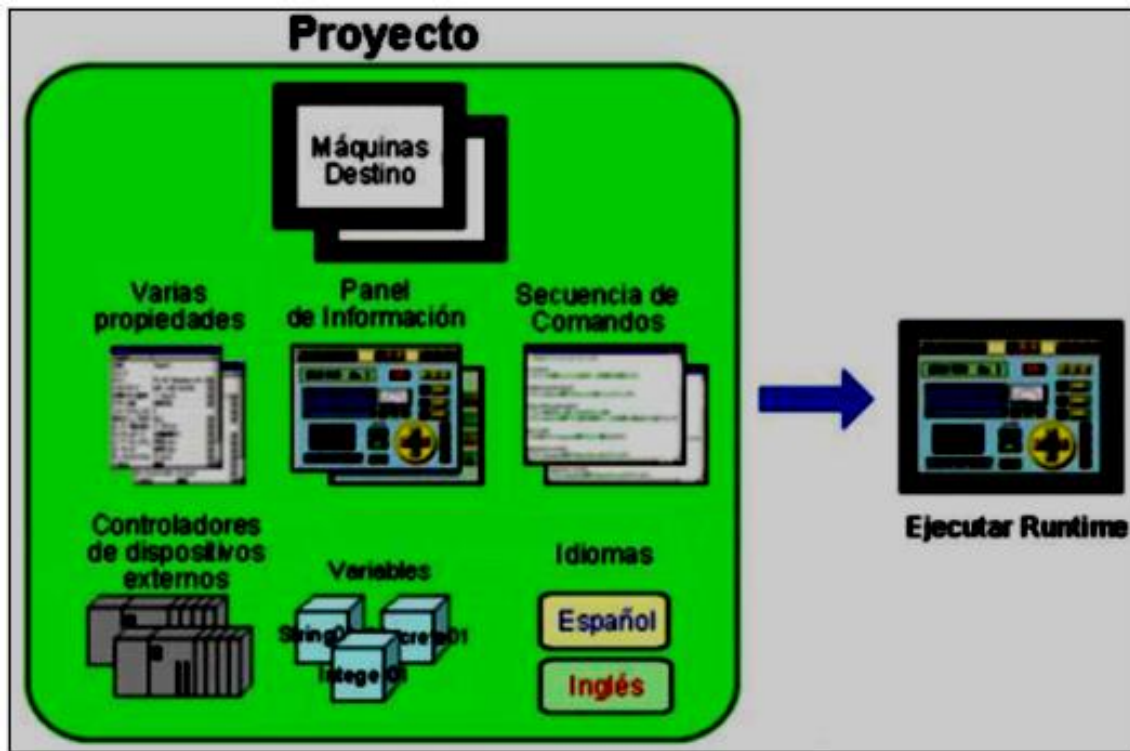


Fuente: Schneider, 2014.

Un proyecto incluye toda la información (como dibujos, alarmas e información de hardware) para crear un ambiente para la aplicación de supervisión creado por el usuario.

El gráfico N° 32 explica el esquema de proyecto que utiliza el software de Vijeo Designer.

GRÁFICO N° 32. ESQUEMAS DEL PROYECTO EN VD.



Fuente: Schneider, 2014.

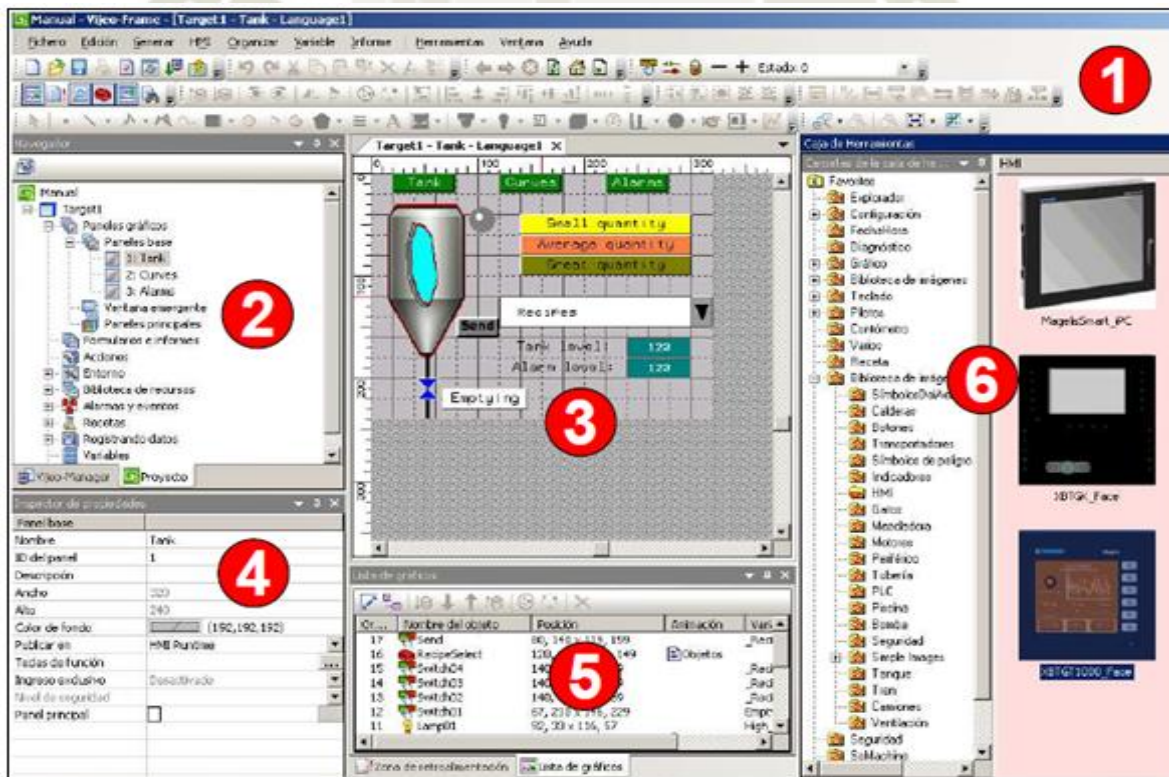
El interface del software de Vijeo Designer tiene diferentes barras de herramientas y ventanas que ayudan a una mayor comprensión y orden a la hora de realizar la aplicación por el usuario.

En el gráfico N° 33 se muestra las áreas de trabajo de Vijeo Designer, cuyas áreas se describen a continuación según el número como se presentan en la figura.

1. **Barras de herramientas:** en esta área se muestra el menú contextual y las barras de iconos de las diferentes acciones que se pueden realizar en el proyecto.
2. **Navegador:** esta área muestra el árbol de las diferentes partes que puede tener la aplicación.

3. **Área de Trabajo:** es la zona donde el usuario tendrá que trabajar para crear la aplicación.
4. **Inspector de Propiedades:** en esta área se muestra las propiedades que se pueden parametrizar de los objetos seleccionados.
5. **Zona de retroalimentación/Lista de gráficos:** según la pestaña seleccionada en la zona de retroalimentación se verá los mensajes de compilación (errores de compilación y advertencias), en cambio en la pestaña de listado de gráficos muestra todos los objetos que hay en ese momento en el panel que hay en el área de trabajo.
6. **Caja de herramientas:** podemos ver los diferentes objetos e imágenes que ya hay creados y guardados en la librería y que podemos incluir en nuestra aplicación y que ayudarán a realizarla.

GRÁFICO N° 33. ÁREAS DE TRABAJO EN V. D.



Fuente: Schneider, 2014.

2.13. ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores.

Esto da lugar a una estructura de redes industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo.
- Redes LAN.
- Redes LAN-WAN.

GRÁFICO N° 34. NIVELES EN ARQUITECTURA DE REDES INDUSTRIALES.



Fuente: Marcelo, 2000.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo. Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4-20mA o 0-10V DC, según corresponda. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión. Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal. Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- Hart
- Profibus
- Fieldbus.

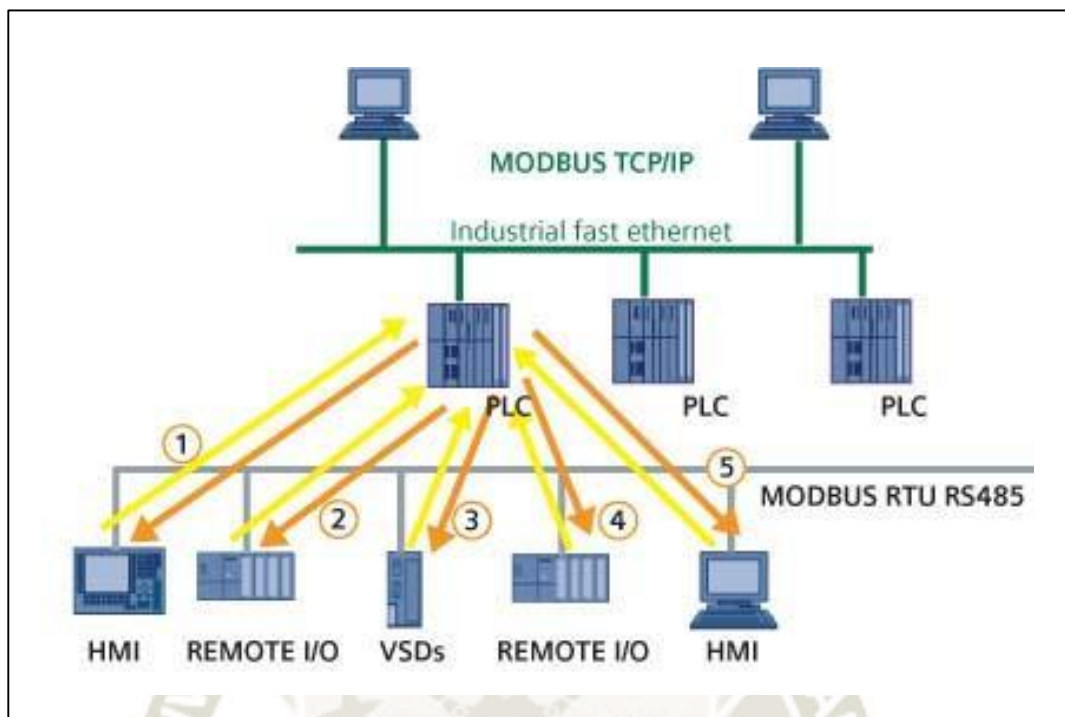
2.13.1. Protocolos de comunicación

a. Modbus

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias estaciones remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso.

La interfaces de capa física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485.

GRÁFICO N° 35. PROTOCOLO MODBUS TCP/IP.



Fuente: Seneca, 2015.

Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipos industriales tales como PLCs, computadores, drivers para motores y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red. Fue introducido por Schneider Automation como una variante de la familia de protocolos Modbus, ampliamente usada para la supervisión y el control de equipo de automatización. Específicamente el protocolo define el uso de mensajes Modbus en un entorno intranet o internet usando los protocolos TCP/IP.

Las ventajas del protocolo Modbus/TCP son:

- Es simple para administrar y expandir. No se requiere usar herramientas de configuración complejas cuando se añade una nueva estación a una red Modbus/TCP.

- Es de muy alto desempeño, limitado típicamente por las capacidades de comunicación del sistema operativo del computador. Se pueden obtener altas tasas de transmisión sobre una estación única y la red puede ser configurada para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de milisegundos.
- Realizar reparaciones o mantenimiento remoto desde la oficina utilizando un PC, reduciendo así los costes y mejorando el servicio al cliente.
- Permite realizar la gestión de sistemas distribuidos geográficamente mediante el empleo de las tecnologías de Internet/Intranet actualmente disponibles.

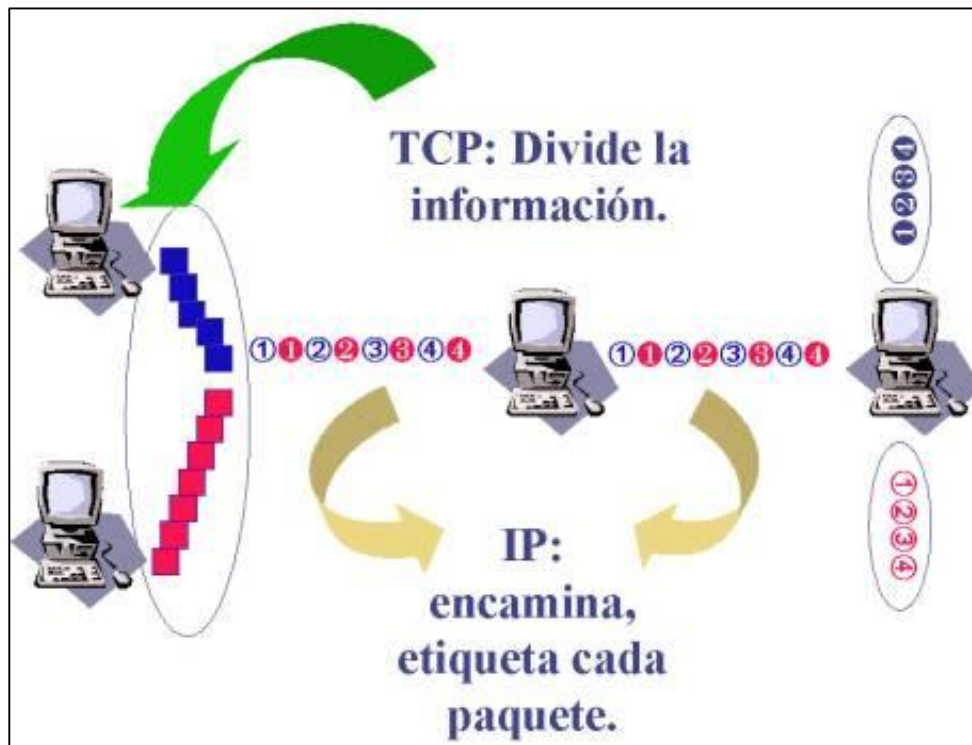
b. Protocolo TCP/IP

El protocolo TCP/IP, es un conjunto de reglas o normas que determinan cómo se realiza el intercambio de datos entre dos ordenadores. Es quien se encarga de que los equipos puedan “hablar” en un lenguaje común, independientemente del tipo que sea o del sistema operativo que utilice (Windows NT, 95, 98 ó 2000, DOS, OS/2, Unix, etc.).

El protocolo que se usa en Internet desde sus propios orígenes es el TCP/IP (Transmission Control Protocol Internet).

Este protocolo, funciona de la siguiente forma, cuando se transfiere información de un ordenador a otro, por ejemplo un fichero, un mensaje de correo electrónico o cualquier otro tipo de datos, ésta no es transmitida de una sola vez, sino que se divide en paquetes pequeños.

GRÁFICO N° 36. PROTOCOLO TCP/IP.



Fuente: Seneca, 2015.



CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE INGENIERÍA

3.1. DESARROLLO DEL PROYECTO

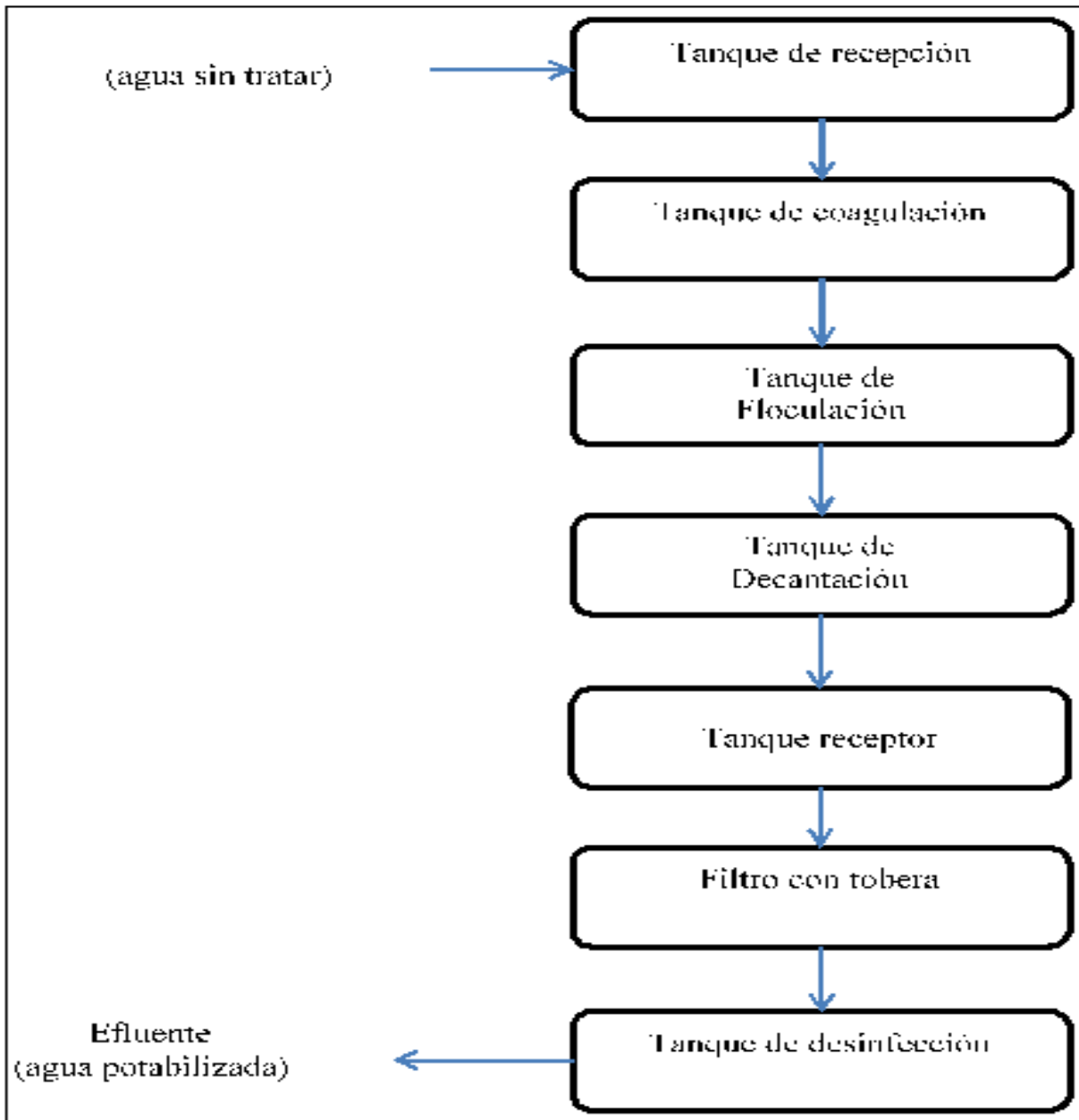
3.1.1. Memoria descriptiva

Se inicia el desarrollo de ingeniería con la descripción de las 6 etapas del módulo de tratamiento de agua, describiendo las características y cálculos realizados en la construcción de cada uno de ellos, asimismo se menciona los instrumentos de automatización y los parámetros de configuración que se implementaron para que trabajen de acuerdo a las necesidades del módulo de tratamiento.

En el gráfico N° 37 se muestra el diagrama de bloques del sistema de tratamiento de potabilización diseñado a escala piloto.

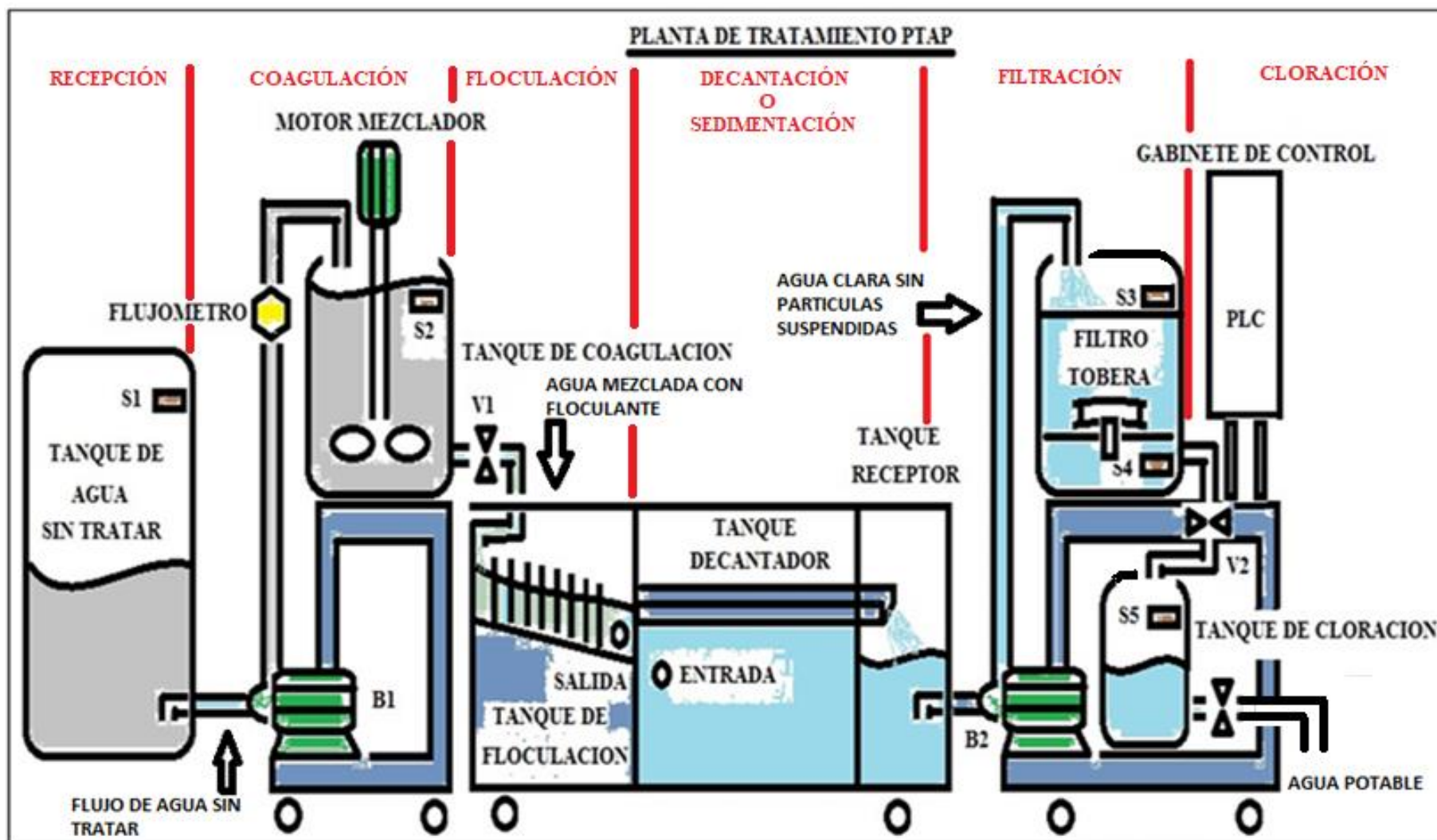
En el gráfico N° 38 se muestra el diseño final del módulo de tratamiento, el que ha sido detallado etapa por etapa en el ítem 2.3.

GRÁFICO N° 37. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN A ESCALA MENOR.



Fuente: Elaboración propia.

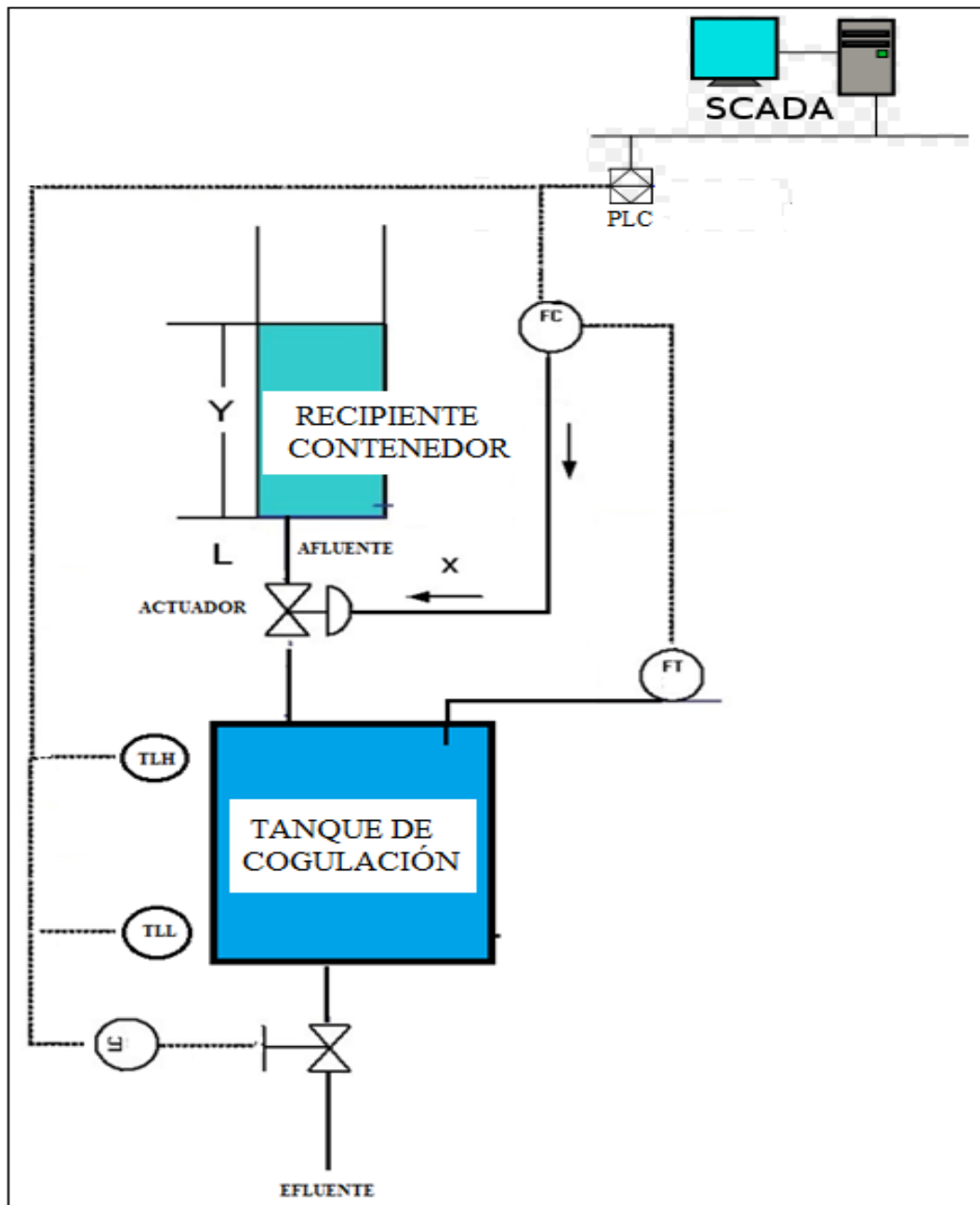
GRÁFICO N° 38. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN A ESCALA MENOR.



Fuente: Elaboración propia.

Para tener una idea general del tipo de control en la etapa de coagulación y cloración (desinfección) se presenta el diagrama de control (Gráfico N° 39) donde se han identificado los equipos que intervienen dichas etapas.

GRÁFICO N° 39. ESQUEMA DE DOSIFICACIÓN (COAGULACIÓN Y CLORADO).



Fuente: Elaboración propia.

La planta de tratamiento está dividida en 6 etapas: recepción, coagulación, floculación, decantación, filtrado y cloración (Gráfico N° 38). Cuenta con dos controles PID para las etapas de coagulación y cloración, el control de los equipos eléctricos y actuadores lo realiza el PLC Twido TWD24 DRF y tiene una supervisión con el emulador de Vijeo Designer.

El diseño de la planta está diseñado para el tratamiento de aguas superficiales con equipos de entorno industrial.

3.2. CÁLCULOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

El cálculo de los volúmenes de los tanques de recepción, floculación, coagulación, sedimentación, almacenamiento, filtración y recepción final se diseñaron a escala piloto.

Como volumen de diseño para el funcionamiento de la planta piloto se tomó un volumen inicial de 200 L de agua provenientes del río para tratarse en el módulo a escala menor que es almacenada en el tanque de agua sin tratar o tanque de recepción. Es decir, el dimensionamiento del tanque de entrada, inicia el proceso con un volumen de 200 L con la finalidad de alimentar a todas las etapas del proceso.

3.2.1. Volumen del recipiente de almacenamiento inicial

$$V_{cilindro} = \pi * R^2 * H$$

Donde:

H = Altura del cilindro

R = Radio

$$0.200 \text{ m}^3 = \pi * R^2 * 0.94$$

$$R = \sqrt{\frac{0.200}{\pi * 0.94}}$$

$$R = 0.26 \text{ m}$$

En función del volumen necesario de almacenamiento se establece el valor de H y en función de éste el resto de dimensiones del tanque.

En los tanques para el almacenamiento de materias primas tomaremos como base el código API-ASME, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior.

Radio del cilindro de almacenamiento inicial es:

$$R = 0.26 \text{ m}$$

$$R = 0.94 \text{ m}$$

3.2.2. Volumen del tanque de coagulación

$$V_{cilindro} = \pi * R^2 * H$$

$$0.043 \text{ m}^3 = \pi * R^2 * 0.42$$

$$R = \sqrt{\frac{0.043}{\pi * 0.42}}$$

$$R = 0.18 \text{ m}$$

En función del volumen necesario de almacenamiento se establece el valor de H , y en función de éste el resto de dimensiones del tanque.

3.2.3. Volumen del tanque de floculación rectangular

$$V_{hm} = \frac{Q}{b * H}$$

Donde:

V_{hm} = Velocidad horizontal media

b = Ancho de la unidad

h = Profundidad útil del tanque de coagulación

$$th = \frac{L}{V_{hm}} = V_{hm} = \frac{b * L * h}{Q}$$

(Tiempo que la partícula a remover tarda en recorrer la longitud L del tanque).

$$th = \frac{h}{V_s}$$

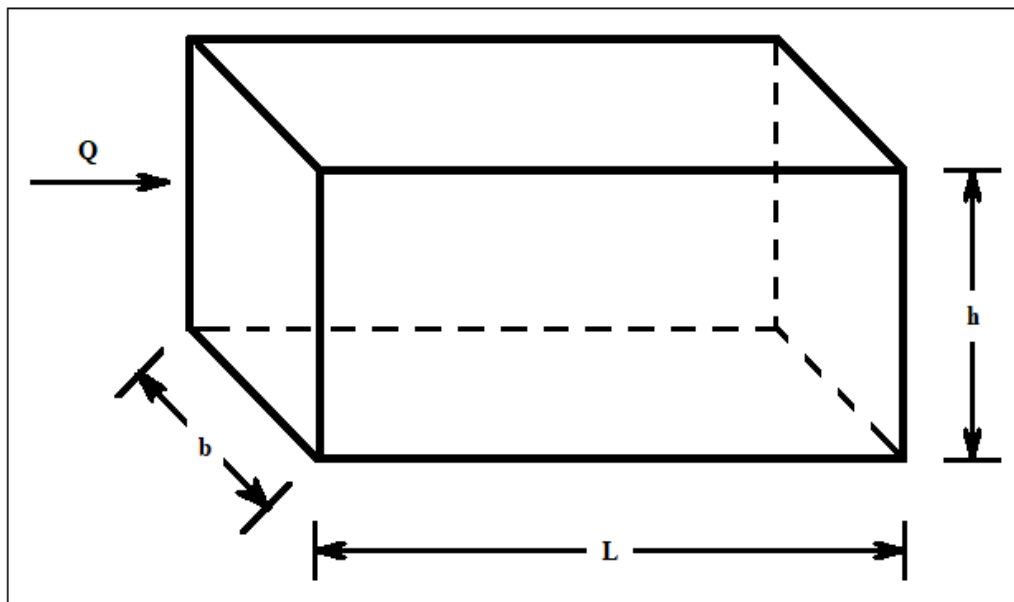
(Tiempo para que la partícula a remover, con velocidad V_s recorra la profundidad h útil)

Si:

$$th = tv$$

$$\frac{b * l * h}{Q} = \frac{h}{V_s}$$

GRÁFICO N° 40. TANQUE DE COAGULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

$$Q = \frac{0.002 \text{ m}^3}{\text{min}}$$

$$b = 0.50 \text{ m}$$

$$h = 0.20 \text{ m}$$

$$V_{hm} = \frac{0.02 \text{ m}}{\text{min}}$$

3.2.4. Cálculos de tanque de sedimentación

$$Q = \frac{0.002 \text{ m}^3}{\text{min}}$$

$$b = 0.50 \text{ m}$$

$$h = 0.39 \text{ m}$$

$$L = 0.50 \text{ m}$$

$$\text{Vol sed} = L * b * h$$

3.2.5. Cálculos de tanque de almacenamiento secundario

$$b = 0.50 \text{ m}$$

$$h = 0.34 \text{ m}$$

$$L = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Vol} = L * b * h$$

$$\text{Vol} = 34 \text{ litros}$$

3.2.6. Cálculos de filtro

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * R^2 * H$$

$$V_{\text{cilindro}} = 43 \text{ litros}$$

El Volumen total del módulo de tratamiento a carga completa es de 417 litros, entregando una producción de agua de $0.00175 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$.

Para la etapa de filtración se diseñó un filtro dinámico con un tanque que contiene una capa delgada de grava fina, en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso y un sistema de drenaje en el fondo, utilizando tobera, la función de la tobera es de captar el ingreso de agua y retener el sedimento y arena del filtro. Esta unidad es utilizada para reducir la turbiedad.

3.2.7. Cálculo de potencia de motor para agitador

La etapa de coagulación incluye el manejo de un motor de CC adecuado con el agitador del tanque, para esta etapa realizamos los cálculos de la potencia del motor conociendo los siguientes datos:

$$\text{Velocidad de agitación del motor} = 150 \text{ rpm}$$

Calcularemos el número de Reynolds de la ecuación siguiente:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu}$$

Dónde:

N = Velocidad de rotación [rps]

d = Diámetro del agitador [m]

ρ = Densidad del fluido [Kg/m³]

μ = Viscosidad [Pas]

N = 150 rpm

Pasamos a rps:

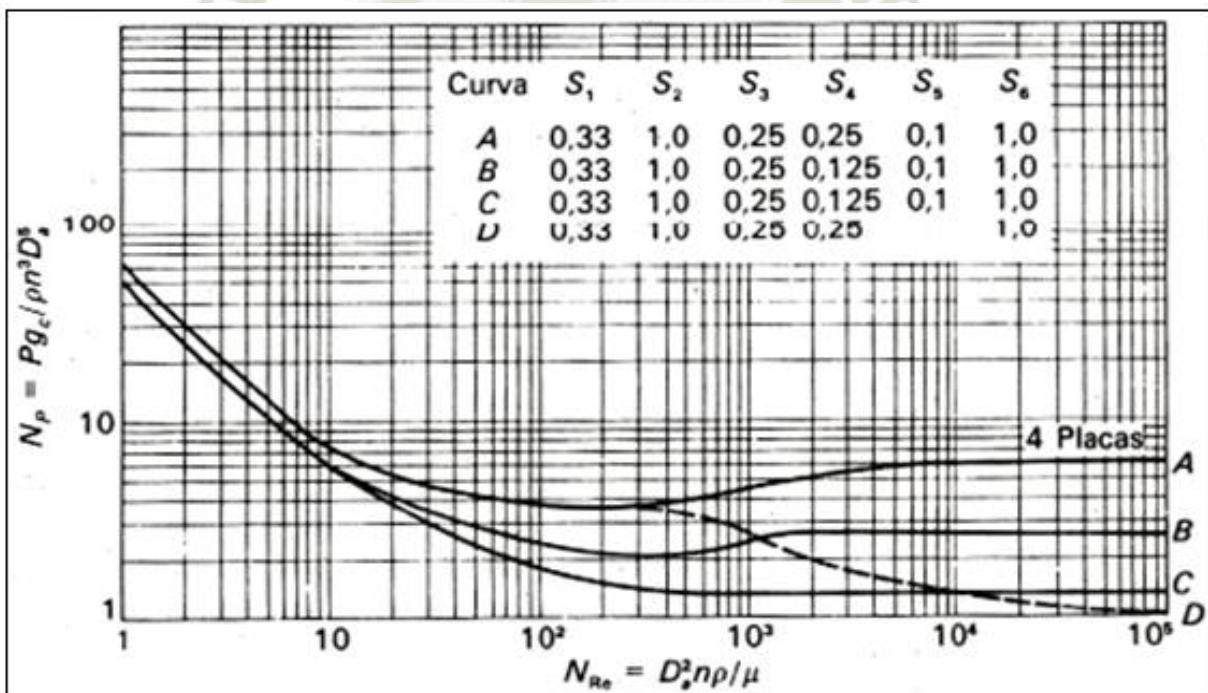
$$N = 150 * 1.667 * 10^{-2} = 2.50 \text{ rps}$$

$$Re = \frac{2.50 \text{ rps} * 0.28^2 \text{ m} * 998.2 \text{ Kg/m}^3}{1.005 \text{ Kg/m.s}}$$

$$Re = 193.90$$

Con el cálculo de número de Reynolds pasamos a encontrar el número de potencia con el gráfico N° 41.

GRÁFICO N° 41. TABLA DE NÚMERO DE REYNOLDS Y NÚMERO DE POTENCIA.



Fuente: Martínez Nelis, 2010.

Realizando la interpolación obtenemos el Np :

$$Np = \frac{P}{N^3 d^5 \rho}$$

$$Np = 3.7165$$

$$P = 3.7165 * 2.50^3 * 0.28^5 * 998.2$$

$$P = 98.56 \text{ w}$$

$$P = 0.1281 \text{ HP}$$

3.3. ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

3.3.1. Recepción

El modulo está diseñado como una planta de prueba, la cual consta de una etapa de recepción donde se almacena un volumen de 200 litros de agua sin tratar, el agua es utilizada en la alimentación del módulo para realizar las pruebas en la planta piloto, encontrando los parámetros óptimos de trabajo, luego escalar las medidas en una planta final que cumpla con todas las etapas del proceso y los requerimientos para la distribución.

GRÁFICO N° 42. TANQUE DE RECEPCIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

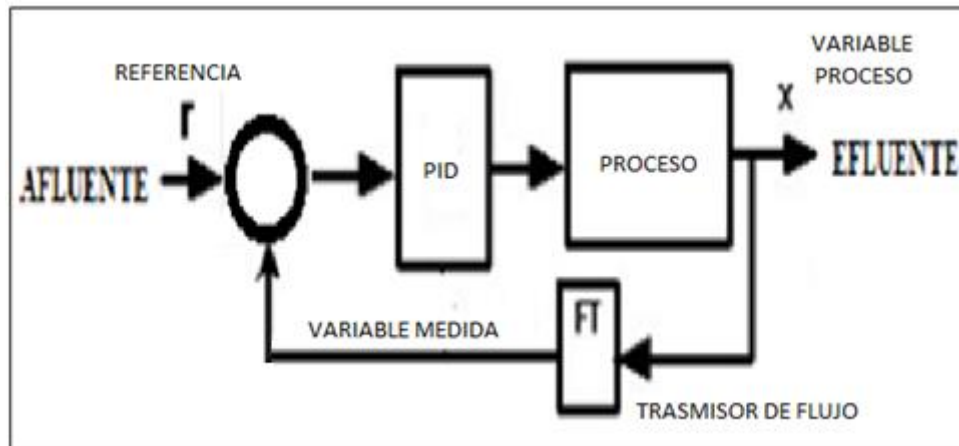
En el gráfico N° 42 muestra el tanque de recepción de agua sin tratamiento, las dimensiones del tanque son de 90 cm de alto con un diámetro de 54 cm, alberga un volumen de 200 L.

3.3.2. Coagulación

Como se mencionó anteriormente en esta etapa se realizó la mezcla de los aditivos químicos (sulfato de aluminio ó lumina al 5 %). En la etapa de coagulación se utilizó una electrobomba trifásica de $\frac{1}{4}$ de HP de potencia con conexión en triángulo a 220 V y con un flujo máximo de ingreso de 8.5 L/min. El rango de control está enlazado al valor que se colocó al variador de velocidad Altivar 12, que a su vez, se encarga de la protección del motor trifásico, ya que éste internamente cuenta con un contactor y guardamotor como etapa de protección.

El gráfico N° 43 muestra el diagrama de bloques del lazo de control de las etapas de dosificación de coagulante y cloración.

GRÁFICO N° 43. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL LAZO DE CONTROL.



Fuente: Elaboración propia.

El agua es conducida a través de la tubería de ½ pulgada a un tanque de almacenamiento donde se realiza la mezcla con el químico coagulante. Para esta etapa se implementó un control PID en la inyección del coagulante por medio del flujómetro y la válvula proporcional que libera la cantidad adecuada del químico al tanque.

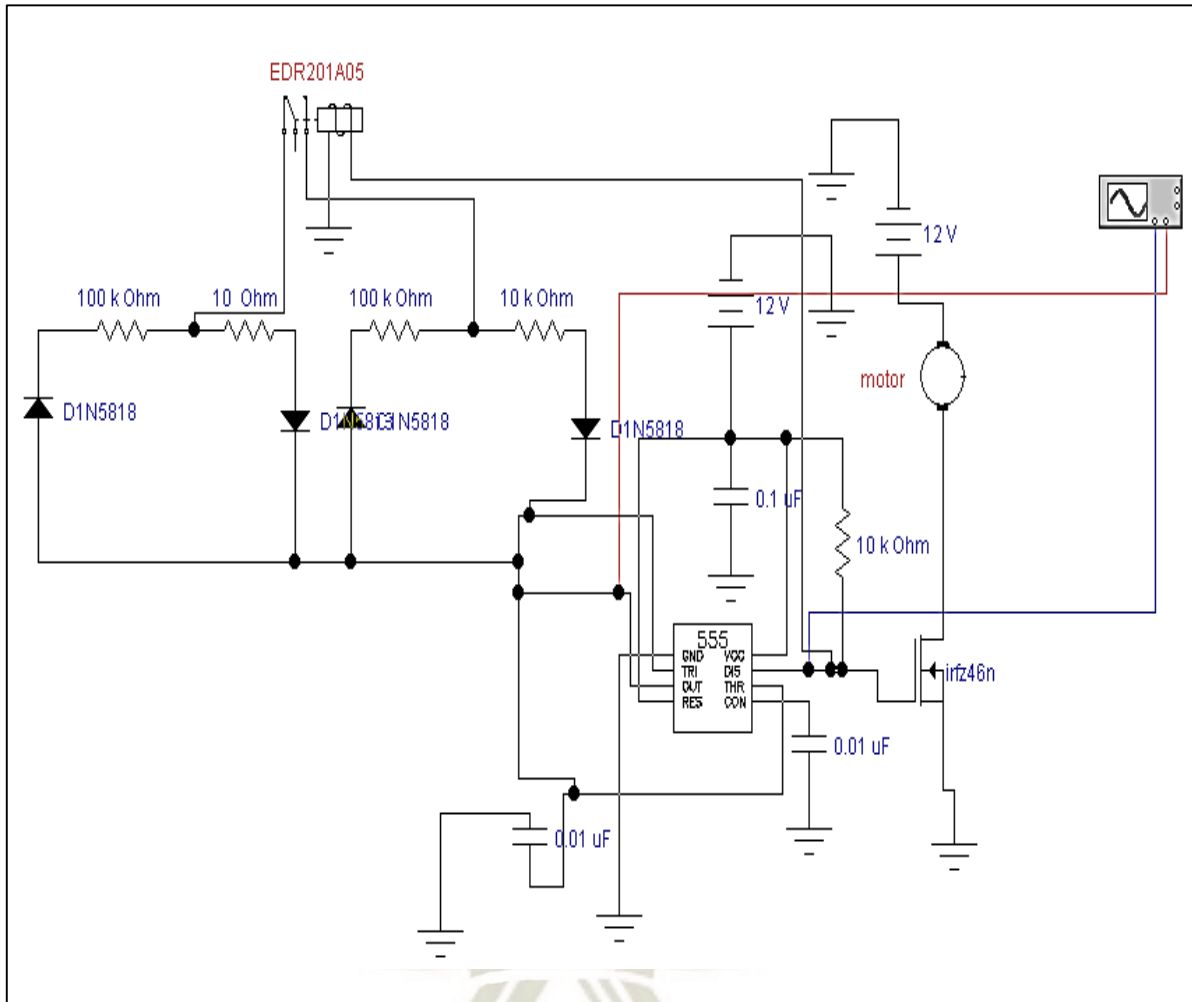
El siguiente paso se inicia encendiendo el motor del agitador realizando una mezcla rápida con una velocidad enérgica de 150 rpm durante 3 minutos y continúa con una velocidad lenta de 25 rpm durante 12 minutos. Transcurrido este tiempo se deja decantar 20 minutos y luego se deja homogenizar la mezcla.

El tanque de coagulación tiene un agitador impulsado por un motor de 0.25 HP calculados en el ítem anterior con los valores del cálculo del número de Reynolds.

Se instaló un motor de CC de 0.25 HP de potencia por ser un valor comercial el que se acerca al valor de diseño de 0.12 HP, para esta etapa se implementó un circuito electrónico con

un temporizador 555 en configuración estable para una modulación por ancho de pulso (PWM) como se muestra en el esquema del circuito (Gráfico N° 44).

GRÁFICO N° 44. CIRCUITO PWM PARA CONTROL DE MOTOR DE CC DE 12V.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.1. Descripción del circuito

El circuito está conformado por el CI 555, 3 condensadores de 0.01 uF, resistencias de 10 Kohms, 100 Kohms y 10 ohms, un relay a 12v, un motor de 24 Vde CC y mosfet Irfz46n.

El circuito inicia cuando el pin 2 de activación del circuito en configuración Astable está en bajo descargándose por el condensador C1. Con esto empieza el ciclo de oscilación, provocando la salida por el pin 3 que va ir a alto.

Si la salida va a alto, el condensador C1 empieza a cargar por el lado derecho de la combinación de resistencias de 100 K Ω y 10 Ω y los diodos D1 y D2, cuando el voltaje de C1 alcanza los 2/3 de +V, el umbral (pin 6) está activado, y a su vez provoca la salida (pin 3) y descarga (pin 7) pasa a bajo.

Cuando la salida (pin 3) va a bajo, el condensador C1 comienza a cargar por el lado izquierdo de las resistencias de 100 K Ω y 10 K Ω y los diodos D3 y D4.

Cuando el voltaje cae por debajo de 1/3 de +V, la salida (pin 3) pasa a descargar (pin 7) van a alto y el ciclo se repite.

El pin 5 no se utiliza, por lo que se omite a tierra con un condensador 0.01 uF.

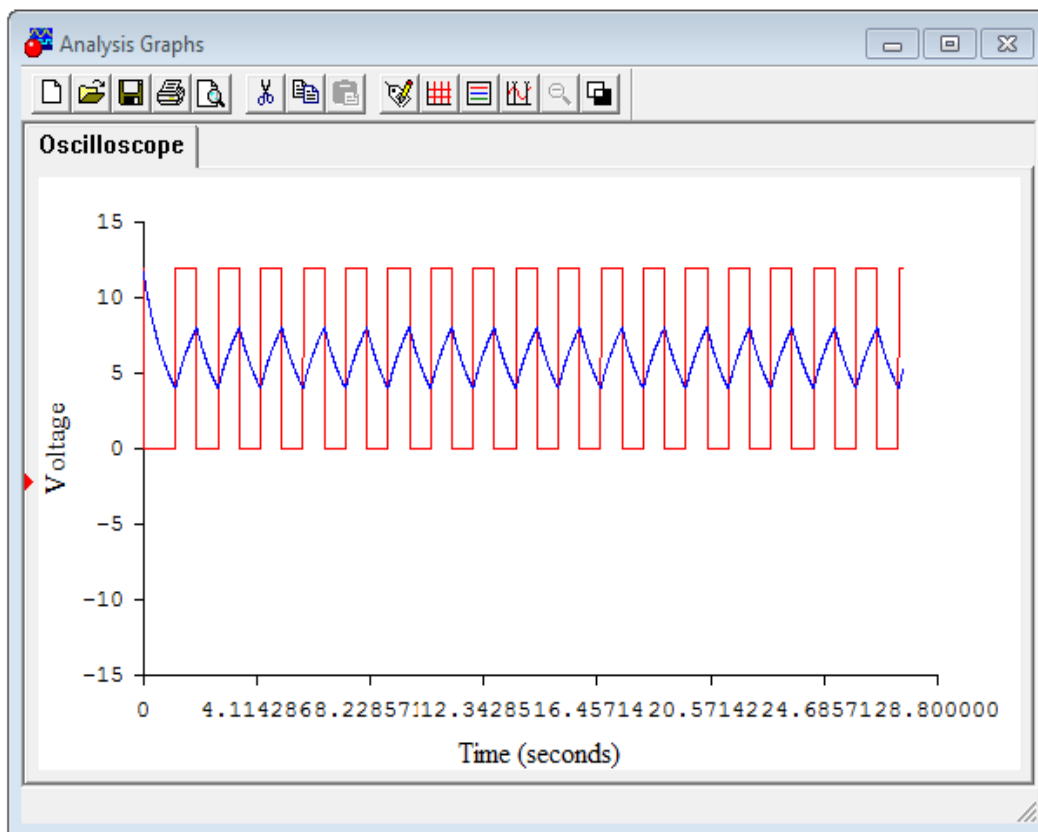
La suma de la resistencia de carga y descarga es siempre la misma, por lo tanto, la longitud de la onda de la señal de salida es constante, solo el ciclo de trabajo varia con la combinación de resistencias a la entrada de la patilla 2 del CI 555.

El circuito PWM mostrado en el gráfico N° 44 controla la velocidad del motor de CC que realiza la función de mezcla de sulfato de aluminio y agua sin tratar, a continuación se muestra la simulación en Electronic Workbench de la salida PWM.

Para encontrar la frecuencia de trabajo se calculó con:

$$Frecuencia = \frac{1.44}{C1 * R}$$

GRÁFICO N° 45. SIMULACIÓN DE CIRCUITO EN WORKBENCH.



Fuente: Simulador de Electronic Workbench.

En el gráfico N° 46 se muestra el tanque de coagulación que contiene un volumen de 45 litros, y recibirá la dosificación del coagulante con sulfato de aluminio.

GRÁFICO N° 46. ETAPA DE COAGULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

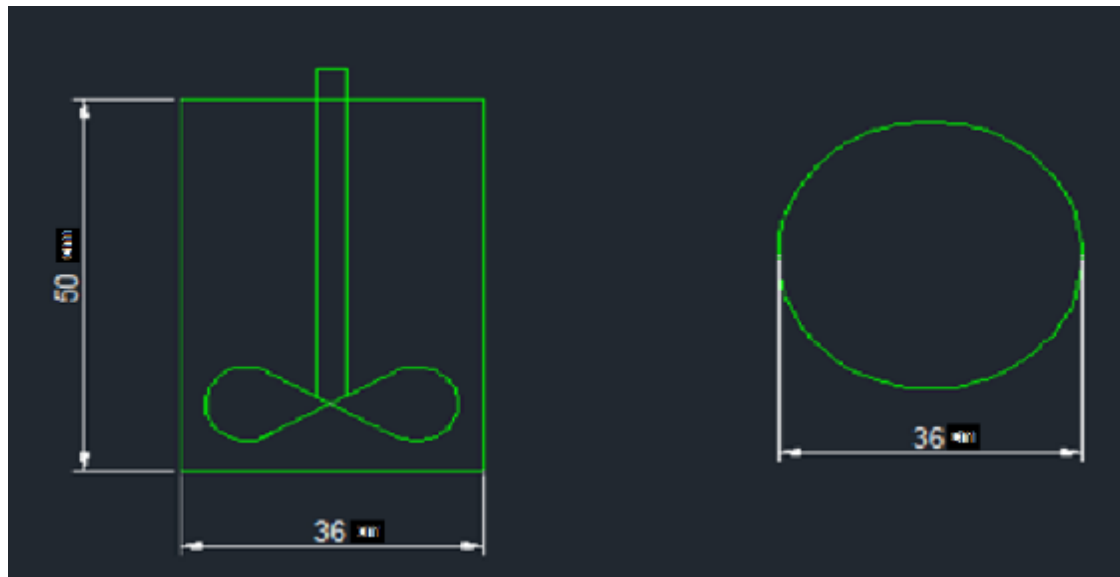
A continuación en la tabla N° 16 se muestra las medidas del tanque que contiene al agitador, obtenidos de los cálculos realizados en el diseño.

TABLA N° 16. VOLUMEN DE TANQUE DE COAGULACIÓN.

VOLUMEN DE TANQUE DE COAGULACIÓN Y AGITACIÓN		
Radio	0.18	m
Altura	0.45	m
Volumen	0.0458	m ³

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 47. PLANO DE ETAPA DE COAGULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 48. DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 48 se muestra la válvula proporcional TFV4 que se encarga de la apertura en porcentaje de la válvula de bola para dejar pasar el coagulante hacia el tanque de coagulación.

Para la dosificación del coagulante, se utiliza un recipiente con la solución ya diluida de sulfato de aluminio ó lúmina. Esta solución fue enviada al tanque de coagulación dependiendo de la cantidad de Litros/segundo que marque el flujometro, abriendo un determinado porcentaje la válvula proporcional y de este modo permitiendo el pase del coagulante hacia el tanque donde se realiza la mezcla.

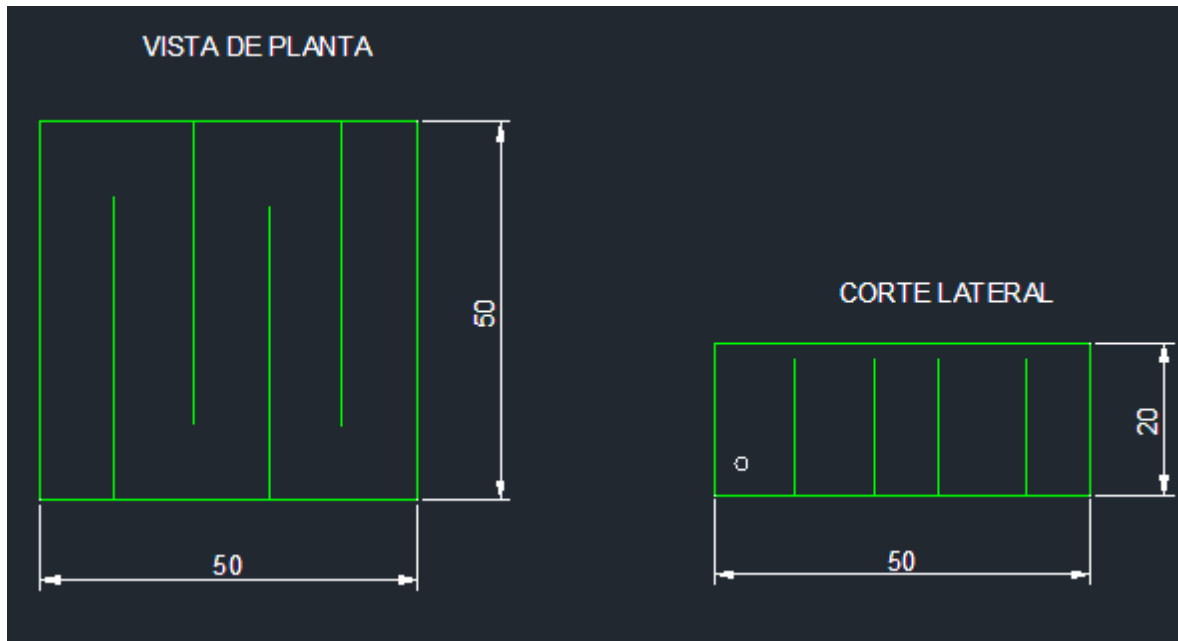
Para este procedimiento se implementó un control de flujo PID 1, el PLC envía una señal de control hacia la válvula proporcional indicando el porcentaje de apertura de la válvula según el flujo de agua que ingresa al tanque de coagulación; el agua debe llegar a un nivel que está marcado por el sensor de nivel alto.

Con la activación del sensor de nivel alto se cierra y apaga la electrobomba que se encarga del llenado del tanque de coagulación; iniciando la mezcla rápida por un tiempo de 20 a 15 min y luego continuando con una mezcla lenta por 10 min. Todo este procedimiento está controlado por el programa en el PLC, finalizada la mezcla se abrirá la electroválvula N° 1 para dejar pasar el agua hacia la siguiente etapa de floculación y repetir el proceso.

3.3.3. Floculación

La etapa de floculación consiste en un tanque con pantallas de acrílico cuya función es incrementar el tiempo de retención. En este tipo de unidades predomina el flujo de tipo pistón, con el cual se consigue un buen ajuste del tiempo de retención.

GRÁFICO N° 49. PLANO DE ETAPA DE FLOCULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 49 muestra las dimensiones del tanque de floculación, y las pantallas de los deflectores, desde las vistas de planta y desde un corte lateral.

Los volúmenes que se almacena esta etapa los mostramos en la tabla N° 17.

TABLA N° 17. DIMENSIONES Y VOLUMEN DE TANQUE DE FLOCULACIÓN.

VOLUMEN DE TANQUE DE FLOCULACIÓN		
Largo	0.5	m
Ancho	0.5	m
Altura	0.19	m
Volumen	0.0475	m ³

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 18. PLACA DE DATOS DE ELECTROBOMBA TRIFÁSICA 220 V.

Marca	Carpanelli	
Alimentación	220 trifásica	3~
Potencia en Kw	0.26	kW
cos ϕ	0.74	
Potencia en HP	0.35	HP
Revoluciones	2790	rpm
Frecuencia	50	Hz
IP	66	

Fuente: Elaboración propia.

La función fundamental es reducir la velocidad del agua para mejorar la formación de los flóculos. Finalizado el paso del agua por las pantallas se abrirá una válvula que conduce el agua hacia la siguiente etapa de sedimentación.

El material utilizado para la construcción del tanque de floculación es una plancha de acero estructural de 3mm.

GRÁFICO N° 50. ETAPA DE FLOCULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

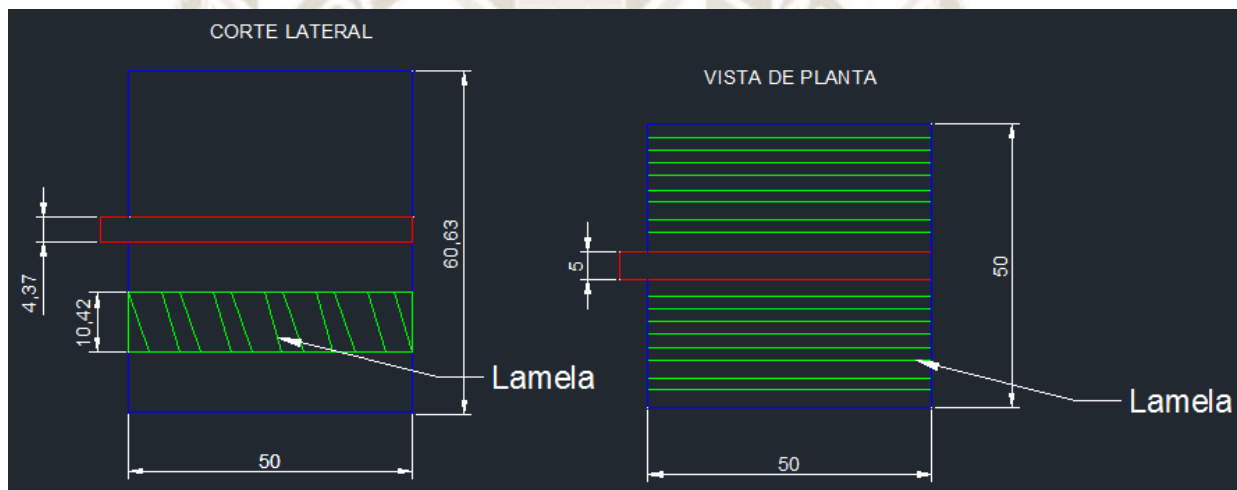
El gráfico N° 50 muestra el tanque de floculación y electro válvula que deja el paso del agua del tanque de coagulación, esta etapa contiene un volumen de 97.5 L.

3.3.4. Sedimentación

En esta etapa el agua ingresa de manera inversa con un flujo de abajo hacia arriba, el agua proveniente de la etapa de coagulación-floculación es más clara, la cual ingresa al canal que lo conducirá hacia un tanque de almacenamiento.

En el gráfico N° 52 mostramos los tanques de sedimentación y de almacenamiento con los respectivos sensores de nivel alto y bajo.

GRÁFICO N° 51. CORTE LATERAL Y DE PLANTA DEL TANQUE SEDIMENTADOR CON LAMELAS.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 19. VOLÚMENES DE TANQUE DE SEDIMENTACIÓN.

VOLUMEN DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN		
Largo	0.5	m
Ancho	0.5	m
Altura	0.4	m
Volumen	0.1	m ³

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 52. ETAPA DE FLOCULACIÓN.



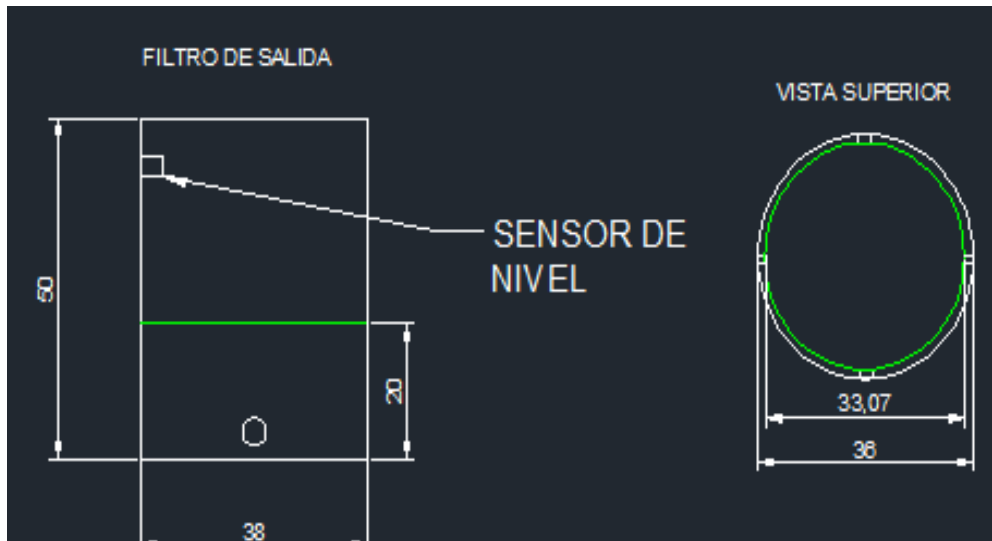
Fuente: Elaboración propia.

Volumen de agua de ambos tanques es de 130.5 L.

3.3.5. Filtración

Es una etapa previa a finalizar el tratamiento, el agua es enviada a un lecho de piedras, arena y carbón activado, recolectándose el agua sin impurezas reteniendo partículas de hasta veinte micras de tamaño.

GRÁFICO N° 53. PLANO DE FILTRO MULTIMEDIOS.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos de las medidas del tanque que almacena el filtro se muestran en la tabla N° 20 y en la tabla N° 21 se indican los sustratos que han sido colocados en el filtro multimédios con sus respectivas alturas.

TABLA N° 20. MEDIDAS DEL TANQUE DE FILTRACIÓN.

VOLUMEN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
Largo	0.2	m
Ancho	0.5	m
Altura	0.35	m
Volumen	0.035	m ³

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 21. SUSTRATOS DEL TANQUE DE FILTRACIÓN.

SUSTRATO	ALTURA
Piedra canto rodado de ¼"	10 cm
Piedra antracita	15 cm
Carbón activado	15 cm

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 54. ETAPA DE FILTRACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 22. PLACA DE ELECTROBOMBA MONOFÁSICA 220 V.

Marca	Meba	
Alimentación	220	Monofásica
Potencia en Kw	0.37	kW
cos ϕ	1	
Potencia en HP	0.5	HP
Revoluciones	3450	rpm
Frecuencia	60	Hz
IP	44	
Succión max	9	M
Hmax	35	M
Qmax	40	L/min

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 54 se muestra la implementación del filtro con los sensores y actuadores y en la tabla N° 22 se indican las características de la placa de la electrobomba monofásica.

A la salida del filtro se instaló un caudalímetro que registrara el flujo de agua que pasa por el filtro multicapas y servirá de dato para la apertura de la válvula proporcional en función del caudal y la dosificación necesaria de cloro.

3.3.6. Cloración

La etapa de cloración es la más delicada debido a que se debe dosificar bien el cloro líquido evitando los rezagos de cloro residual que pueden afectar a los consumidores finales.

En esta etapa se implementará un segundo PID con la medición del flujo, el cual proviene del filtro de arena. Se enviara una señal escalada para que el controlador a su vez envíe una señal a la válvula proporcional para indicar la apertura de la válvula y la dosificación necesaria al agua tratada, terminando así el proceso de potabilización.

En el gráfico N° 55 se muestra la etapa de cloración a la salida del filtro, está compuesta por el flujometro y la válvula proporcional.

GRÁFICO N° 55. DOSIFICACIÓN DEL CLORO.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.6.1. Cálculos para la dosificación

Para saber la dosificación de cloro que se debe añadir se utilizará los siguientes cálculos:

$$V1 = \frac{V2 * C2}{C1}$$

En donde:

V1 = Volumen 1

V2 = Volumen 2, correspondiente al volumen que se desea conseguir

C1 = Concentración 1, de la que se parte

C2 = Concentración 2, a la que se desea llegar

Tomamos como base la siguiente solución al 5% de concentración y obtendremos:

$$V1 = \frac{1000 \text{ ml} * 6 \text{ ppm}}{50000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 0.12 \text{ ml}$$

3.4. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Para la elección de los equipos de bombeo o tras base de una etapa a otra tomamos como base la fórmula de la potencia del motor:

$$HP = \frac{Q(\text{lps}) * H(\text{m})}{75 * \left(\frac{n}{100}\right) \%}$$

Dónde:

Q = Caudal en L/s (litros por segundo)

H = Altura en m (metros)

n = Rendimiento de la bomba en 60 %

Constante:

HP = Potencia del motor (Horse Power)

Tomando en cuenta que se requiere un caudal de 7 L/min para llenar el tanque de floculación, hasta una altura de 0.5 m.

El rendimiento volumétrico se puede estimar en los siguientes valores:

Entre 0,97 hasta 0,98 para bombas de alta ejecución y grandes caudales.

Entre 0,94 hasta 0,96 para bombas de baja ejecución y pequeños caudales.

Entre 0,89 hasta 0,92 para bombas de regular ejecución y pequeños caudales.

Asumimos el valor de 1 para la eficiencia como ideal:

$$HP = \frac{0.1166(lps) * 0.9(m)}{76 * \left(\frac{0.8}{100}\right) \%}$$

$$HP = 0.15$$

Tomando en cuenta las potencias que se encuentra en el mercado, la más pequeña es de 0.35 HP que es la que se eligió según los cálculos realizados.

3.5. LAZOS DE CONTROL DEL COAGULANTE

El sistema de control de un proceso de tratamiento de agua está dividida según la etapa en la que se encuentra, en nuestro caso existen dos lazos de control en las etapas de:

- Coagulación.

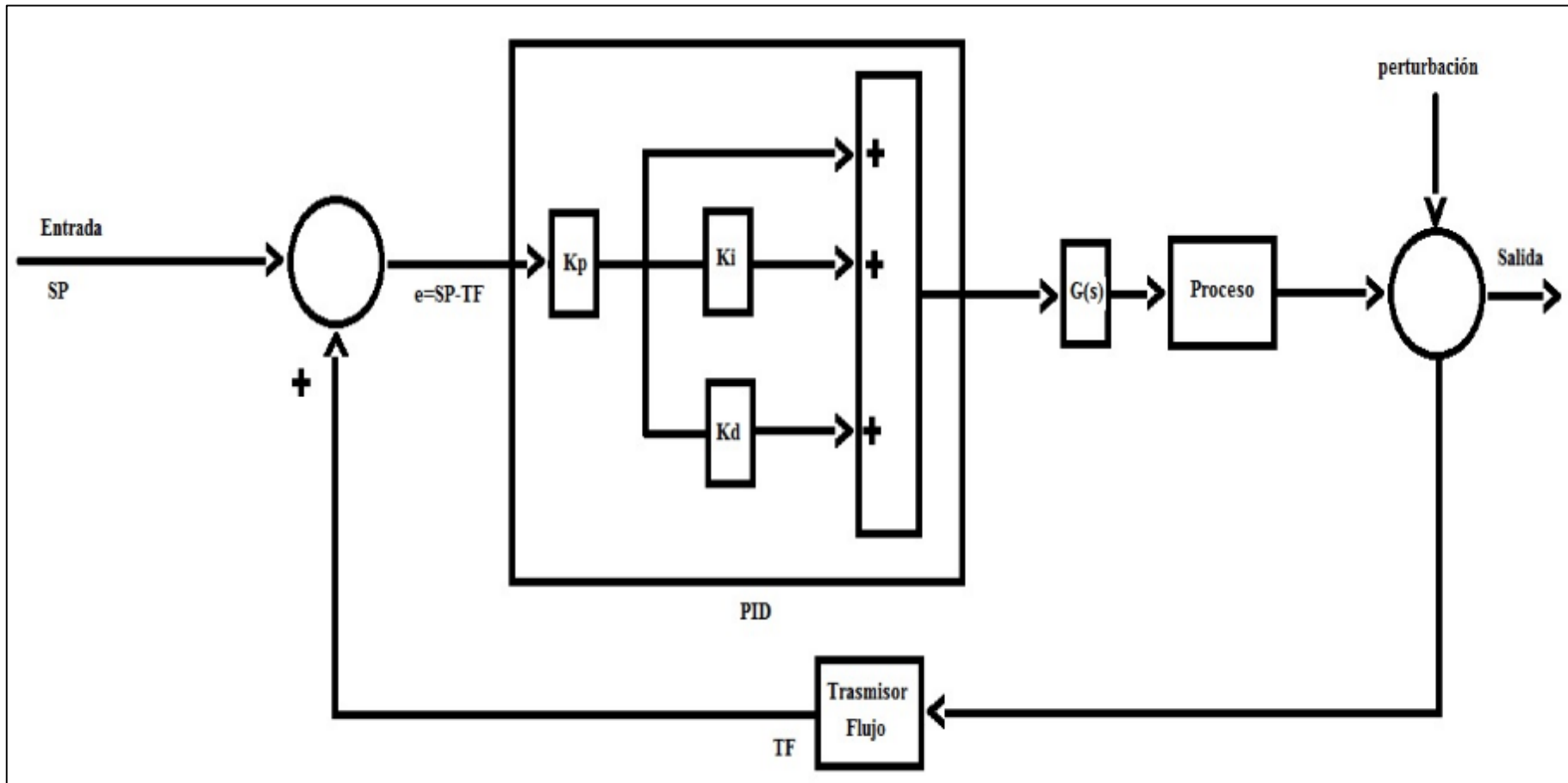
- Cloración.

Estamos tomando en cuenta un control PID independiente debido a que se debe tener una dosificación bien controlada para no ingresar volúmenes de coagulante en exceso. Para la implementación de este PID se realizará tomando como referencia los valores que indique el flujometro, que envía la señal hacia el PLC el cual envía las señales de control a las dos válvulas proporcionales limitando la cantidad exacta de coagulante o cloro hacia los tanques respectivos.

En el gráfico N° 56 mostramos el diagrama de bloques con los parámetros del PID hacia el controlador y posteriormente al proceso.



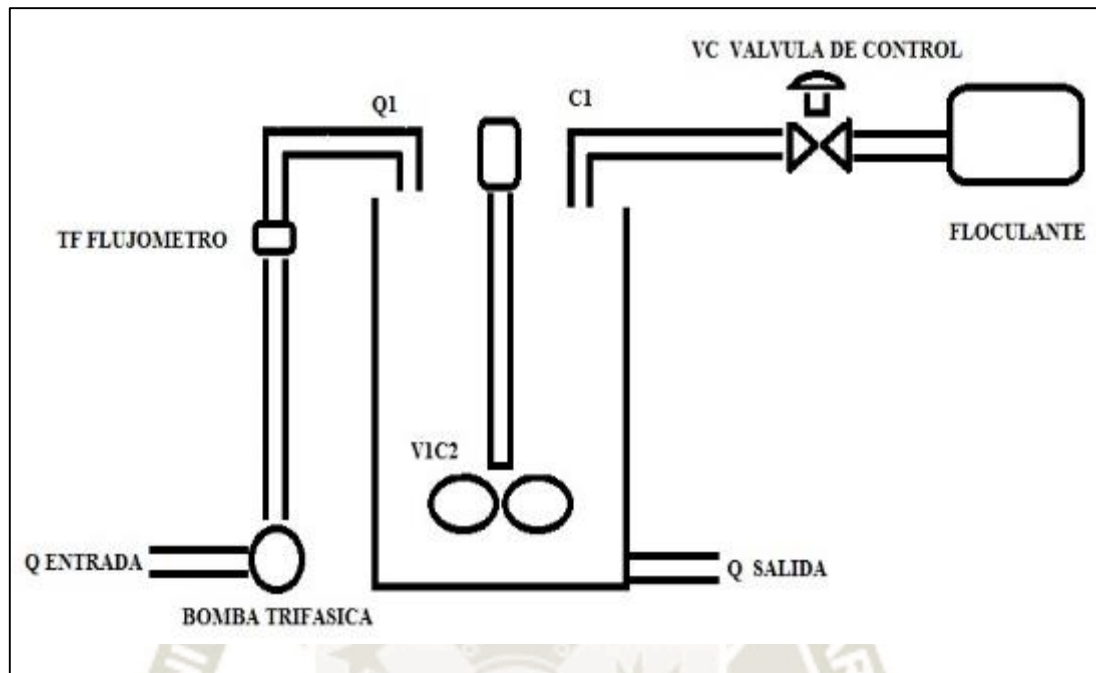
GRÁFICO N° 56. LAZO DE CONTROL DEL COAGULANTE.



Fuente: Elaboración propia sintonización del PID con el método de Ziegler & Nichols.

3.6. MODELAMIENTO MATEMÁTICO

GRÁFICO N° 57. PID EN LA DESINFECCIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

La ecuación siguiente indica los cambios en la concentración de floculante en un recipiente, en el cual podemos tomar la diferencia en las concentraciones de floculante en la entrada y la salida.

$$\frac{dM_p}{dt} = V * \left(\frac{dC_2}{dt} \right) = QC_1 - QC_2$$

M_p = Cantidad de floculante en el tanque

Q = Flujo de líquido en el tanque

V = Volumen del líquido en el tanque

C₁ = Concentración de floculante en la entrada

C₂ = Concentración de floculante en la salida del tanque

Aplicando la transformada de Laplace, se obtiene:

$$V * C2s = QC1 - QC2$$

$$C2(Vs + Q) = C1Q$$

$$G(s) = \frac{C2}{C1} = \frac{Q}{(Vs + Q)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{V}{Q}\right)s}$$

Dónde:

$$\frac{V}{Q} = K \text{ constante}$$

$$G(s) = \frac{1}{1 + Ks}$$

Tomando la señal de regulación de flujo de entrada U1 y flujo de salida U2, aplicamos la transformada de Laplace.

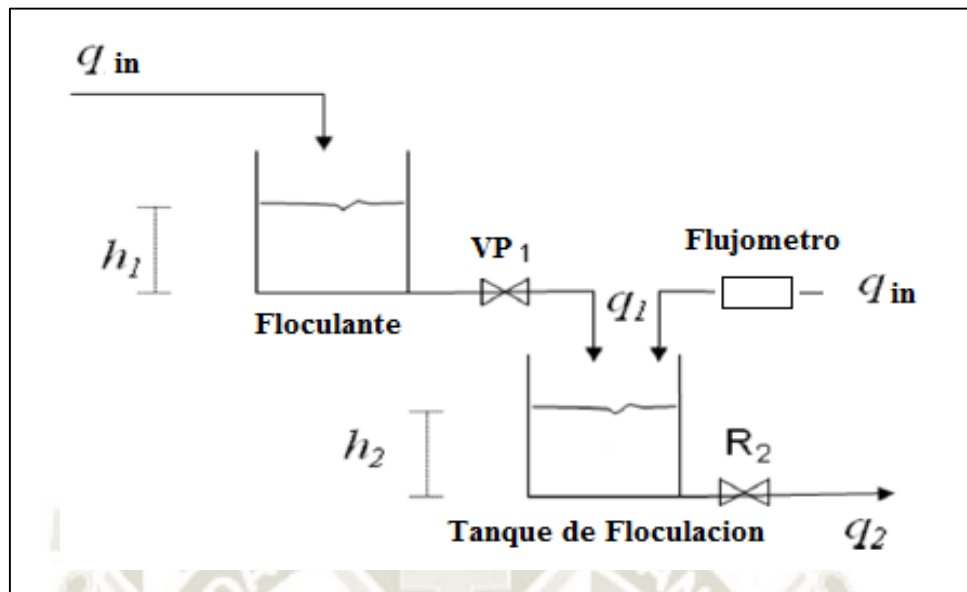
$$AHs = U1 - U2$$

$$G(s) = \frac{H}{U1 - U2} = \frac{1}{1 + Ks}$$

3.7. CONTROL PID SIMULACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN

La planta de tratamiento de aguas superficiales a escala tiene implementado un sistema de control PID en la etapa de dosificación de coagulante tomando como base la función de transferencia de lazo abierto, para la etapa de dosificación.

GRÁFICO N° 58. ESQUEMA DE DOSIFICACIÓN EN TANQUE DE FLOCULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

La función de transferencia de procesos en serie resulta de multiplicar las funciones de transferencia correspondientes a cada proceso por separado.

Del balance de materia para el primer tanque:

$$A1 * \frac{dh1}{dt} = qin - q1$$

Dónde:

A = Área del floculante

Suponiendo que el caudal de salida es lineal con la altura del tanque:

$$q1 = \frac{1}{VP1} * h1$$

Sustituyendo:

$$A_1 * \frac{dh_1}{dt} = q_{in} - \frac{1}{VP_1} * h_1$$

Realizando la transformada:

$$\frac{H_1(s)}{Q_1(s)} = \frac{VP_1}{AVP_1s + 1}$$

$$\frac{Q_1(s)}{H_1(s)} = \frac{1}{VP_1}$$

Además:

$$VP_1 = k \text{ (constante)}$$

$$A * VP_1 = \tau$$

Entonces:

$$\frac{H_1(s)}{Q_1(s)} = \frac{k}{\tau s + 1}$$

K = Caudal de la válvula

VP = Válvula proporcional

$$\tau = \text{Área} * VP$$

$$\tau_1 = A_1 * VP_1 = 0.015$$

$$\tau_2 = A_2 * VP_2 = 0.8$$

La función de transferencia final respecto a los caudales de los 2 tanques:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

Finalmente encontramos la función de transferencia en lazo cerrado tomando en cuenta la realimentación negativa del sensor de caudal.

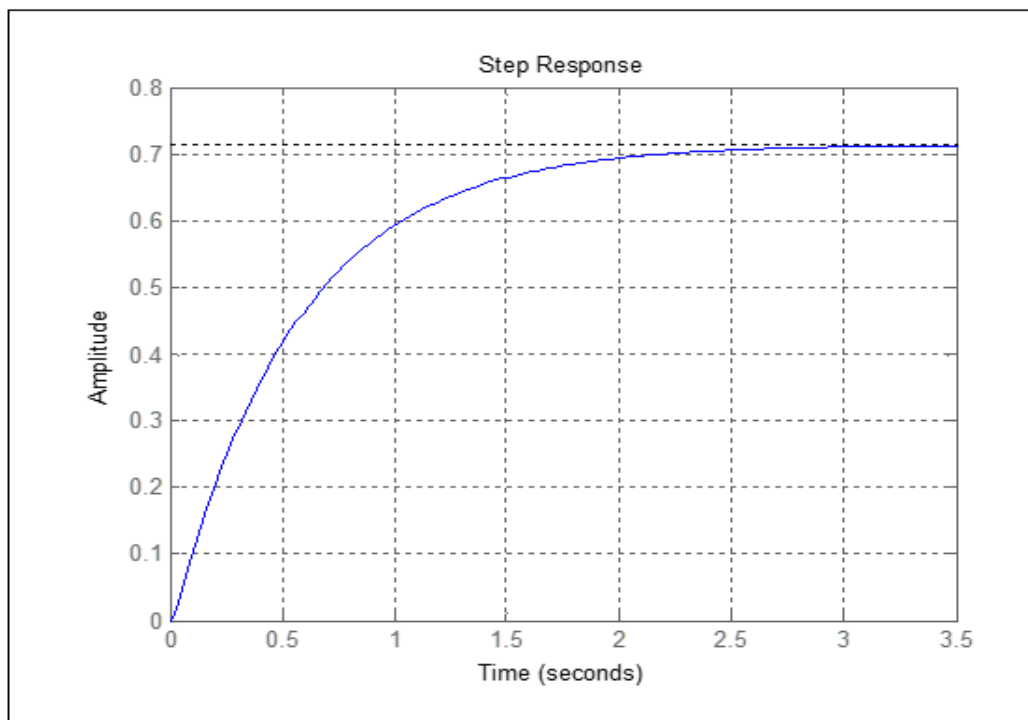
- **Las instrucciones en matlab son:**

```
Num = [1];  
Den = [0.012 0.8 1];  
Gretro = 0.4;  
Sys = tf(num,den);  
Sysfinal = feedback(sys,gretro);  
Step(sysfinal);  
Tf(sysfinal)
```

- **Función de transferencia final:**

$$Tf = \frac{1}{0.012s^2 + 0.8s + 1.4}$$

GRÁFICO N° 59. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN TIEMPO CONTINUÓ.



Fuente: Software Matlab.

3.8. MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER & NICHOLS

Se tiene la función de transferencia en la etapa de dosificación, tomando como base la etapa de salida del floculante hacia el tanque de floculación para obtener un control PID en el flujo de un tanque a otro como se mostró en las gráficas anteriores.

Diseñamos el control PID tal que el sistema tenga un tiempo de establecimiento menor a 5 segundos y una sobre elongación menor al 20 %.

a. Verificamos la respuesta de la función ante un escalón

Para poder aplicar el método 1 de ZIEGLER – NICHOLS, la curva de respuesta de la función debe de tener forma de S, con un punto de inflexión.

Representación de la función de transferencia:

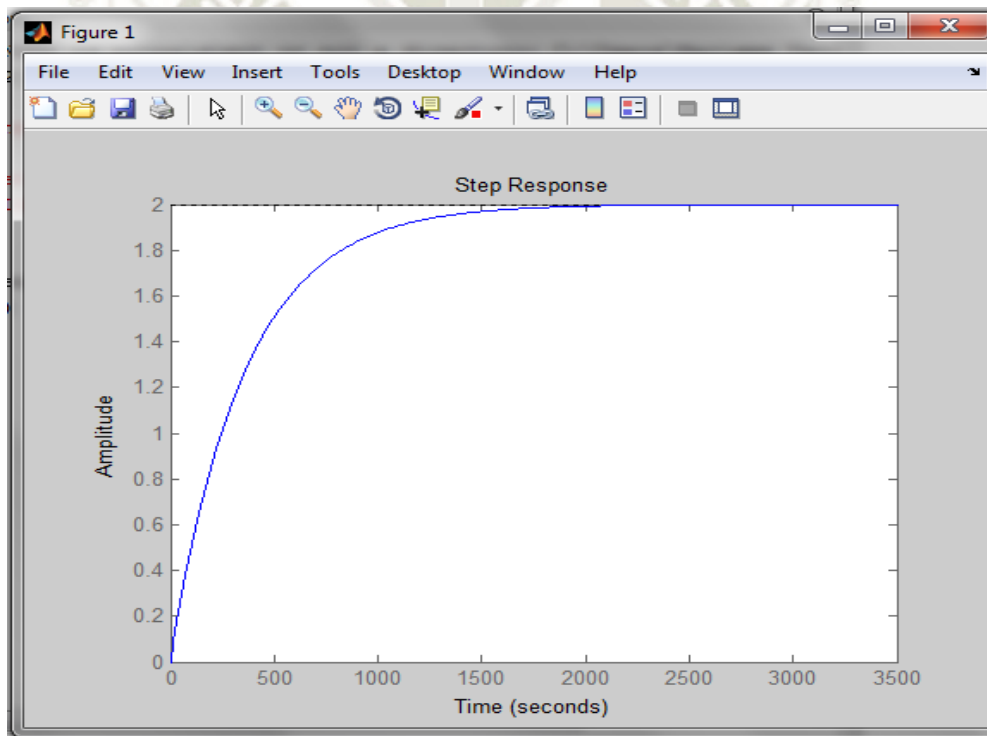
$$ft1 = \frac{0.0006}{s^2 + 0.0.271s + 0.0002297}$$

$$FT = \frac{ft1 * h(s)}{1 + (ft1 * h(s))}$$

$$H(s) = 2K * Q$$

$$FT = \frac{0.0006 * 2K * Q}{1 + (ft1 * h(s))}$$

GRÁFICO N° 60. RESPUESTA ESCALÓN EN MATLAB.



Fuente: Software Matlab.

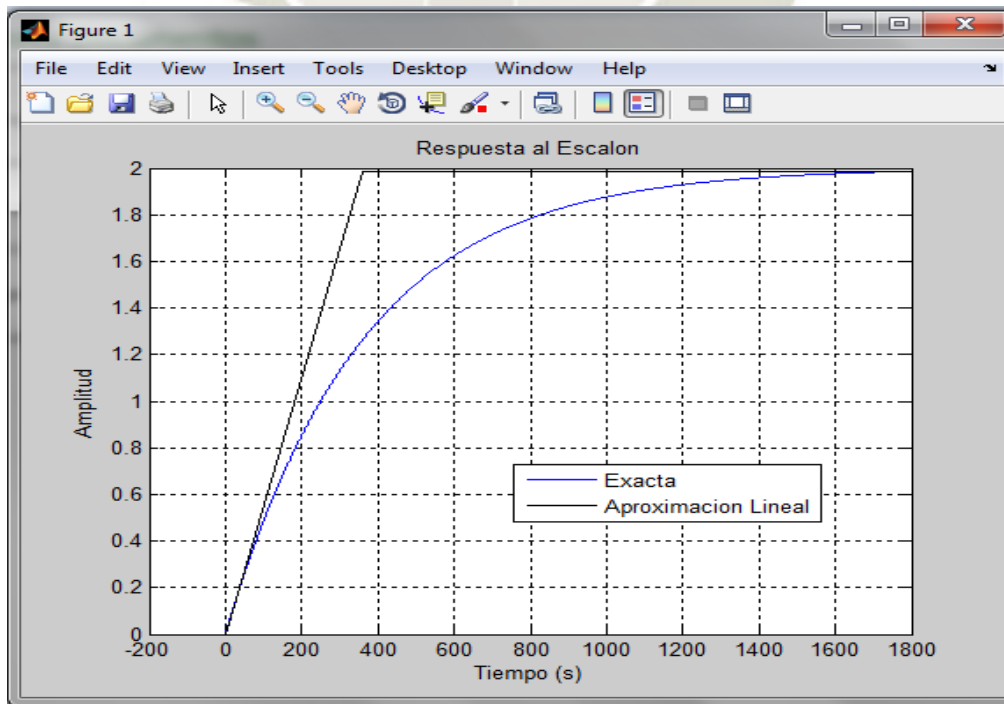
b. Determinando los parámetros L y T

Para encontrar los parámetros de tiempo de retardo (L) y constante de tiempo (T), dibujamos una recta tangente al punto de inflexión de la curva.

El siguiente código encuentra el punto de inflexión en la curva de respuesta de H, a partir de esto se traza una línea tangente a este punto, y se utiliza la ecuación de la recta y la pendiente del punto de inflexión, para encontrar los parámetros L y T.

```
H = tf ([2],[360 1]);
pp =pole (H);
dt = 0.1;
t =1:dt:1800;
y = step (H,t)';
dy = diff (y)/dt;
[m,p] = max(dy);
d2y = diff (dy)/dt;
yi = y(p);
ti = t(p);
L = ti-yi/m;
Tau = (y(end)-yi)/m+ti-L;
plot (t,y,'b',[0 L L+Tau t(end)],'k')
Tau = (y(end)-yi)/m+ti-L;
plot (t,y,'b',[0 L L+Tau t(end)],'k');
grid; title('Respuesta al Escalon')
ylabel ('Amplitud')
xlabel ('Tiempo (s)')
legend ('Exacta','Aproximacion Lineal')
```

GRÁFICO N° 61. RESPUESTA ESCALÓN Y APROXIMACIÓN LINEAL.



Fuente: Software Matlab.

c. Determinar los valores de K_p , T_i y T_d .

Para determinar estos valores se utilizan los datos de la tabla 20. Referente al método 1 de Z-N.

TABLA N° 23. VALORES DE SINTONIZACIÓN, MÉTODO UNO.

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
<i>P</i>	T/L	∞	0
<i>PI</i>	$0.9(T/L)$	$L/0.3$	0
<i>PID</i>	$1.2 (T/L)$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos para:

$$K_p = 12$$

$$t_i = 0.6$$

$$t_d = 0.15$$

$$K_i = \frac{k_p}{t_i} = 20$$

$$k_d = k_p * t_d = 1.8$$

Para encontrar la función del controlador PID usamos:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s$$

De donde podemos encontrar los valores de K_i y K_d , para expresar la función de PID en términos de s .

$$G_c(s) = \frac{18s^2 + 12s + 20}{s}$$

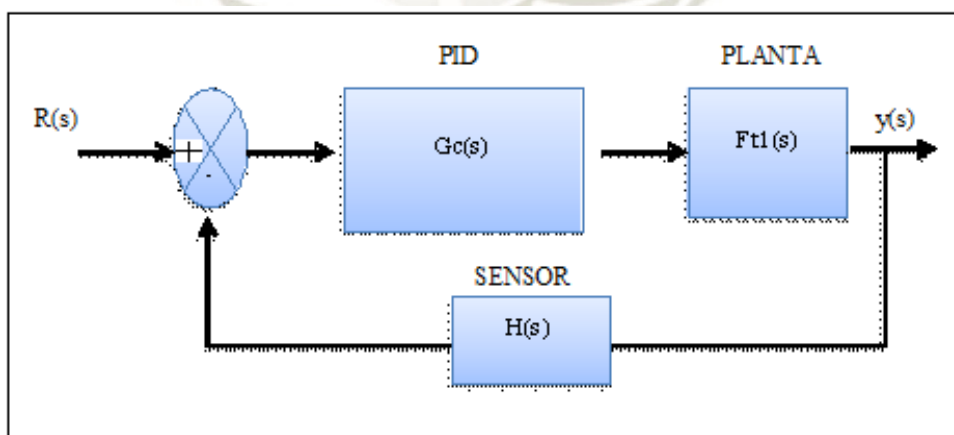
Finalmente obtenemos la función de transferencia de lazo cerrado que involucra el control PID y la función H de la planta con retroalimentación.

Para dar una explicación al control PID podemos decir lo siguiente, que cada parte realiza una acción, por lo tanto el error en estado de régimen disminuye cuando K aumenta, pero el sistema se hace más oscilatorio.

Esto también se ve afectado por:

- Filtro de ruidos y respuesta en alta frecuencia.
- Diseño de 2 grados de libertad con asignación de peso al punto de ajuste.
- Efecto windup debido a la saturación del actuador.
- Ajuste (tuning) de los parámetros.
- Implementación computacional.

GRÁFICO N° 62. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE UNA PLANTA CON UN CONTROL PID IMPLEMENTADO Y RETROALIMENTACIÓN.

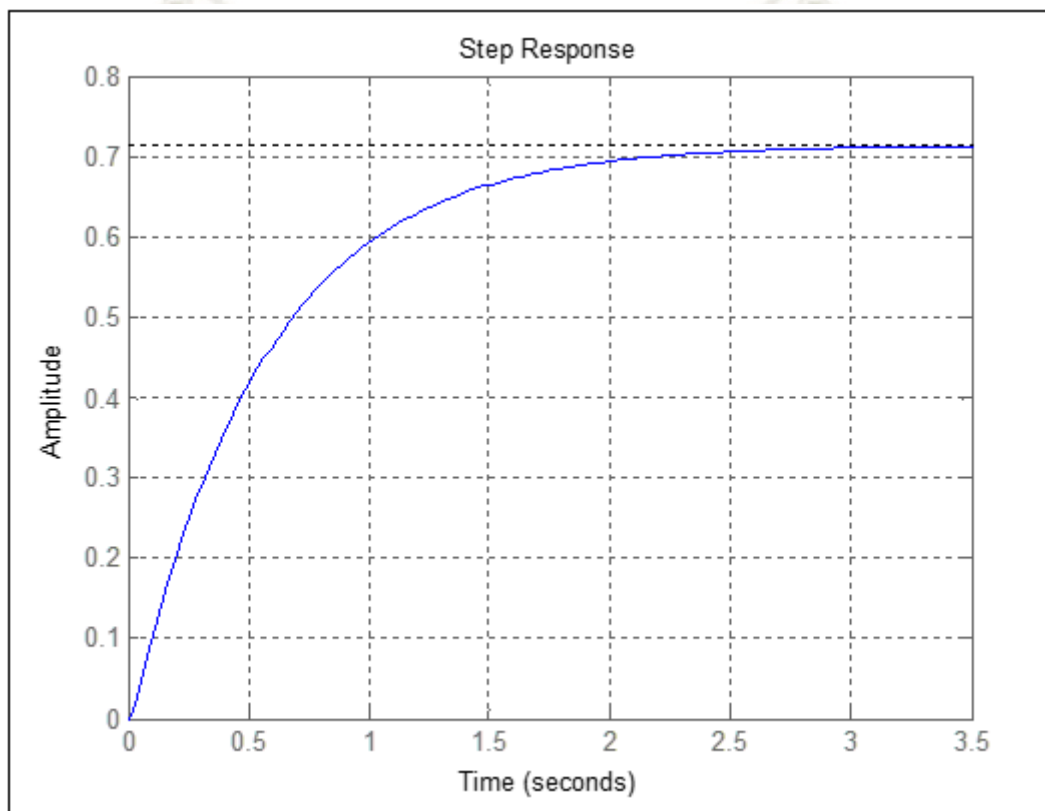


Fuente: Elaboración propia.

La función feedback de Matlab nos puede facilitar el trabajo, tan solo hay que indicar el lazo principal y el lazo de retroalimentación como variables de esta y nos devuelve la función de transferencia de lazo cerrado.

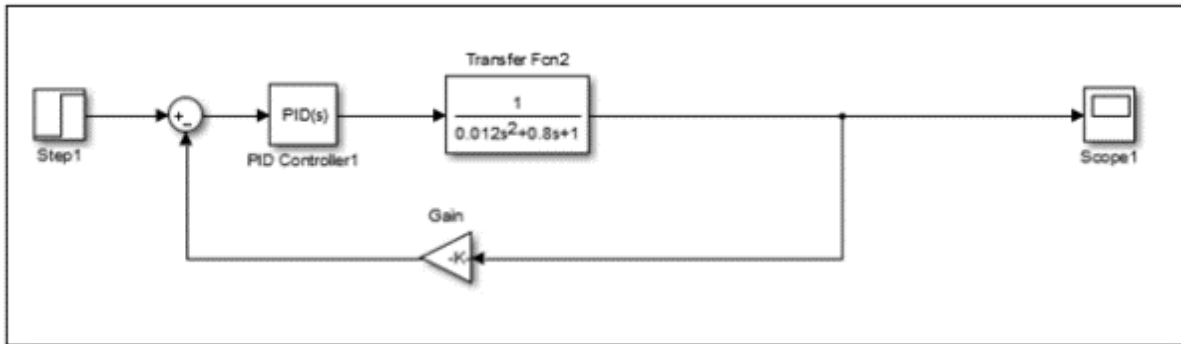
$$H_{lc} = \text{feedback}(G*H,1)$$

GRÁFICO N° 63. RESPUESTA ESCALÓN SIN PID.



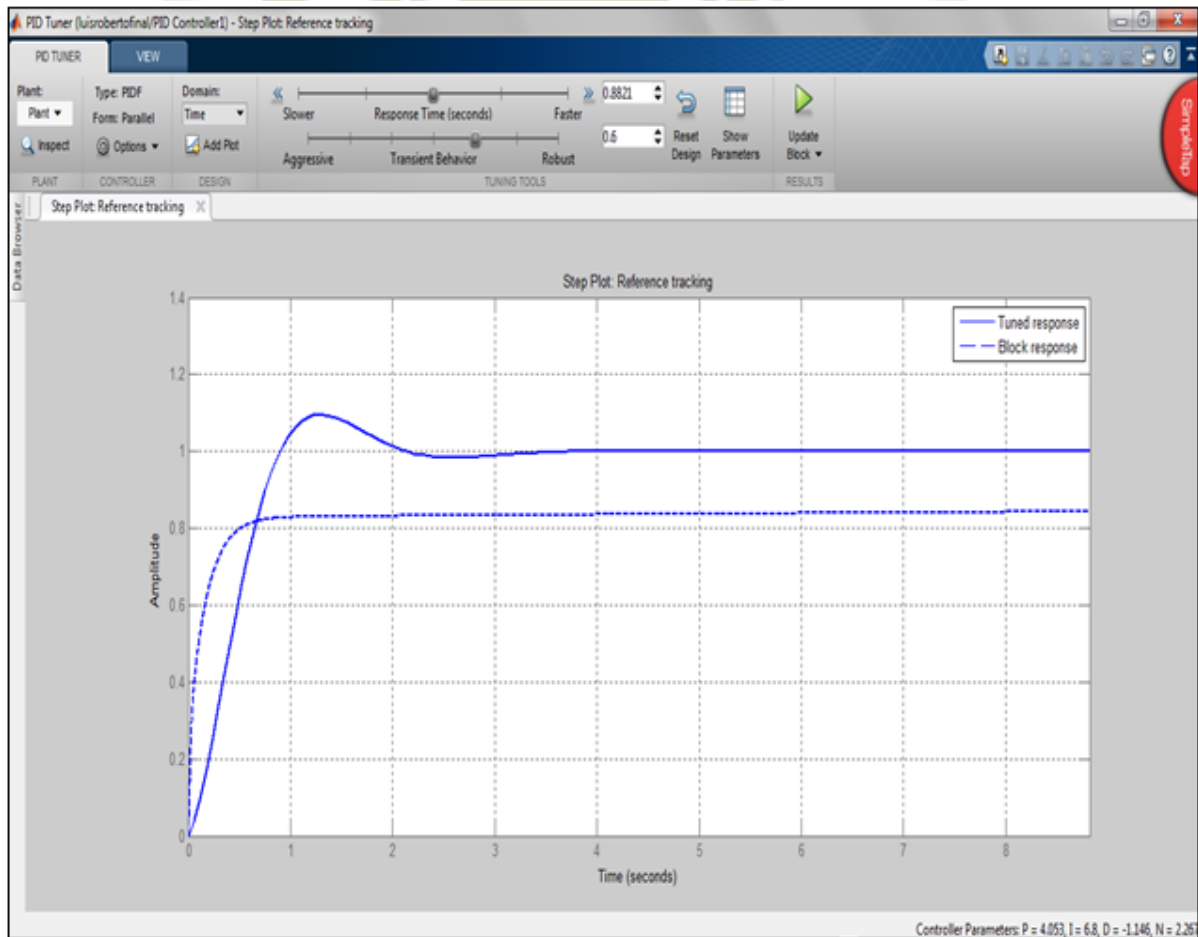
Fuente: Software Matlab.

GRÁFICO N° 64. BLOQUES DE SIMULACIÓN EN SIMULINK.



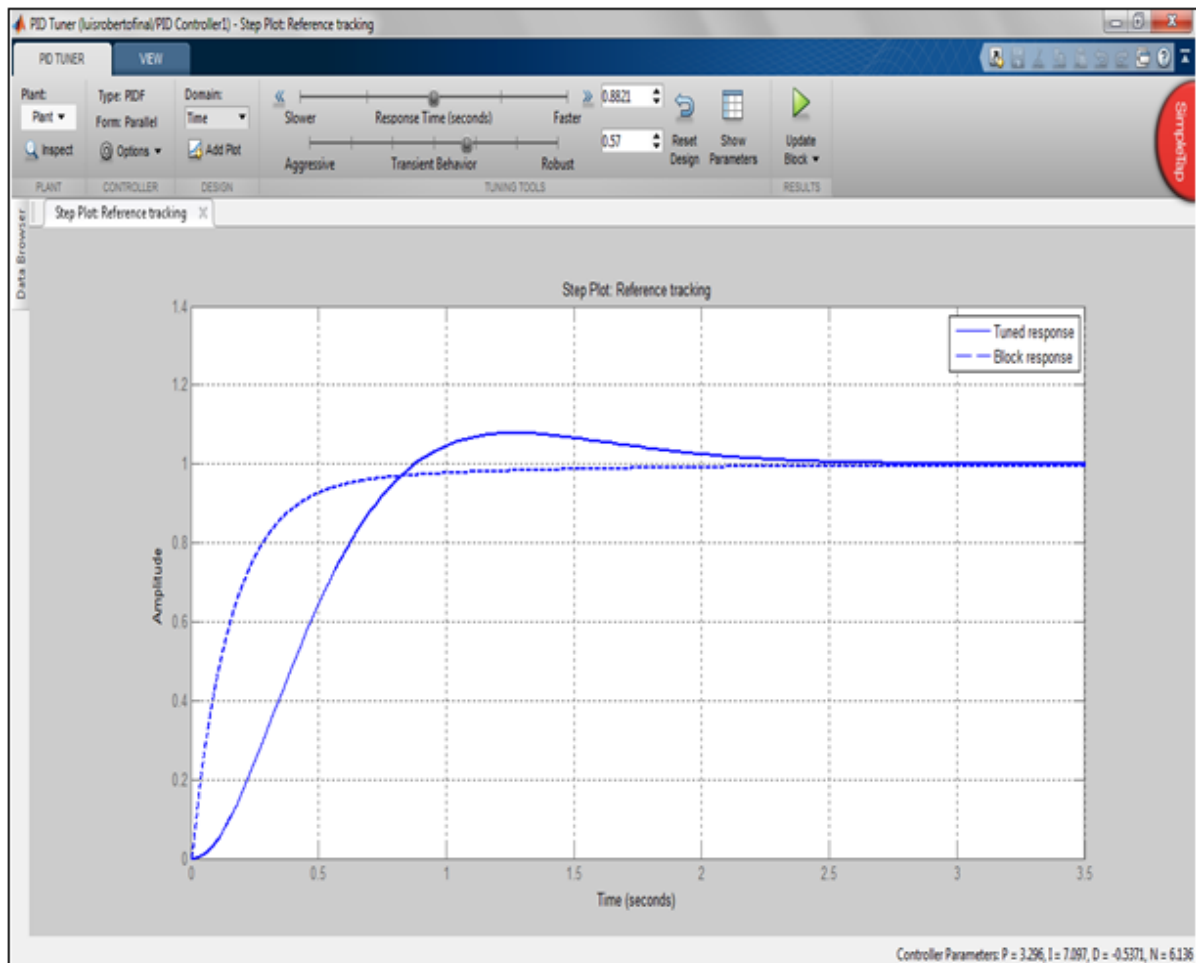
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 65. AUTO TUNING DEL BLOQUE PID.



Fuente: Software Matlab.

GRÁFICO N° 66. AUTO TUNING PARA EL PROCESO DE CLORACIÓN.



Fuente: Software Matlab.

En la implementación de ambos lazos de control la variable a controlar es el flujo de floculante y cloro, que están relacionadas con el porcentaje de apertura de las válvulas en la salida de los recipientes que contienen el cloro y lumina en cada proceso, los rangos de trabajo van desde 0 a 100 % de apertura de las válvula con un volumen ya establecido como consigna en los PIDs.

Como pudimos ver las funciones de transferencia dependen de cada equipo y los flujómetros con los que trabajan según cada característica de ellos.

3.9. EQUIPOS INSTALADOS EN EL TABLERO DE CONTROL

a. PLC

GRÁFICO N° 67. PLC COMPACTO TWDLCAA24DRF.



Fuente: Manual de uso de controladores de Schneider Electric.

- El autómata Twido utilizado es una base compacta.
- La base compacta cuenta con 24 E/S.
- 1 slot para un puerto serie adicional.
- 10 módulos de E/S analógicas de ampliación.
- Admite un módulo de interfase Ethernet Connexium Twidoport.

b. Módulo Analógico

GRÁFICO N° 68. MÓDULO ANALÓGICO TWDAMM3HT.



Fuente: Available online <http://www.alliedelec.com/schneider-electric-twdamm3ht/70007774/>

- Aplicación: módulo de expansión analógico I/O.
- Corriente de entrada: 4 a 20 mA.
- Fuente de corriente: 4 a 20 mA.
- Para uso de microcontroladores.
- Tipo de entradas: analógicas.
- Entrada de voltaje: 24 VDC.
- Entradas analógicas: (1) 0-10 V, (1) 4-20 mA.
- Número de entradas: 2.
- Número de salidas: 1.

c. **Modulo Analógico TWDALM3LT**

GRÁFICO N° 69. MÓDULO ANALÓGICO TWDALM3LT.



Fuente: Available online <http://www.alliedelec.com/schneider-electric-twdamm3ht/70007774/>.

- Aplicación: módulo de expansión analógico I/O.
- Corriente de entrada: 4 a 20 mA.
- Fuente de corriente: 4 a 20 mA.
- Para uso de microcontroladores.
- Tipo de entradas: analógicas.
- Entrada de voltaje: 24 VDC.
- Entradas analógicas: (1) 0-10 V, (1) 4-20 mA.
- Número de entradas: 2.
- Número de salidas: 1.

d. Modulo Ethernet ConneXium 499TWD01100

GRÁFICO N° 70. **MÓDULO ETHERNET CONNEXIUM.**



Fuente: Available online <http://www.alliedelec.com/schneider-electric-twdamm3ht/70007774/>.

- Se trata de un equipo para comunicaciones Ethernet TCP/IP para controlador programable compacto en el cual se encuentra un módulo de comunicación Ethernet. Posibilidad de conectar a un panel de visualización o terminal de diálogo para visualizar y modificar los datos del proceso y/o conectar un sistema SCADA (mediante PC) para supervisión de procesos.

e. Variador de velocidad

GRÁFICO N° 71. ALTIVAR 12.



Fuente: Schneider Electric.

- Variador de velocidad de 1 HP para control de velocidad de electrobomba trifásica.
- Control de ingreso de flujo hacia el proceso de coagulación.

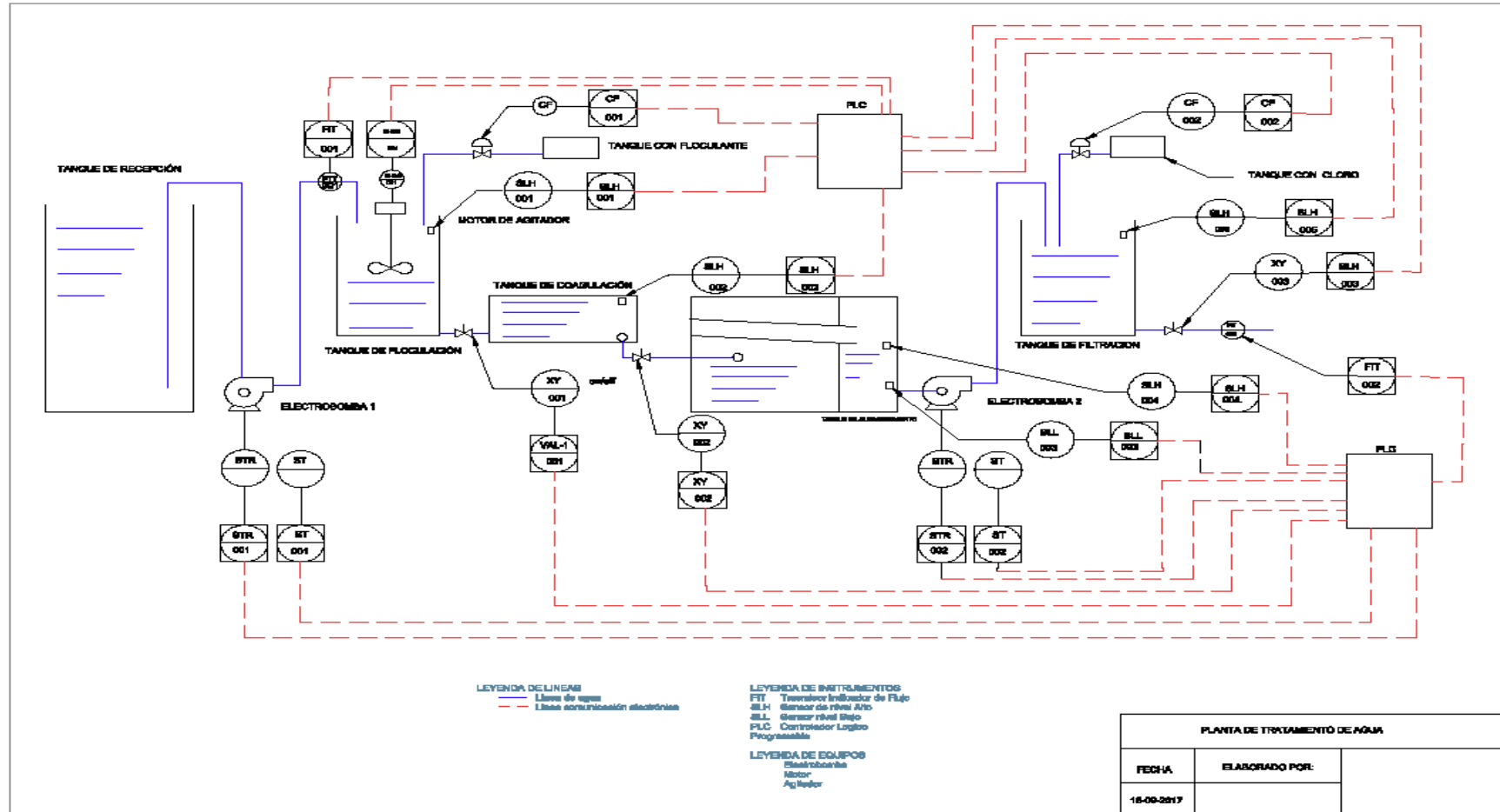
f. Guarda Motor Sirius 3R

GRÁFICO N° 72. GUARDA MOTOR SIRIUS R3.



Fuente: Guarda motores Sirius 3RV Siemens.

3.10. PLANO P&ID



Símbolos:

- Configuración del hardware base.

TWDLC-A24DRF

- Módulos del bus de ampliación.

1: TWDAMM3HT

2: TWDALM3LT

- Configuración objetos de memoria palabras de mem. (%MW).

%MW0

%MW1

%MW2

- Bits de memoria (%M).

%M0 BIT_ARRANQUE

%M1 DOSIF_30S

%M2 ENGANCHE_DOSIF

%M3 VELOCIDAD_V1

%M4 VELOCIDAD_V2

%M5

%M6

%M7

%M8

%M9

%M10

%M11

- Configuración del temporizador (% TM).

%TM0 TON 1 s 30

%TM1 TON 1 s 60

%TM2 TON 1 s 30

%TM3 TON 1 s 120

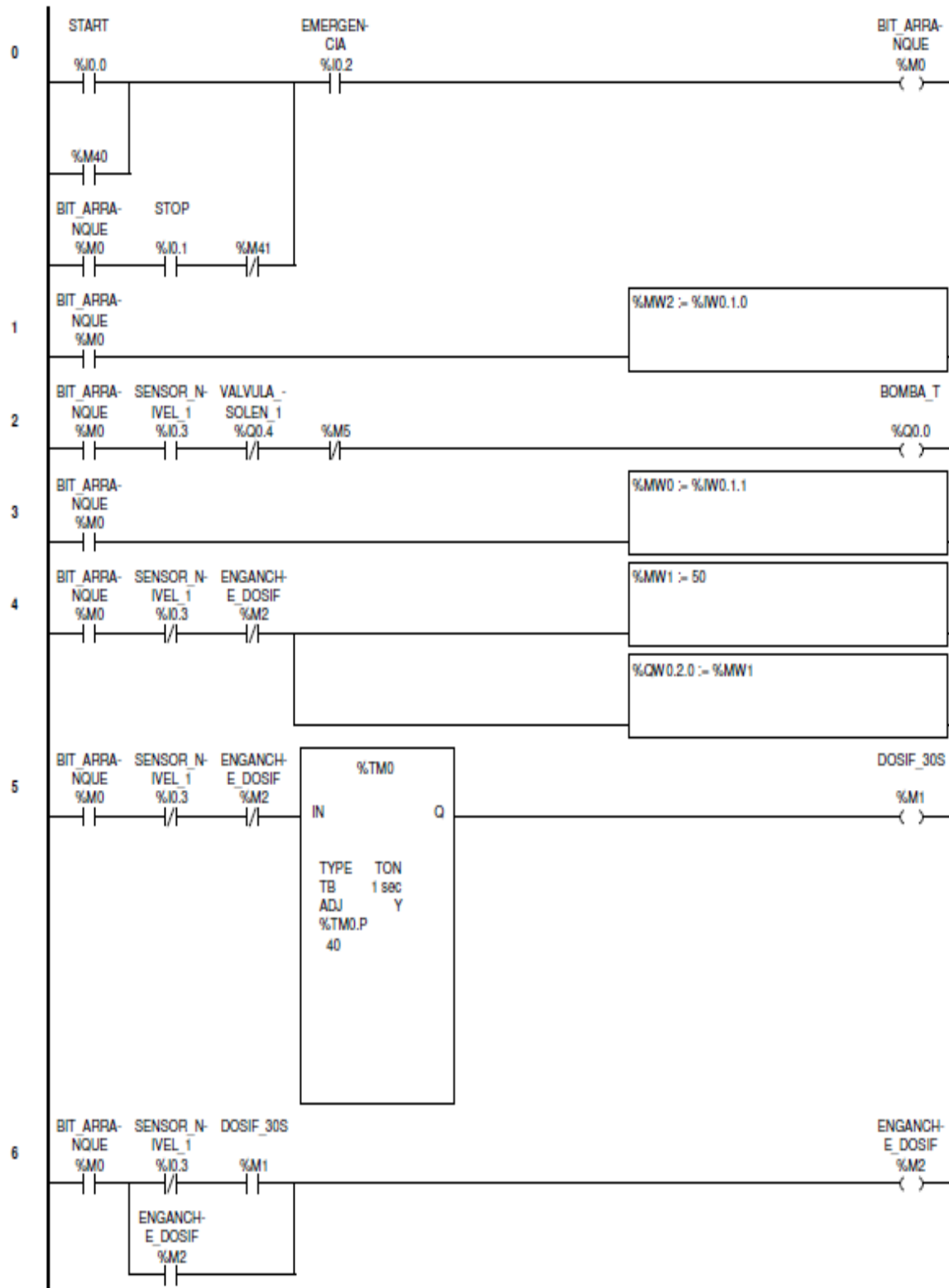
%TM4 TON 1 s 60

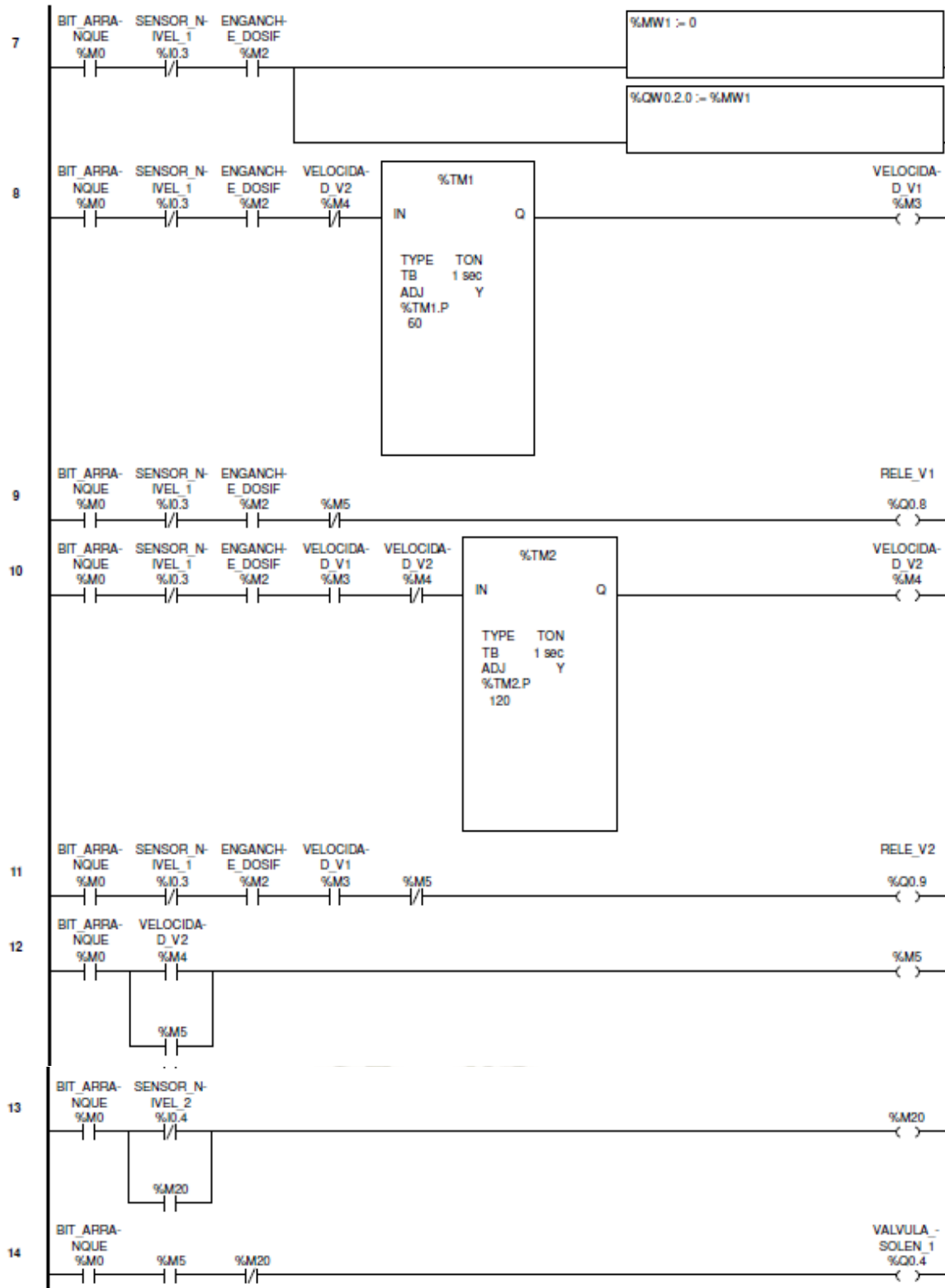
TABLA N° 24. TABLA DE ASIGNACIÓN.

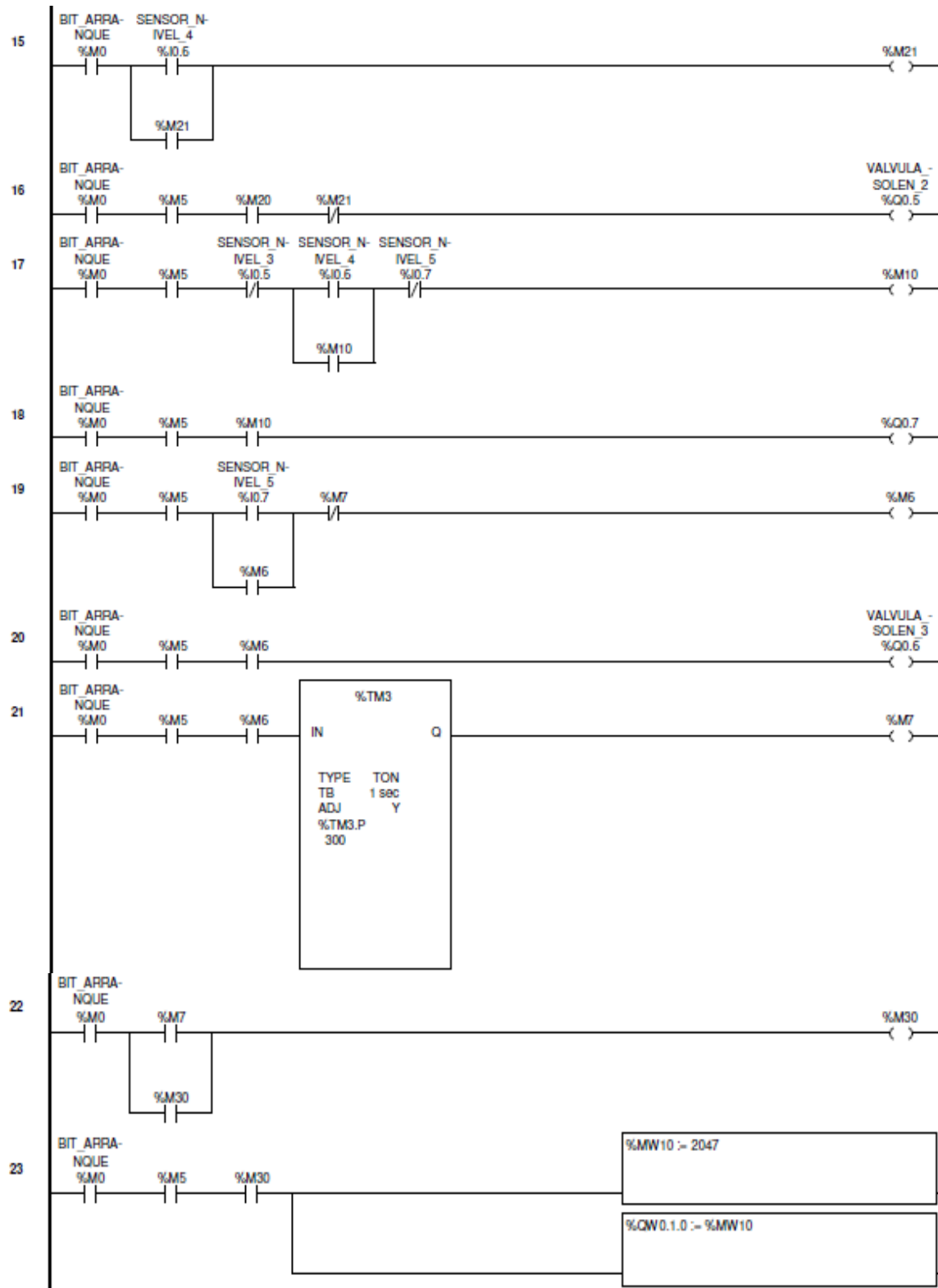
SIMBOLO	COMENTARIO
%M0	BIT_ARRANQUE Activa Proceso
%Q0.0.7	BOMBA_2 Bomba 2
%Q0.0.0	BOMBA_T Arranque variador
%M1	DOSIF_30S Dosificador 30seg
%I0.0.2	EMERGENCIA Botón Emergencia
%M2	ENGANCHE_DOSIF engancha dosificador
%Q0.0.8	RELE_V1 relé velocidad 1
%Q0.0.9	RELE_V2 relé velocidad 2
%I0.0.3	SENSOR_NIVEL_1 Sensor de nivel 1 Alto
%I0.0.4	SENSOR_NIVEL_2 Sensor de nivel 2
%I0.0.5	SENSOR_NIVEL_3 Sensor de nivel 3
%I0.0.6	SENSOR_NIVEL_4 Sensor de nivel 4
%I0.0.7	SENSOR_NIVEL_5 Sensor de nivel 5
%I0.0.0	START Botón Start
%I0.0.1	STOP Botón Stop
%Q0.0.4	VALVULA_SOLEN_1 Válvula solenoide 1
%Q0.0.5	VALVULA_SOLEN_2 Válvula Solenoide 2
%Q0.0.6	VALVULA_SOLEN_3 Válvula solenoide 3
%M3	VELOCIDAD_V1 velocidad 1
%M4	VELOCIDAD_V2 velocidad 2

Fuente: Elaboración propia.

3.11. PROGRAMA







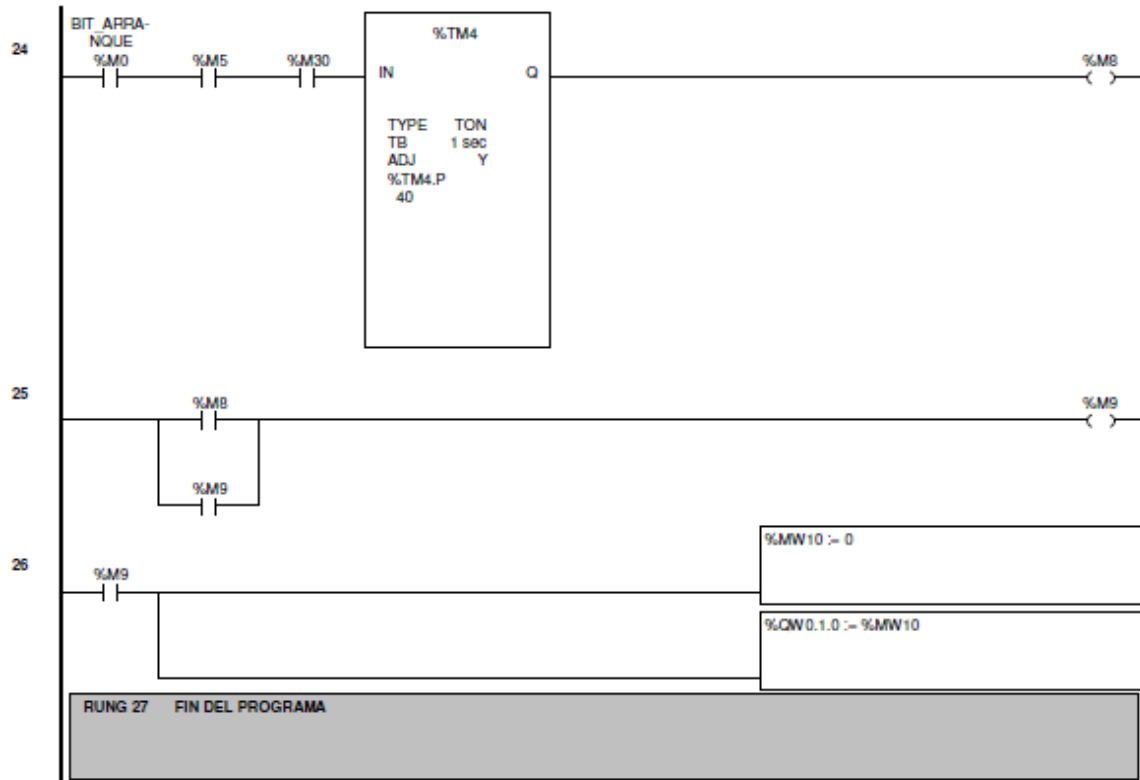
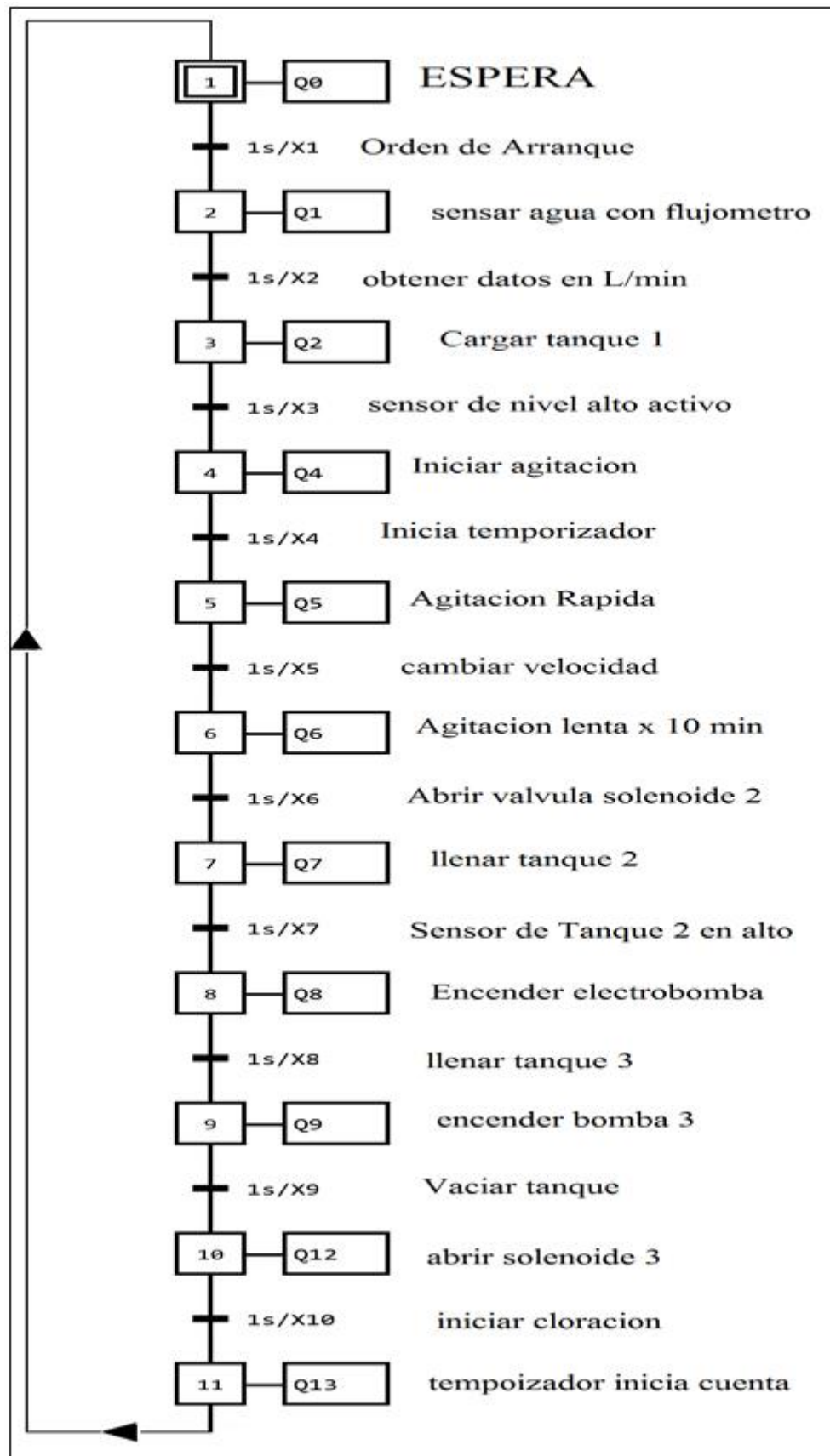


GRÁFICO N° 73. GRAFCET DEL PROGRAMA.



Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

GRÁFICO N° 74. PTAP TERMINADA.



Fuente: Elaboración propia.

Después de 8 meses de implementación, pruebas y replanteos obtenemos la planta a escala terminada, que se muestra en el gráfico N° 74, cuyas características son:

- Cuenta con una etapa de almacenamiento inicial con un volumen de 200 L.
- Etapa de coagulación, mezcla y dosificación 41 L (Gráfico N°40).
- Floculación con 4 divisiones de lamelas 35 L (Gráfico N°41).
- Etapa de decantación hacia un tanque de almacenamiento 120 L.
- Filtración, dosificación y cloración 20 L.
- Etapa de control con un tablero de control implementado con equipos electrónicos y redes industriales Mod Bus TCP/IP.

TABLA N° 25. CANTIDAD DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.

ITEM	CANTIDAD	TOTAL DIA (12 HORAS)	TOTAL MES (30 DIAS)
AGUA POTABLE OBTENIDA DE LA PTAR	1.75 L/min	1260 L	37800 L

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 25 podemos visualizar que con la implementación de la PTAP se tiene una producción diaria de 1.75 L/min, de 1260 L y al mes 37800 L de agua potable apta para el consumo de los pobladores.

GRÁFICO N° 75. TANQUE DE COAGULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 75 se muestra el tanque de coagulación implementado con la válvula proporcional, motor para la mezcla del químico, sensor de flujo y circuito de control de velocidad.

GRÁFICO N° 76. TANQUE DE FLOCULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 76 observamos el tanque de floculación y los residuos en las separaciones de las lamelas.

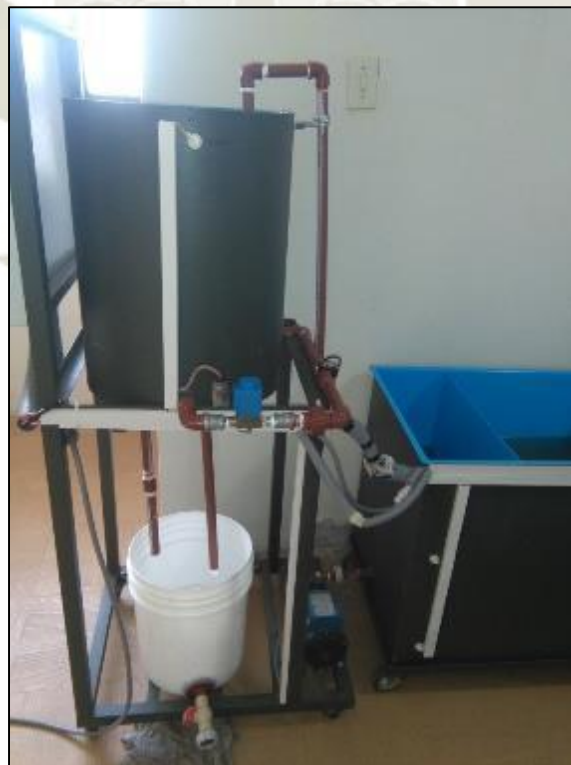
GRÁFICO N° 77. TANQUE DE DECANTACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 77 observamos el cambio en el clarificador antes del paso al filtro de arena.

GRÁFICO N° 78. TANQUE DE FILTRACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 78 observamos el tanque de filtración y la etapa de cloración final.

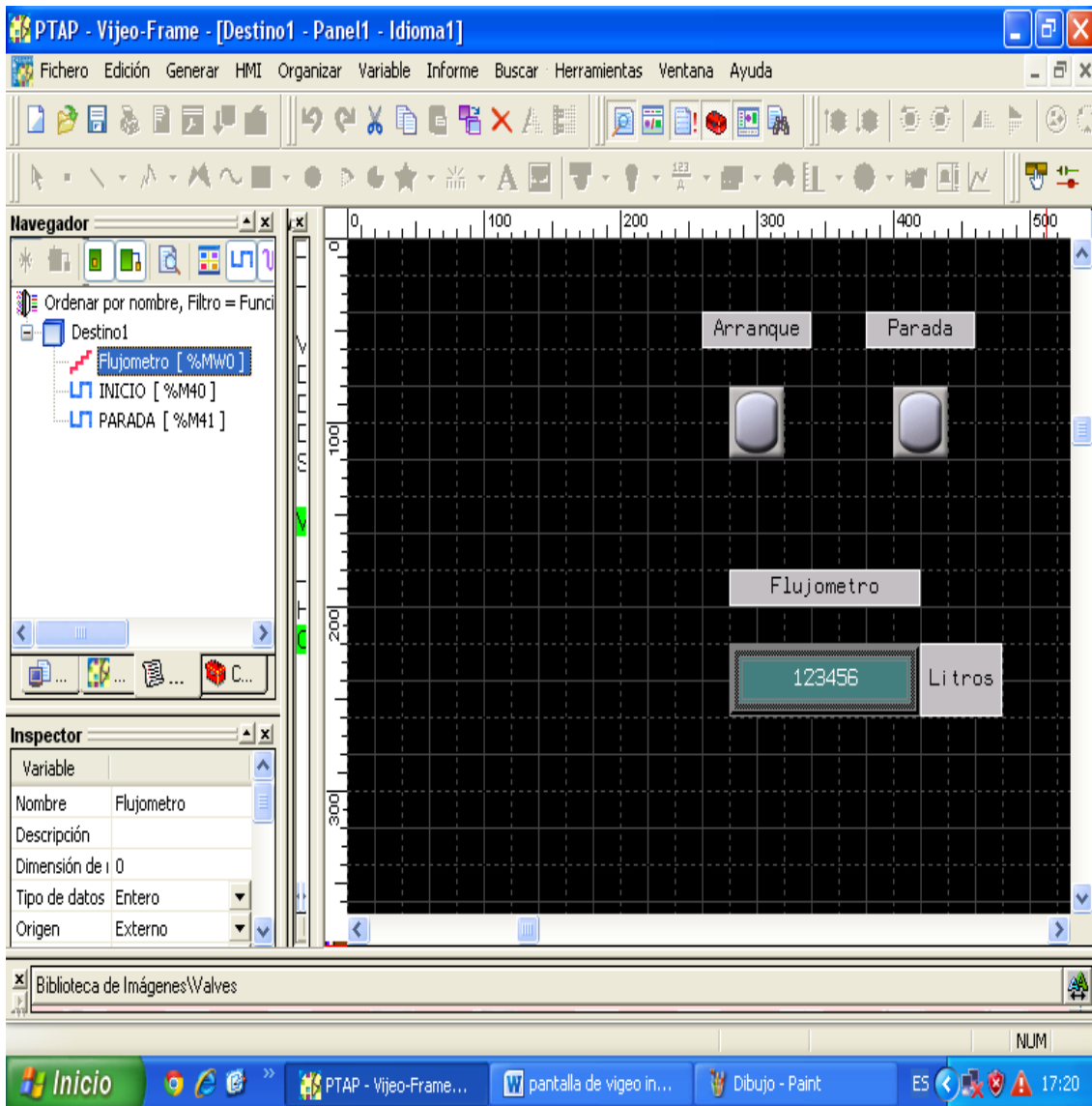
GRÁFICO N° 79. TABLERO DE CONTROL.



Fuente: Elaboración propia.

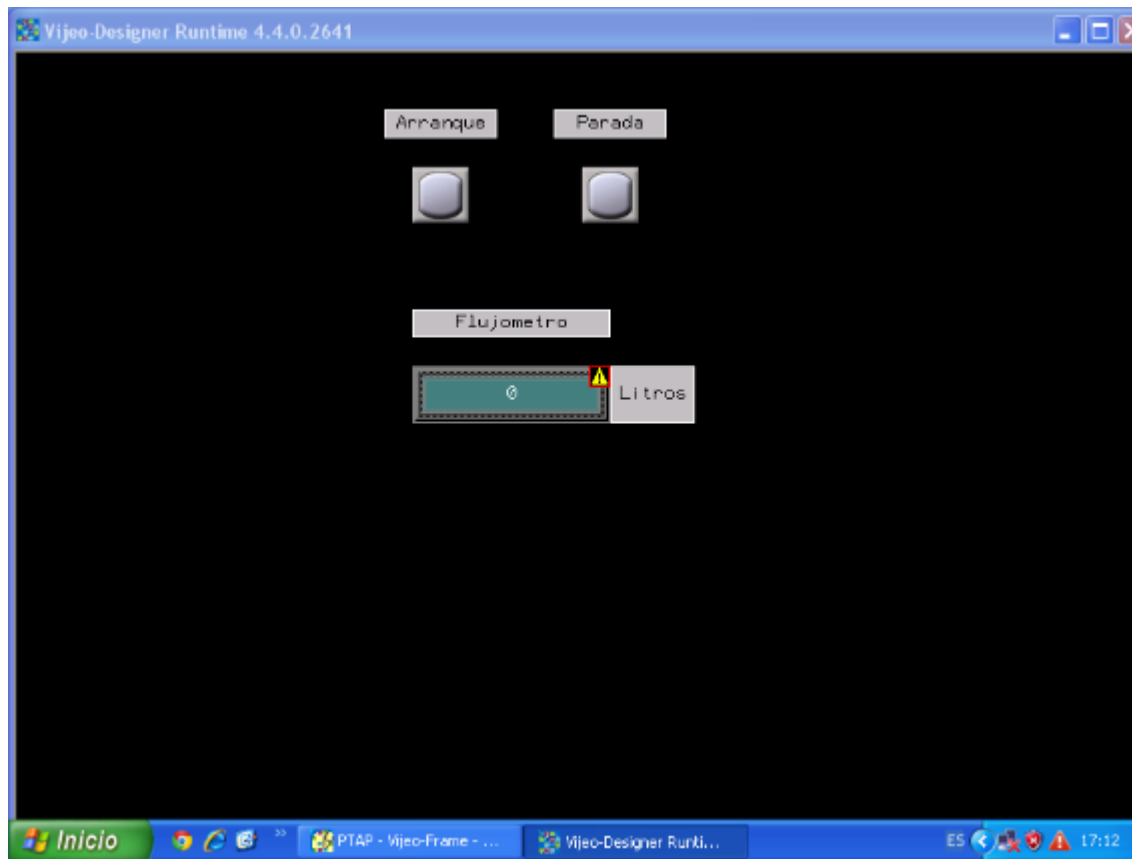
En el gráfico N° 79 tenemos una vista del tablero de control con los equipos de control electrónico y eléctrico.

GRÁFICO N° 80. PANTALLA DE SUPERVISIÓN EN VIJEО DESIGNER.



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 81. PANTALLA DE SUPERVISIÓN GENERADA EN VIJEO DESIGNER.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

4.2.1. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio, utilizando el equipo de prueba de jarras.

En las plantas de tratamiento de agua potable, los procesos unitarios principales son:

Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, todos estos procesos sirven para eliminar la turbiedad, el color, las bacterias, los virus, algas y otros compuestos que pueden estar presentes en el agua en forma de partículas suspendidas o en estado coloidal, de tal forma, que el agua que sale de la planta de tratamiento cumpla con los requisitos necesarios que exigen las normas vigentes para la calidad de agua potable.

Como es de conocimiento, el coagulante de mayor uso en las plantas de tratamiento en el ámbito nacional y mundial en la potabilización del agua, es el sulfato de aluminio.

Este producto se ha impuesto a muchos otros coagulantes debido a su eficiencia, bajo costo, manejo sencillo, fácil de dosificación y por carecer de sustancias residuales que produzcan daño a la salud.

Las etapas de coagulación – floculación son fundamentales en el tratamiento de agua, porque determinan en gran medida la calidad final de la misma y el costo de tratamiento; por consiguiente, se deben considerar los siguientes factores que influyen en la correcta aplicación de los coagulantes - floculantes, como son:

- Intensidad de agitación.
- Tiempos de coagulación y floculación.
- Calidad de agua cruda (turbiedad, pH, alcalinidad, temperatura, sulfatos, cloruros, etc.)
- Dosificación óptima, etc.

TABLA N° 26. SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO AL 1 % QUE DEBEN DOSIFICARSE EN LOS VASOS SEGÚN CAPACIDAD (1 O 2 LITROS).

DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L) (PPM)	SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO AL 1% (ml)	
	1L	2L
2.5	0.25	0.50
5	0.50	1.00
10	1.00	2.00
15	1.50	3.00
20	2.00	4.00
25	2.50	5.00
30	3.00	6.00
35	3.50	7.00
40	4.00	8.00
45	4.50	9.00
50	5.00	10.00

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de dosis óptima de sulfato de aluminio se tomó en cuenta:

a. Características del agua cruda

- **Turbiedad inicial:** 68 NTU.
- **Temperatura:** 21°C.
- **pH:** 8.0.
- **Alcalinidad total:** 120 mg/L.
- **Dureza total:** 480 mg/L.

b. Coagulante

Se usó el siguiente coagulante con la dosis indicada en la tabla N° 24.

- **Concentración del sulfato de aluminio:** 1 % (10 g/L)

TABLA N° 27. DOSIS DE COAGULANTE.

JARRA N°	1	2	3	4	5	6
DOSIS mg/L	5	10	15	20	35	40

Fuente: Elaboración propia.

c. Mezcla rápida

Los parámetros de la coagulación fueron.

- **Gradiente de velocidad:** $G = 185 \text{ SEG}^{-1}$.
- **Velocidad:** $V = 100 \text{ rpm}$.
- **Tiempo de mezcla:** $T = 1 \text{ min}$.

d. Floculación

Los parámetros de la floculación fueron.

- **Gradiente de velocidad:** $G = 51 \text{ SEG}^{-1}$.
- **Velocidad:** $V = 40 \text{ rpm}$.
- **Tiempo de mezcla:** $T = 14 \text{ min}$.

e. Sedimentación

Los parámetros de la sedimentación fueron.

- **Tiempo de sedimentación:** $T = 5 \text{ min}$.
- **Profundidad de toma:** $H = 6 \text{ cm}$.

Según estos parámetros definidos en la tabla se muestran los resultados de la turbidez y pH de las soluciones (agua recolectada).

TABLA N° 28. **DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.**

JARRA N°	1	2	3	4	5	6
TURBIEDAD REMANENTE NTU	16.5	6.3	4	4.2	6.2	6.4
PH FINAL UNIDADES	7.9	7.8	7.6	7.45	7.32	7.25

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados la dosis óptima de sulfato de aluminio para este tipo de agua cruda es de **15 mg/L**, porque es la que permite una mejor remoción de turbidez con un valor de 4 NTU, este corresponde a la Jarra 3.

4.2.2. Dosificación para la desinfección

La dosificación para la desinfección corresponde a 2 gotas de hipoclorito de calcio por litro de agua, este valor corresponde a un parámetro ya dado con la finalidad de que el cloro permanezca en el agua mientras llega al usuario.

4.2.3. Análisis de agua

Habiendo probado el módulo de potabilización y determinado las concentraciones óptimas de sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio, se ha realizado el proceso completo de potabilización del agua superficial proveniente del distrito de Quequeña.

En la tabla N° 29 se muestra los resultados del análisis del agua recolectada antes de ser tratada y en la tabla N° 30 después de ser tratada en el módulo de potabilización.

TABLA N° 29. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUPERFICIAL ANTES DE SER TRATADA.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbidez	NTU	5.2
pH	-	8.4
Conductividad	mS/cm	0.40
Coliformes totales	UFC/ml	<1
Coliformes termotolerantes	UFC/ml	<1
<i>E. coli</i>	UFC/ml	<1

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 30. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUPERFICIAL DESPUÉS DE SER TRATADA.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbidez	NTU	0.29
pH	-	7.28
Conductividad	mS/cm	0.40
Coliformes totales	UFC/ml	<1
Coliformes termotolerantes	UFC/ml	<1
<i>E. coli</i>	UFC/ml	<1

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 31. MUESTRA DE AGUA POTABLE DE CISTERNA.

PARÁMETROS	VALOR
DO ppm	4.05
ph	6.84
ph mV	6.9
T° C	21.12
mbar	768.7
MΩ.cm	0.0028
μs/cm	358
μs/cm ^A	364
TDS ppm	179
Sal	0.19
OPR	656.5
OD %	60.5

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 32. MUESTRAS DE PTAP CON MULTIPARAMETRO.

DIA	°C	pH	pH mV	ORP	OD %	OD ppm	µS/cm	µS/cm A	MOhm·cm	TDS ppm	Salinidad	mbar
0	19,63	8,44	-81,1	-247,1	0,0	0,00	2193	2181	0,0005	1096	1,26	766,7
1	21,42	8,47	-83,1	4,9	6,8	0,45	1937	1978	0,0005	968	1,09	767,0
2	22,23	8,38	-78,7	8,6	3,4	0,22	1907	1971	0,0005	953	1,06	766,0
4	20,65	8,42	-80,4	61,7	62,2	4,17	1863	1881	0,0005	932	1,05	767,1
5	21,07	8,18	-66,8	34,8	31,1	2,07	1802	1831	0,0006	901	1,01	766,9
6	21,04	7,57	-34,1	86,7	43,1	2,86	1967	1997	0,0005	983	1,11	765,3
7	20,86	7,48	-28,8	111,4	40,8	2,71	2031	2057	0,0005	1015	1,15	764,4
8	21,25	6,09	49,0	152,4	41,2	2,72	2025	2063	0,0005	1012	1,14	765,5
10	20,74	6,08	49,6	143,6	13,0	0,87	1952	1973	0,0005	976	1,10	767,3
12	21,11	6,13	46,7	148,5	20,8	1,38	1970	2003	0,0005	985	1,11	768,5
13	21,94	6,15	45,6	120,5	12,6	0,82	1974	2032	0,0005	987	1,11	766,4
14	21,12	6,13	46,7	156,2	45,9	3,04	2067	2102	0,0005	1034	1,17	765,9
17	21,48	6,13	46,9	173,9	38,7	2,54	2142	2190	0,0005	1071	1,21	766,1
18	19,97	6,23	41,0	129,4	36,2	2,46	1976	1975	0,0005	988	1,12	766,7
19	19,60	6,19	43,0	144,0	37,8	2,59	1963	1951	0,0005	982	1,12	767,5
21	20,51	6,13	46,5	212,5	28,3	1,90	2080	2096	0,0005	1040	1,18	766,6
24	21,17	6,29	37,7	149,0	35,0	2,31	2001	2036	0,0005	1000	1,13	766,1
26	20,88	6,34	35,0	137,3	34,7	2,31	2014	2041	0,0005	1007	1,14	766,5
27	22,19	6,38	32,6	149,3	29,8	1,93	2033	2100	0,0005	1017	1,14	766,1
31	22,16	6,66	16,6	127,9	62,9	4,09	2051	2118	0,0005	1026	1,15	766,2
32	22,13	6,87	4,7	115,1	43,8	2,84	2044	2110	0,0005	1022	1,15	764,3

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver y según el análisis adjuntado en anexos el agua tratada cumple con los valores establecidos (Estándares de Calidad Ambiental del Agua, D.S. N° 004-2017-MINAM) y el DS.N° 031- 2010-SA que establece los valores para que el agua sea apta para consumo humano.

4.2.4. Análisis de costos finales

TABLA N° 33. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PTAP.

ITEM	CANTIDAD	FRECUENCIA	TIEMPO DE VIDA	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
IMPLEMENTACION Y PUESTA EN MARCHA PTAP	1	NA	30 años	S/ 12,000.00	S/ 12,000.00
MANTENIMIENTO	2	6 meses	NA	S/ 2,000.00	S/ 4,000.00
PERSONAL OPERATIVO	1	NA	NA	S/ 1,000.00	S/ 1,000.00
INFRAESTRUCTURA	1	NA	60 años	S/ 30,000.00	S/ 30,000.00
INSUMOS	5	NA	2 años	S/ 2,000.00	S/ 10,000.00
COSTO ANUAL TOTAL					S/ 57,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 33 tenemos un monto total de S/. 57,000.00 que la población debería pagar anualmente por el funcionamiento de una PTAP, incluido mantenimiento, pago al personal e insumos.

TABLA N° 34. RESUMEN DE PAGO DE AGUA POR PARTE DE LA POBLACIÓN.

ITEM	CANTIDAD	PAGO MENSUAL UNITARIO POR AGUA	PAGO MENSUAL DE TODA LA POBLACIÓN	PAGO ANUAL DE TODA LA POBLACIÓN
POBLACIÓN	1219	S/ 15.00	S/ 18,285.00	S/ 219,420.00

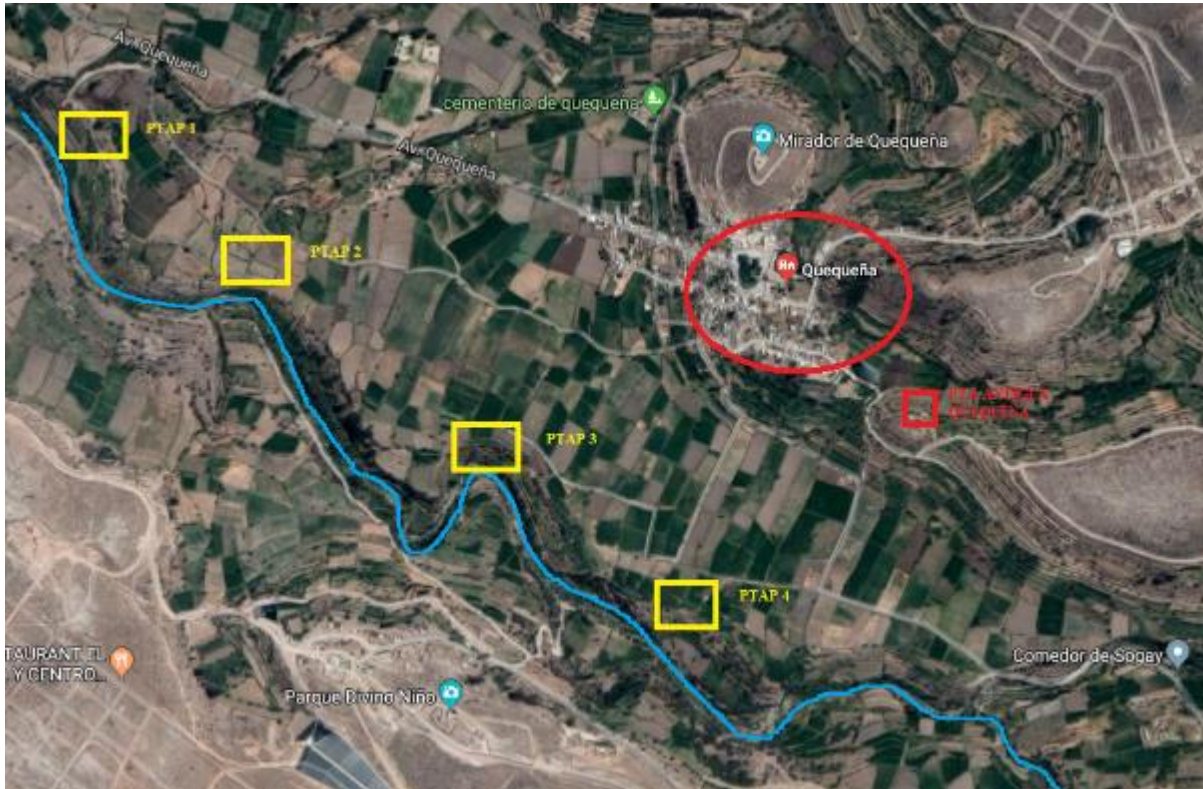
Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 34 la población llega a pagar un total de S/. 219,420.00 anual por abastecerse de agua mediante cisterna.

Con base en estos resultados tenemos que implementar una PTAP en el poblado de Quequeña resulta factible, incluso se puede colocar hasta 4 plantas con la totalidad que paga la

población anualmente por un servicio de agua mediante cisterna, además que el agua no estará estancada.

GRÁFICO N° 82. POSIBLES UBICACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS PTAP.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 82 se muestran las posibles ubicaciones para la implementación de las PTAP, considerando la distancia y costos que comprenden instalarlas.

CONCLUSIONES

1. Se logró la implementación y automatización de la planta de tratamiento de aguas superficiales a escala menor para la potabilización.
2. De acuerdo al proceso se definió el tipo de control (secuencial) y se implementó un control PID Independiente en la etapa de dosificación y un control PID independiente en la etapa de cloración, asimismo se cumplió con la supervisión de la planta de tratamiento utilizando el Scada Vijeo Designer a escala menor.
3. Se puso en funcionamiento la planta de tratamiento, donde se trató el agua superficial proveniente del distrito de Quequeña, cuyos valores fisicoquímicos y microbiológicos disminuyeron a 0.40 mS/cm de conductividad eléctrica, 0.29 de NTU, 7.28 de pH y ausencia de coliformes totales, termotolerantes y E. coli. Lo que indica que es apta para el consumo humano, esto es, que a través de la planta de tratamiento se consiguió potabilizarla.
4. Se va a contar con un volumen de producción de $0.00175 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, 1.75 L/min, 1260 L por día y 37800 L por mes de agua potable apta para el consumo que va estar en constante circulación y no será agua estancada que la población viene consumiendo en la actualidad.
5. De acuerdo a los resultados obtenidos, las características de las aguas residuales es variable (caudal, concentraciones), por lo cual la utilización del PID nos permitirá mitigar estas variaciones en el menor tiempo posible.
6. Los costos por implementación, infraestructura, mantenimiento, operadores, insumos que debe asumir la población por una PTAP es muy bajo, lo que permite realizar su implementación de hasta 4 PTAP con el costo anual que viene pagando la población de Quequeña por un servicio pésimo de agua.

7. La etapa de pre-tratamiento es un punto crítico, se debe disponer de personal capacitado para esta área, que debe realizar supervisión, operación y limpieza continua, para reducir agentes contaminantes.

RECOMENDACIONES

- El trabajo desarrollado en esta tesis puede servir de base para la investigación de nuevos métodos y sistemas de tratamiento.
- Se puede complementar el desarrollo de este proyecto con la implementación de paneles solares para ahorrar el consumo de energía y la aplicación de recursos renovables.
- Se debe realizar un mantenimiento y limpieza de tanques, bombas, válvulas, etc., periódico para garantizar el funcionamiento óptimo de la planta de tratamiento, así como la conservación de los equipos.
- Otra actividad de suma importancia para garantizar el funcionamiento de la planta es implementar y realizar un programa de muestreo y análisis de laboratorio.
- Para garantizar que la planta esté en óptimas condiciones, se debe capacitar progresivamente al personal que labora, se puede capacitar incluso a los mismos pobladores ya que la etapa de supervisión no es compleja.
- Se podría instalar las PTAP en las viviendas, con lo cual se podría tener más volumen de producción, esto conllevaría a una nueva evaluación de costos y ver la factibilidad de hacerlo.
- Por mencionar otros tipos de control de motores se puede realizar por: control de triac, utilizando dispositivos como variadores de velocidad y Soft star para arranques suaves.
- Cada uno de estos tipos de control se puede diseñar de acuerdo a las características del motor y las actividades que se requiere realizar.
- Como una siguiente etapa, se deja propuesta la etapa de distribución para una tesis de ingeniería sanitaria en el poblado de Quequeña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

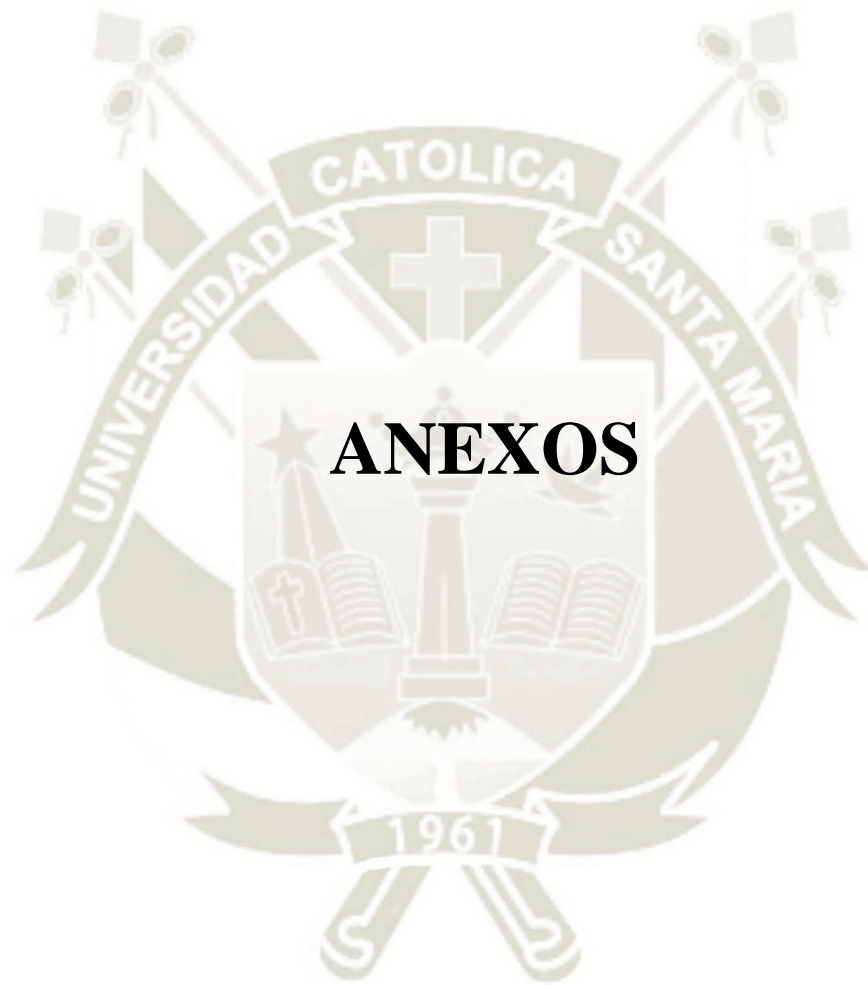
1. Abellán , J. (21 de Febrero de 2016). *Modulación por Ancho de Pulso (PWM)*.
Obtenido de El Rincón de Maxwell:
<https://elrincondemaxwell.wordpress.com/2016/02/21/modulacion-por-ancho-de-pulso-pwm/>.
2. Álvarez Guisasola, F. (1 de Enero de 2005). *Manual de Tratamientos de Agua del Consumo Humano*. Recuperado el 9 de Octubre de 2017, de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental:
www.saludcastillayleon.es/sanidad/cm/profesionales/images?idMmedia=111473.
3. Avellaneda. (18 de Abril de 2017). *Variadores de Frecuencia*. Recuperado el 18 de Abril de 2017, de:
http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf.
4. Barrios Cruz, P. (2011). Plan de gobierno Municipal del distrito de la Villa de Quequeña-Arequipa, Gestión Municipal 2011-2014. Arequipa, Arequipa, Perú.
5. Bello , R. (2006). *Diseño y Simulación del Sistema de Supervisión y Dosificación de Reactivos para Planta Piloto, Didáctica, de Tratamientos de Aguas Residuales de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. Facultad de ingeniería de diseño y automatización electrónica, Universidad de la Salle, Bogota D.C.
6. Chulluncuy Camacho, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería industrial*, 29, 153-170.

7. Cunill, F., Iborra, M., & Tejero, J. (31 de Mayo de 2012). *Avibert*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://avibert.blogspot.com/2012/05/reactor-tanque-agitado-de-mezcla.html>.
8. Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, D.S. N° 031-2010-SA.
9. Electric, S. (11 de Abril de 2017). *Schneider Electric*. Recuperado el 11 de Abril de 2017, de <http://www.eurotherm.es/products/drives/ac-drives/altivar-12>.
10. Etienne, G. (2009). *Potabilización y Tratamiento de Agua, Diseño en Excel* (1 ed.). (Comcast, Ed.) Eagan, USA.
11. Felix Cañedo, T. (2010). *Remoción de Contaminantes Emergentes en los Sistemas de Potabilización de la Ciudad de México*. [Tesis de maestría], Universidad Nacional Autónoma de México, México.
12. Ferrer, J. (2012). *Propuesta de Mejora a la Planta de Pretratamiento de Agua del Complejo Termoelectrico General Rafael Urdaneta de Corpoelec*. [Tesis de pregrado], Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela.
13. García Moreno, E. (1999). *Automatización de Procesos Industriales, Robótica y Automática*. Valencia, España: Editorial Universitat Politecnica de Valencia.
14. Idrovo, C. (2010). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun*. Escuela de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Ecuador.

15. INEI. (2007). *Sistema de Consulta de Cuadros Estadísticos-Censos Nacionales 2007:XI de Población y VI de Vivienda*. Obtenido de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>.
16. Jose, P. (05 de Agosto de 2016). *Blog SEAS*.
17. Jose, P. (05 de Agosto de 2016). *Blog SEAS*. Recuperado el 12 de Febrero de 2017, de <https://www.seas.es/blog/automatización/hidráulica-proporcional/>.
18. Julian, W. L. (1981). *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://www.http://procesosbio.wikispaces.com/Agitador>.
19. Julio, F. (04 de Diciembre de 2016). *Instrumentación Hoy*.
20. Kuo, B. (1996). *Sistemas de Control Automático, Séptima Edición*. Naucalpan de Juarez, Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana SA.
21. Marcelo, Z. (2000). *Impacto de Ethernet en Redes Industriales*. Temuco.
22. MARTÍNEZ NELIS, F. M. (2010). *Estudio Numérico de la Fluidodinámica de un Estanque de Agitación Utilizando Métodos de Mallas Deslizantes*. Santiago de Chile.
23. Mavainsa. (2011). *Control de Procesos*. Bogota.
24. Monroy, R. (2017). *Ptap*. Arequipa.
25. National Academy of Sciences. (2007). *El Agua Potable Segura es Esencial*. Recuperado el 6 de Octubre de 2017, de <https://koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Coagulation-Flocculation.html>
26. Ney Andrade, Naranjo, A., & Tipan, R. (24 de Abril de 2014). *Blog de la Catedra*. Recuperado el 24 de Marzo de 2017, de <http://pidmania.blogspot.pe/>.

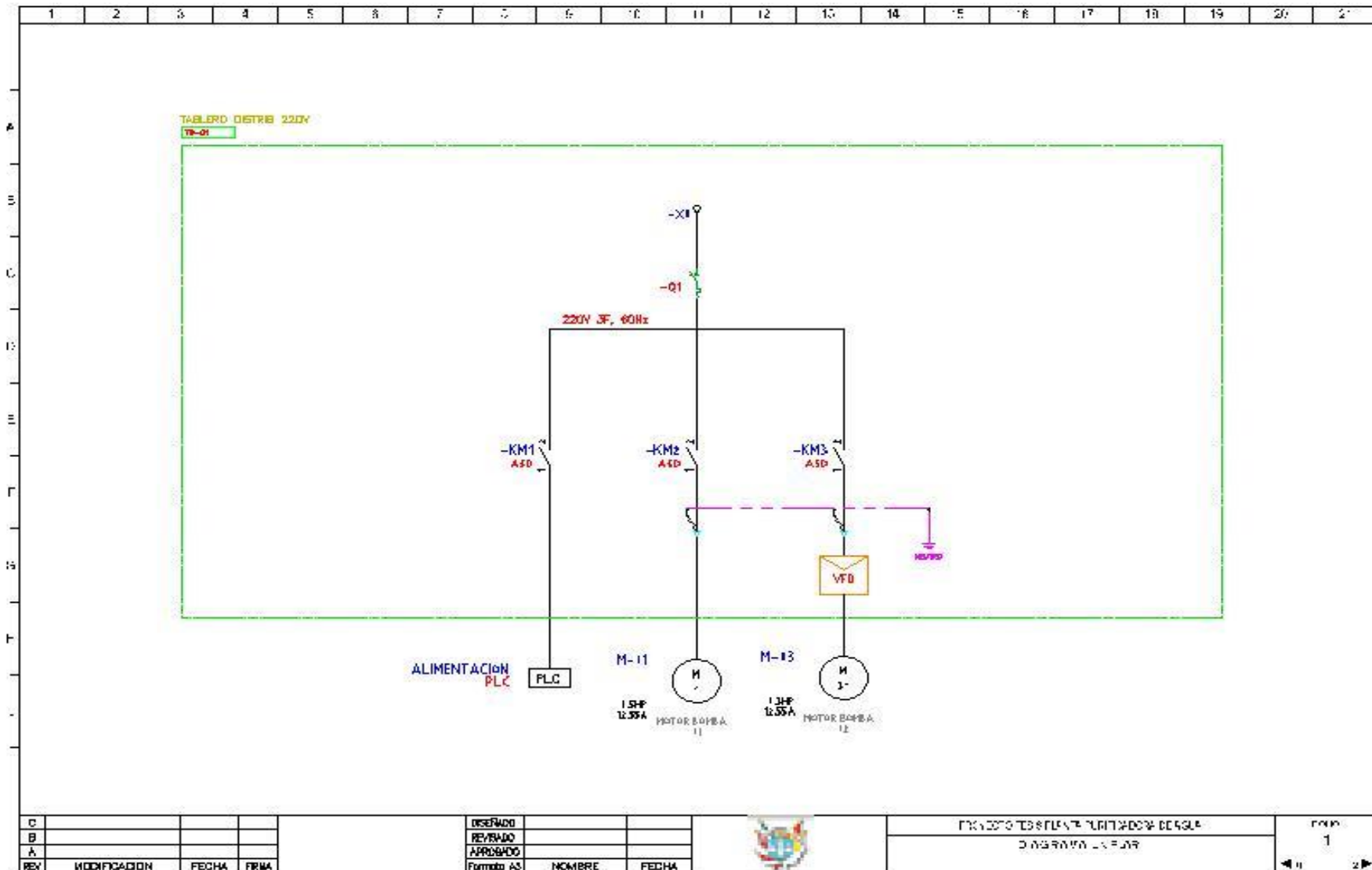
27. Novarsa. (2017). *Sedimentador de Placas Inclinadas*. Obtenido de https://www.novarsa.com/force_download.php?file=pdfs/SPI-esp.pdf.
28. Pérez López, E. (2015). Los Sistemas SCADA en la Automatización Industrial. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 3-14.
29. Peruano, E. (31 de Julio de 2008). D.S. N°002-2008 "Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua". *Normas Legales*, págs. 377222-377227.
30. Peruano, E. (7 de Junio de 2017). D.S. N°004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias". *NORMAS LEGALES* , págs. 10-19.
31. Prieto, P. (08 de Octubre de 2007). *Monográfico*. Recuperado el 04 de Octubre de 2017, de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>.
32. Quequeña, M. d. (2003). *Plan de Desarrollo Estratégico Concertado del Distrito de la Villa de Quequeña-Arequipa*.
33. Ramires, M. A. (2011). *Automatización y Control de Planta de Tratamiento de Agua Rio Cauca*. Sartenejas.
34. Rojas Vargas, J. (2008). *Potabilización de Aguas Superficiales Mediante el Proceso de Ultrafiltración con Membranas Arrolladas en Espiral*. Departamento de Ingeniería Civil, Instituto del agua, Universidad de Granada.

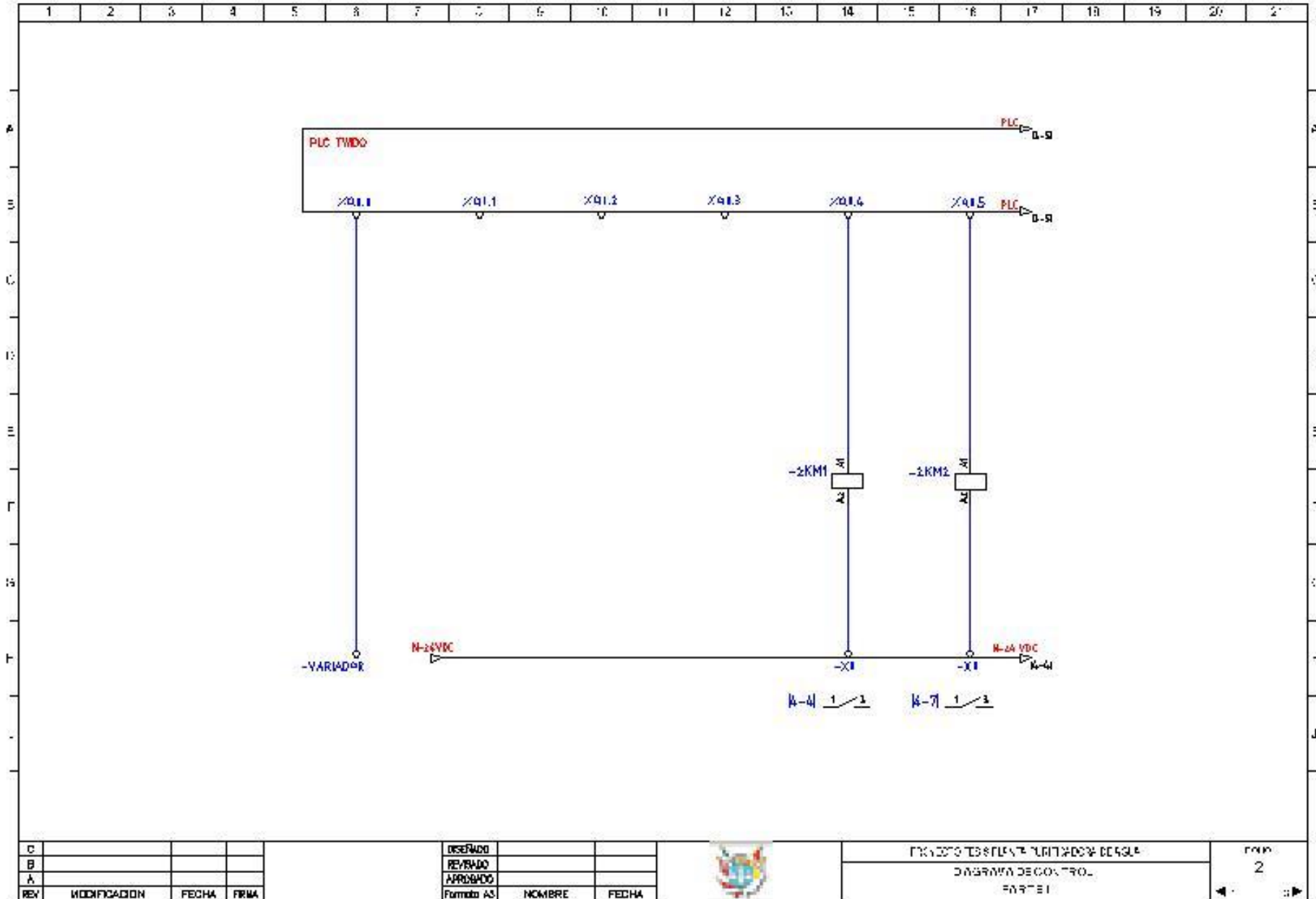
35. Roman, M. (18 de Julio de 2010). *Sensores de Flujo y Caudal (2ª parte)* . Recuperado el 23 de Enero de 2017.
36. Schneider. (2014). *Tutorial Vijeo Designer*.
37. SENECA. (10 de Abril de 2015). *Seneca Automation Interfaces*. Obtenido de <https://www.seneca.it/es/azienda/news-eventi/z-key/>
38. Serrano, R., Amador, G., & Ramirez, D. (s.f.). *Instrumentación*.
39. Serrano, R., Ramírez, A., & Amador, G. (2012). *Instrumentación Industrial*.
40. Tejero, I., Suarez , J., Jácome, A., & Temprano, J. *Coagulación-Floculación*. Ingeniería Ambiental, Universidad de Coruña, España.

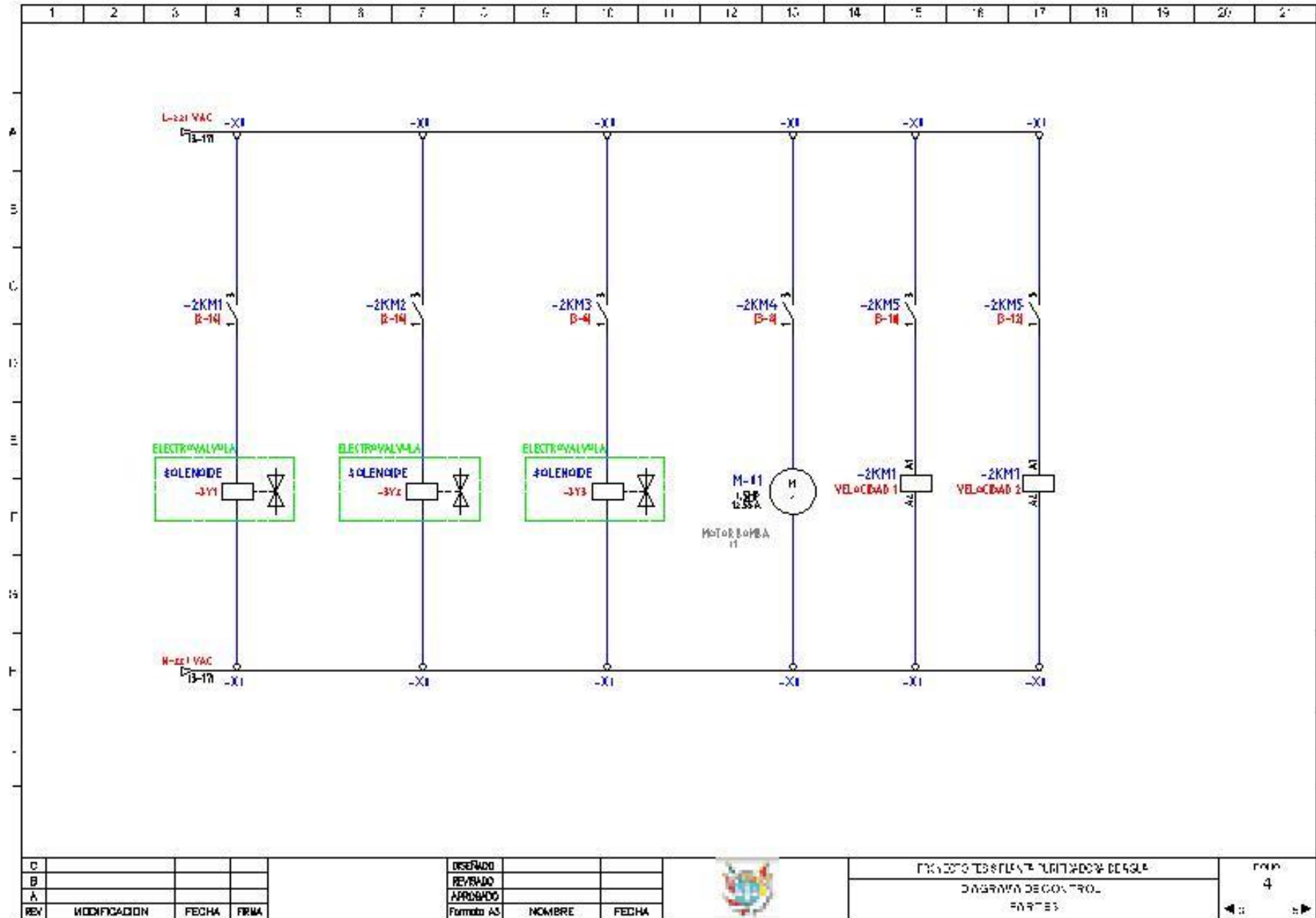


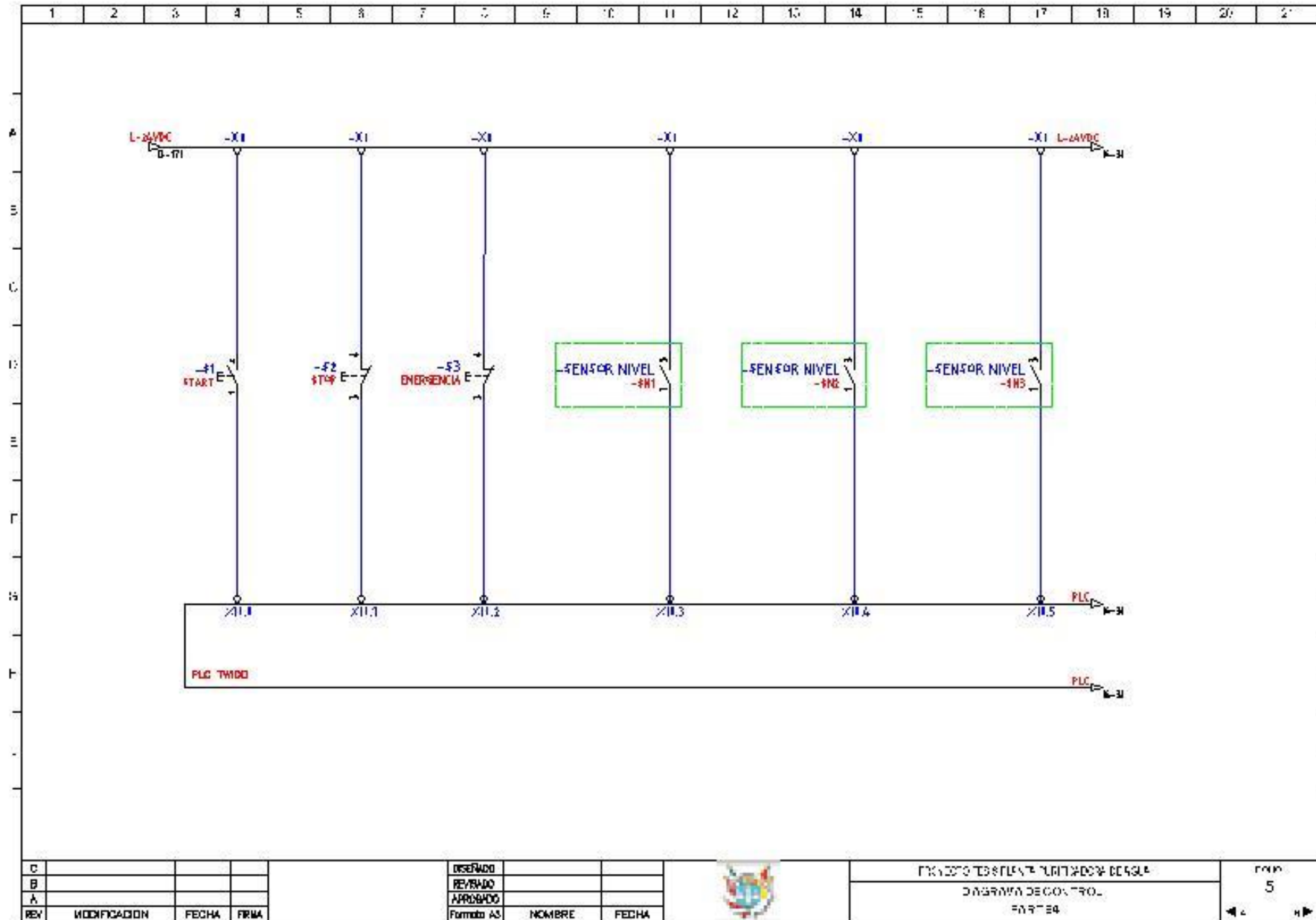


ANEXO 1. PLANOS ELÉCTRICOS











ANEXO 2. HOJAS TÉCNICAS

Product Data Sheet

TWDAMM3HT

Programmable Logic Controller I/O Module, Twido



Technical Characteristics

Application	Used to provide additional inputs and/or outputs for a Twido Base Unit
Connection Type	Screw Terminal Block (Removable)
Marketing Trade Name	Twido
Number of Input/Outputs	2 Inputs - 1 Output (12 bits: 0-10V, 4-20mA)
Type	TWD
Module Type	Analog Input/Output

Shipping and Ordering

Category	22531 -
Discount Schedule	PC12
Article Number	785901292203
Package Quantity	1
Weight	0.41 lbs.
Availability Code	Factory Item: This item is stocked at a Schneider Electric manufacturing plant.
Returnability	N

As standards, specifications, and designs change from time to time, please ask for confirmation of the information given in this document.

Guardamotores SIRIUS 3RV hasta 100A

1

Curvas características

Las curvas características de intensidad-tiempo, las características de limitación de intensidad y las características I_{2t} han sido determinadas conforme a DIN VDE 0660 o bien IEC 947.

Para la curva característica de intensidad-tiempo está vigente la característica de disparo de los disparadores de sobrecarga retardados dependiendo de la intensidad (disparadores de sobrecarga térmicos, disparadores a) para corriente continua y alterna con frecuencia desde 0 hasta 400 Hz.

Las curvas características son válidas en estado frío, estando en la temperatura de servicio quedan reducidos los tiempos de disparo de los disparadores térmicos aprox. al 25%.

En servicio normal el aparato debe ser cargado tripolarmente. Para la protección de consumidores monofásicos o de corriente continua se deberán conectar en serie las 3 vías principales de corriente.

Con una carga tripolar, el valor de la desviación del tiempo de disparo, a partir de un valor de intensidad de ajuste triple, es como máximo de $\pm 20\%$ cumpliendo así las exigencias DIN VDE 0165.

Las curvas características de disparo del disparador de sobreintensidad electromagnético sin retardo (disparador de

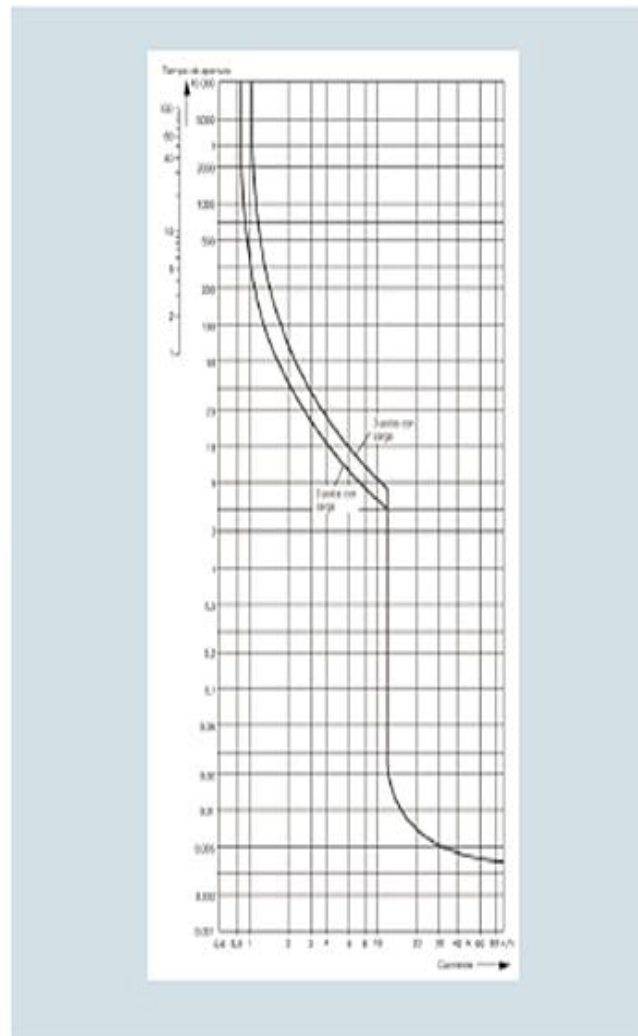
cortocircuito, disparador n) se basan en la intensidad asignada en la cual en interruptores automáticos con disparadores por sobrecarga regulables, es el mismo tiempo el valor superior de la gama de regulación.

Si la intensidad se ajusta a un valor menor, resulta el múltiplo mayor correspondiente para la intensidad de disparo del disparador n.

Las características del disparador de sobreintensidad electromagnético son válidas para frecuencias de 50/60 Hz. Para frecuencias menores, p. ej. 16 2/3 Hz,

para frecuencias mayores de hasta 400 Hz y para corriente continua, se deben tener en cuenta los factores de corrección correspondientes.

La línea características aquí reproducida han sido determinada con el interruptor automático 3RV10 11—0EA 10 con una gama de regulación de 2,8 hasta 4 A. No obstante sirve también como representación de principio para interruptores automáticos con otros rangos de intensidad. En caso necesario, se pueden solicitar las características para otras gamas de regulación.



55

Product data sheet
Characteristics

499TWD01100
TwidoPort interface module - ConneXium - 1 port
10BASE-T/100BASE-TX



Main

Range of product	Twido
Product or component type	TwidoPort interface module
Current consumption	≤ 100 mA at 5 V
[U _e] rated supply voltage	5 V
Supply circuit type	DC
Product compatibility	All base controllers version ≥ 3.0

Complementary

Concept	Transparent Ready
Integrated connection type	Ethernet TCP/IP RJ45, 10/100 Mbps, 1 twisted pair transparent ready class A10
Port Ethernet	10BASE-T/100BASE-TX
Communication service	Modbus messaging Telnet BOOTP function Auto MDI/MDX function
Supply	Supplied by Twido compact or modular base controller
Supply voltage limits	4.5..5.5 V
Marking	CE
Status LED	1 LED for activity on Ethernet network (ETH ACT) 1 LED for activity on the Modbus serial link (SER ACT) 1 LED for binary rate 100 Mbps (100 MB) 1 LED for controller status (STATUS) 1 LED for Ethernet link status (LINK)
Product weight	0.2 kg

Environment

Product certifications	UL CSA
Standards	FCC Class A EN 61131-2

Apr 11, 2017

LIN 8126 | Schneider
Electric

1

Disclaimer: This document is intended as a guide only and is not to be used for purchasing, suitability or reliability of the product for specific use or application.

	UL 508 CSA 1010
Ambient air temperature for operation	0...55 °C
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C
Relative humidity	10...95 % without condensation
IP degree of protection	IP20
Operating altitude	0...2000 m
Storage altitude	0...3000 m
Vibration resistance	0.075 mm, 10...57 Hz mounting on: 35 mm asymmetrical DIN rail 1 gn, 57...150 Hz mounting on: 35 mm asymmetrical DIN rail 1.6 mm, 2...25 Hz mounting on: plate or panel with fixing kit 4 gn, 25...100 Hz mounting on: plate or panel with fixing kit
Shock resistance	15 gn for 11 ms
Contractual warranty	
Warranty period	18 months

2

LIB 3/24 | Schneider

Product data sheet
Characteristics

RSL1AB4BD
slim interface plug-in relay - Zelio RSL - 1 C/O
standard - 24 V DC - 6 A



Main

Commercial Status	Commercialised
Range of product	Zelio Relay
Series name	Slim interface relay
Product or component type	Plug-in relay
Device short name	RSL
Contacts type and composition	1 C/O
Contacts operation	Standard
Control circuit voltage	24 V DC
[I _{th}] conventional enclosed thermal current	6 A at -40...55 °C
Status LED	Without
Control type	Without pushbutton

Complementary

Shape of pin	Flat Flat (PCB type)
Average resistance	3300 Ohm (DC) at 23 °C +/- 10 %
Rated operational voltage limits	16.8...33.6 V DC
[U _i] rated insulation voltage	250 V conforming to EN/IEC
[U _{imp}] rated impulse withstand voltage	6 kV conforming to IEC
Contacts material	Silver alloy (AgSnO ₂)
[I _e] rated operational current	6 A (AC-1/DC-1) conforming to IEC/UL
Minimum switching current	100 mA
Maximum switching voltage	400 V AC 300 V DC
Minimum switching voltage	12 V
Maximum switching capacity	18...150 W (DC) 1500 VA (AC)
Minimum switching capacity	120 mW
Operating rate	≤ 360 cycles/hour under load ≤ 72000 cycles/hour no-load
Mechanical durability	10000000 cycles
Electrical durability	60000...2000000 cycles for resistive load (0.5...6 A at 250 V, AC-1) 50000 cycles for inductive load (3 A at 250 V, AC-15) NO
Operating time	5 ms between coil de-energisation and making of the Off-delay contact 12 ms between coil energisation and making of the On-delay contact
Protection category	RT II
Operating position	Any position
CAD overall width	5 mm
CAD overall height	28 mm
CAD overall depth	18.5 mm
Terminals description ISO n°1	(11-12-14)OC (A1-A2)CO
Product weight	0.006 kg
Load current	6 A at 250 V AC for 0.5 mm mounting distance
Average consumption in W	0.17 W DC
Drop-out voltage threshold	≥ 0.06 U _c DC

The information provided in this document is for reference only. It is not intended to be used as a substitute for the manufacturer's instructions. The user must refer to the manufacturer's instructions for the correct use of the product. The manufacturer is not responsible for any damage or loss resulting from the use of this product. The manufacturer is not responsible for any damage or loss resulting from the use of this product. The manufacturer is not responsible for any damage or loss resulting from the use of this product.

Oct 1, 2015



1

Environment

Dielectric strength	4000 V AC (between coil and contact) 1000 V AC (between contacts)
Standards	ENIEC 61810-1 UL 508 CSA C22.2 No 14
Product certifications	CSA QOST UL
Ambient air temperature for storage	-40...70 °C
Vibration resistance	5 gn +/- 1 mm (f = 10...150 Hz)10 cycles in operation conforming to ENIEC 60068-2-6 10 gn +/- 1 mm (f = 10...150 Hz)10 cycles not operating conforming to ENIEC 60068-2-6
IP degree of protection	IP40 conforming to ENIEC 60629
Shock resistance	5 gn for 11 ms not operating conforming to ENIEC 60068-2-27 10 gn for 11 ms in operation conforming to ENIEC 60068-2-27
Ambient air temperature for operation	-40...55 °C (AC)

Contractual warranty

Period	15 months
--------	-----------

Product data sheet
Characteristics

RSLZVA1
screw socket equipped with LED and protection
circuit, 12-24 V



Main

Commercial Status	Commercialised
Range of product	Zello Relay
Product or component type	Socket
Contact terminal arrangement	Separate
Product compatibility	Plug-in relay, RSL, 1 CO, control circuit24 V DC Plug-in relay, RSL, 1 CO, control circuit12 V DC
Shape of pin	Flat
Device short name	RSLZ
Sale per indivisible quantity	10
Switching voltage	24 V AC/DC 12 V AC/DC

Complementary

[Ith] conventional free air thermal current	6 A
[Ue] rated operational voltage	< 300 V AC
Tightening torque	≤ 0.5 N.m (M2.5)
Fixing mode	Plastic compression spring mounting on 35 mm symmetrical DIN rail
Marking	CE
CAD overall width	6.2 mm
CAD overall height	78.6 mm
CAD overall depth	95 mm
Product weight	0.023 kg
Rated operational voltage limits	11.4...14.4 V 21.6...28.8 V

Environment

Connections - terminals	Connector, 1 x 0.2...1 x 2.5 mm ² AWG24...AWG14 solid cable without cable end Connector, 1 x 0.2...1 x 2.5 mm ² AWG24...AWG14 flexible cable with cable end
Standards	IEC 61964 UL 508
Product certifications	CSA QO&T
Ambient air temperature for storage	-40...85 °C
Ambient air temperature for operation	-40...70 °C
IP degree of protection	IP20 conforming to EN1EC 60629
Dielectric strength	2500 V

Contractual warranty

Period	18 months
--------	-----------

The information provided in this document is for reference only and does not constitute a contract. The user must verify the compatibility of the product with the application. The user must verify the compatibility of the product with the application. The user must verify the compatibility of the product with the application.

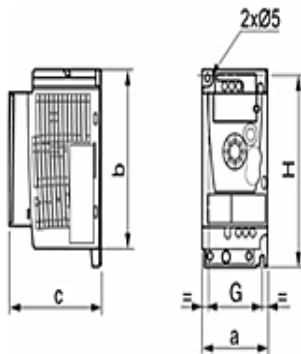
Oct 1, 2018



1

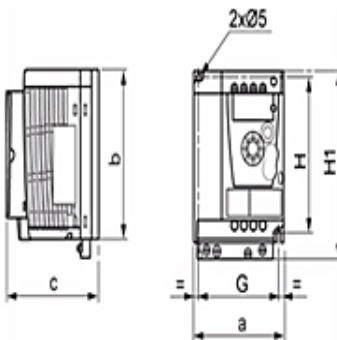


ATV12P037F1, 037M2, 055M2, 075M2,
037M3, 075M3



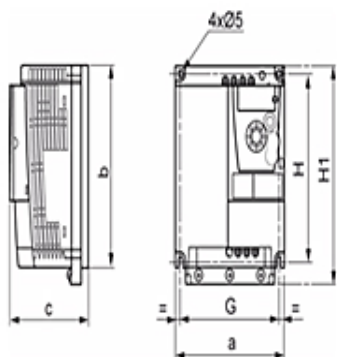
ATV12P	a mm (in.)	b mm (in.)	c mm (in.)	G mm (in.)	H mm (in.)	H1 mm (in.)	Ø mm (in.)	For screws	Weight kg (lb)
Size 1C1 037F1 037M2	72 (2.83)	142 (5.59)	102.2 (4.02)	60 (2.36)	131 (5.16)	143 (5.63)	2 x 5 (2 x 0.20)	M4	0.6 (1.3)
Size 1C1 055M2 075M2 Size 1C3 037M3 075M3	72 (2.83)	142 (5.59)	102.2 (4.02)	60 (2.36)	120 (4.72)	143 (5.63)	2 x 5 (2 x 0.20)	M4	0.7 (1.5)

ATV12PU15M3, U22M3

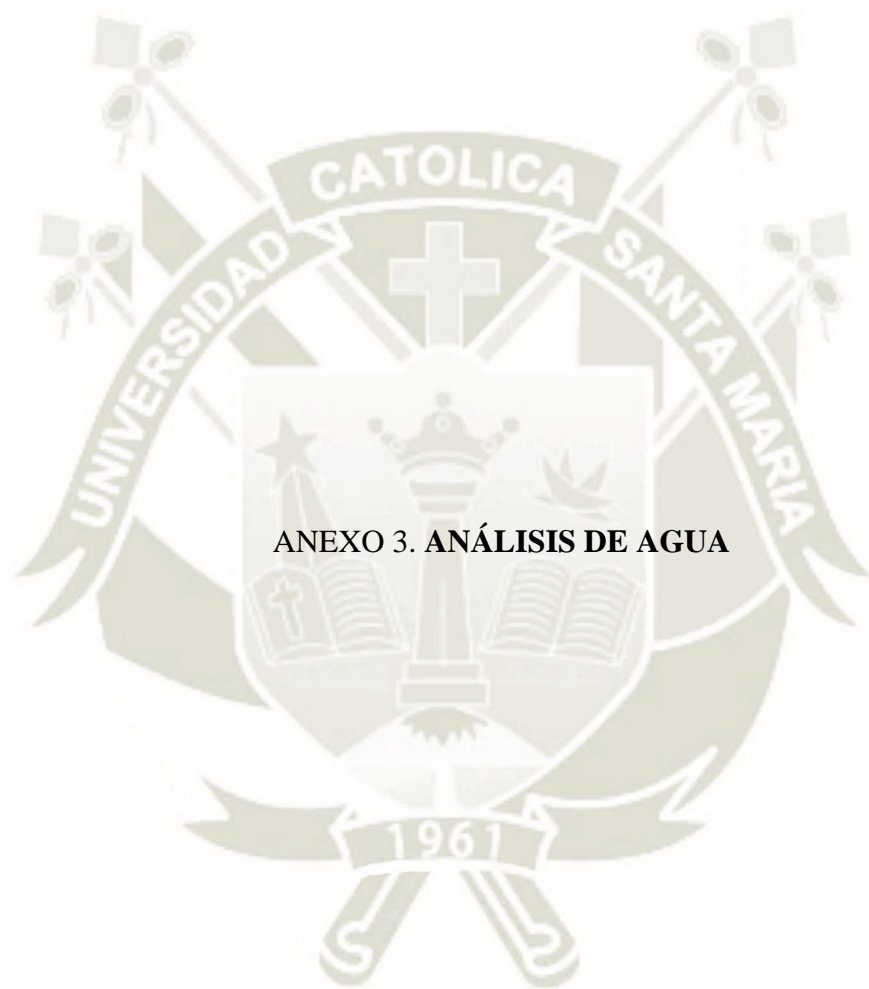


ATV12P	a mm (in.)	b mm (in.)	c mm (in.)	G mm (in.)	H mm (in.)	H1 mm (in.)	Ø mm (in.)	For screws	Weight kg (lb)
Size 2F3 U15M3 U22M3	105 (4.13)	130 (5.12)	98.2 (3.87)	93 (3.66)	120 (4.72)	143 (5.63)	2 x 5 (2 x 0.20)	M4	1.0 (2.2)

ATV12PU30M3, U40M3



ATV12P	a mm (in.)	b mm (in.)	c mm (in.)	G mm (in.)	H mm (in.)	H1 mm (in.)	Ø mm (in.)	For screws	Weight kg (lb)
Size 3F3 U30M3 U40M3	140 (5.51)	170 (6.69)	100.2 (3.94)	126 (4.96)	159 (6.26)	184 (7.24)	4 x 5 (4 x 0.20)	M4	1.6 (3.5)



ANEXO 3. ANÁLISIS DE AGUA



LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS & SERVICIOS E.I.R.I

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS;
ANÁLISIS DE AGUAS: POTABLE, SUPERFICIALES, CALDEROS, EFLUENTES INDUSTRIALES, RIEGO
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS, PLANTAS, ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS

INFORME DE ENSAYO Nº 067 – 10 – AG – 2017

I.- INFORMACION PRELIMINAR

SOLICITANTE : ROBERTO ANTONIO VALENCIA CURACA
LUIS RENÉ DÍAZ CANAZAS

TÍTULO DEL PROYECTO : "Diseño, Implementación y Automatización de una Planta de Tratamiento de Aguas Superficiales a Escala menor para Producción de Agua Potable en Quequeña – Arequipa".

TIPO DE MUESTRA : AGUA TRATADA

SERVICIO SOLICITADO : - ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO
- ANALISIS MICROBIOLÓGICO

CODIGO REGISTR. LABORATORIO : M-1 = 297

CONDICIONES DE LA MUESTRA : Muestra Recibida en el Laboratorio

LUGAR DE MUESTREO : Poblado de Quequeña

FECHA DE MUESTREO : 23 de Octubre del 2017

PRESENTACION : 02 Botellas de polietileno con 1,500 ml. de muestra aproximadamente.

FECHA DE RECEPCION : 23 de Octubre del 2017

FECHA ENTREGA DE RESULTADOS : 26 de Octubre del 2017

II.- RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO QUIMICO EN AGUA

PARÁMETROS	Expresión de los Resultados	RESULTADO M - 1 297	Estándar de Calidad (ECA): Categoría I Poblacional y Recreacional A ₁ = Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Color	Unidades Pt/Co	4.0	15
Turbidez	NTU	5.2	5 NTU
pH	U.U.	8.4	6.5 – 8.50
Conductividad Eléctrica	mS/cm	0.40	1.5
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.2	Valor mínimo >6
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	1.0	50
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	0.16	1.5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	250	1,000
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	76.57	250
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	58.45	250
Calcio (Ca ²⁺)	mg/L	26.78	~
Magnesio (Mg ²⁺)	mg/L	11.25	~
Dureza Total exp. en CO ₂ /Ca	mg/L	113.08	500

*D.S. Nº 004-2017-MINAM

Abreviaturas

U.U. = Unidades Universales mS/cm = milisiemens por centimetro
NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez mg/L = miligramos por Litro

METODOLOGÍA

Color: HACH 8025 APHA Platinum Cobalt
Turbidez: Turbidímetro Hach 2100 Q
pH: Método Electrométrico
Conductividad Eléctrica: Método Electrométrico
Oxígeno Disuelto: Standards Methods 4500-O C Azide Modification
Nitratos: HACH 8192 Cadmium Reduction Method
Fluoruros: HACH 8029 SPANDS Method
Sólidos Totales Disueltos: Standards Methods 2540 C Total Dissolved Solids
Cloruros: Standard Methods 4500 Cl B Argentometric Method
Sulfatos: Standard Methods 4500-SO4-E Turbidimetric Method
Calcio y Magnesio: Standard Methods 2340 EDTA Titrimetric Method
Dureza Total: Standard Methods 2340 EDTA Titrimetric Method

Lic. Quím. Victoria Fisancho Motta
C.Q.P. 270



PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME
EL PRESENTE INFORME SOLO ES VALIDO PARA LA MUESTRA DE LA REFERENCIA

Pág. 1 de 2

OF. PRINCIPAL: SOR ANA DE LOS ÁNGELES D-207 TELF.: 054 401288 - CEL.: 95 9458551 EMAIL: lab_laquis@hotmail.com
PARTE POSTERIOR COLEGIO NEPTALI VALDERRAMA AMPUERO (PLAYA DE ESTACIONAMIENTO) - PAUCARPATA
www.laboratoriolaquis.com
AREQUIPA - PERU



LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS & SERVICIOS E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS;
ANÁLISIS DE AGUAS: POTABLE, SUPERFICIALES, CALDEROS, EFLUENTES INDUSTRIALES, RIEGO
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS, PLANTAS, ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS

III.- RESULTADOS DEL ANALISIS MICROBIOLÓGICO EN AGUA

PARÁMETROS	Expresión de los Resultados	RESULTADO M - 1 294	Estándar de Calidad (ECA): Categoría I Poblacional y Recreacional A ₁ = Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Recuento de Heterótrofos	ufc/ml	<1	-/-
Numeración de Coliformes Totales	ufc/ml	<1	50
Numeración de Coliformes Termotolerantes	ufc/ml	<1	20
Numeración de Escherichia Coli	ufc/ml	<1	0.0

Abreviaturas ufc/ml = unidades formadoras de colonia por mililitro de muestra

METODOLOGIA

Heterotrophic Plate Count: Standard Methods 9215, 22nd Edition

Numeración de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y E. Coli: Recuento en placa con Chromocult

IV.- COMENTARIO

De acuerdo a los resultados obtenidos en el *Análisis Físicoquímico* realizada en la muestra de Agua recepcionada en el Laboratorio y comparadas con el Estándar de Calidad (ECA) Categoría I: Poblacional y Recreacional

A₁= Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección tenemos:

En cuanto al *pH* en la muestra tiene un resultado que la clasifica como *NEUTRO* y está dentro del Estándar de Calidad Ambiental.

La *Conductividad Eléctrica* que mide la cantidad Total de Sales Solubles o la Salinidad Total clasifica a la muestra como Agua de Salinidad *MEDIA*

La *Turbidez* es *ALTA* está fuera del Limite Máximo Permisible, que es 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

Los *Sólidos Totales Disueltos* son *MEDIOS* y están dentro de los parámetros de calidad ambiental.

Los *Cloruros* y los *Sulfatos* son *MEDIOS* y están dentro de los estándares.

La *Dureza Total* la clasifica como *AGUA BLANDA* (de 70 - 120 mg/L como CaCO₃) y está dentro del ECA.

Los *Nitratos* y los *Fluoruros* tienen valores que están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental

En relación al *Análisis Microbiológico* no todos los Parámetros están *Ausentes*, por tanto dentro de los valores ECA.

Lic. Quím. Victoria Frisancho Motta
C.Q.P. 270



Arequipa, 26 de Octubre del 2017

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME
EL PRESENTE INFORME SOLO ES VALIDO PARA LA MUESTRA DE LA REFERENCIA

Pág 2 de 2

OF. PRINCIPAL: SOR ANA DE LOS ÁNGELES D-207 TELF.: 054 401288 - CEL.: 95 9458551 EMAIL.: lab_laquis@hotmail.com
PARTE POSTERIOR COLEGIO NEPTALI VALDERRAMA AMPUERO (PLAYA DE ESTACIONAMIENTO) - PAUCARPATA
www.laboratoriolaquis.com
AREQUIPA - PERU



LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS & SERVICIOS E.I.R.I

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS;
ANÁLISIS DE AGUAS: POTABLE, SUPERFICIALES, CALDEROS, EFLUENTES INDUSTRIALES, RIEGO
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS, PLANTAS, ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS

INFORME DE ENSAYO N° 068 – 10 – AG – 2017

I.- INFORMACION PRELIMINAR

SOLICITANTE : ROBERTO ANTONIO VALENCIA CURACA
LUIS RENÉ DÍAZ CANAZAS

TÍTULO DEL PROYECTO : “Diseño, Implementación y Automatización de una Planta de Tratamiento de Aguas Superficiales a Escala menor para Producción de Agua Potable en Quequeña – Arequipa”.

TIPO DE MUESTRA : AGUA TRATADA

SERVICIO SOLICITADO : - ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO
- ANALISIS MICROBIOLÓGICO

CODIGO REGISTR. LABORATORIO : M-1 = 297

CONDICIONES DE LA MUESTRA : Muestra Recibida en el Laboratorio

LUGAR DE MUESTREO : Poblado de Quequeña

FECHA DE MUESTREO : 23 de Octubre del 2017

PRESENTACION : 02 Botellas de polietileno con 1,500 ml. de muestra aproximadamente.

FECHA DE RECEPCION : 23 de Octubre del 2017

FECHA ENTREGA DE RESULTADOS : 26 de Octubre del 2017

II.- RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO QUIMICO EN AGUA

PARÁMETROS	Expresión de los Resultados	RESULTADO M - 1 297	Estándar de Calidad (ECA)*: Categoría 1 Poblacional y Recreacional A ₁ = Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Color	Unidades Pt/Co	0.64	15
Turbidez	NTU	0.29	5 NTU
pH	U.U.	7.28	6,5 – 8.50
Conductividad Eléctrica	mS/cm	0.40	1.5
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.2	Valor mínimo >6
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	1.0	50
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	0.16	1,5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	250	1,000
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	76.57	250
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/L	58.45	250
Calcio (Ca ⁺⁺)	mg/L	26.78	--
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg/L	11.25	--
Dureza Total exp. en CO ₃ Ca	mg/L	113.08	500

*D.S. N° 004-2017-MINAM

Abreviaturas

U.U.= Unidades Universales mS/cm= milisiemens por centímetro
NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez mg/L = miligramos por Litro

METODOLOGÍA

Color: HACH 8025 APHA Platinum Cobalt
Turbidez: : Turbidímetro Hach 2100 Q
pH: Método Electrométrico
Conductividad Eléctrica: Método Electrométrico
Oxígeno Disuelto: Standards Methods 4500-O C Azide Modification
Nitratos: HACH 8192 Cadmiun Reduction Method
Fluoruros: HACH 8029 SPANDS Method
Sólidos Totales Disueltos: Standards Methods 2540 C Total Dissolved Solids
Cloruros: Standard Methods 4500 Cl B Argentometric Method
Sulfatos: Standard Methods 4500-SO4-E Turbidimetric Method
Calcio y Magnesio: Standard Methods 2340 EDTA Titrimetric Method
Dureza Total: Standard Methods 2340 EDTA Titrimetric Method

Lic. Quím. Victoria Frisancho Motta
C.Q.P. 270



PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME
EL PRESENTE INFORME SOLO ES VALIDO PARA LA MUESTRA DE LA REFERENCIA

Pág. 1 de 2

OF. PRINCIPAL: SOR ANA DE LOS ÁNGELES D-207 TELF.: 054 401288 - CEL.: 95 9458551 EMAIL.: lab_laquis@hotmail.com
PARTE POSTERIOR COLEGIO NEPTALI VALDERRAMA AMPUERO (PLAYA DE ESTACIONAMIENTO) - PAUCARPATA
www.laboratoriolaquis.com
AREQUIPA - PERU



LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS & SERVICIOS E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS;
ANÁLISIS DE AGUAS: POTABLE, SUPERFICIALES, CALDEROS, EFLUENTES INDUSTRIALES, RIEGO
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS, PLANTAS, ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS

III.- RESULTADOS DEL ANALISIS MICROBIOLÓGICO EN AGUA

PARÁMETROS	Expresión de los Resultados	RESULTADO M - 1 294	Estándar de Calidad (ECA): Categoría I Poblacional y Recreacional A ₁ = Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Recuento de Heterótrofos	u/c/ml	<I	-
Numeración de Coliformes Totales	u/c/ml	<I	50
Numeración de Coliformes Termotolerantes	u/c/ml	<I	20
Numeración de Escherichia Coli	u/c/ml	<I	0.0

Abreviaturas u/c/ml = unidades formadoras de colonia por mililitro de muestra

METODOLOGIA

Heterotrophic Plate Count: Standard Methods 9215, 22nd Edition

Numeración de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y E. Coli: Recuento en placa con Chromocult.

IV.- COMENTARIO

De acuerdo a los resultados obtenidos en el *Análisis Físicoquímico* realizada en la muestra de Agua recepcionada en el Laboratorio y comparadas con el Estándar de Calidad (ECA) Categoría I: Poblacional y Recreacional

A₁= Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección tenemos:

En cuanto al *pH* en la muestra tiene un resultado que la clasifica como *NEUTRO* y está dentro del Estándar de Calidad Ambiental.

La *Conductividad Eléctrica* que mide la cantidad Total de Sales Solubles o la Salinidad Total clasifica a la muestra como Agua de Salinidad *MEDIA*

La *Turbidez* es *BAJA* está dentro del Límite Máximo Permisible, que es 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

Los *Sólidos Totales Disueltos* son *MEDIOS* y están dentro de los parámetros de calidad ambiental.

Los *Cloruros* y los *Sulfatos* son *MEDIOS* y están dentro de los estándares.

La *Dureza Total* la clasifica como *AGUA BLANDA* (de 70 - 120 mg/L como CaCO₃) y está dentro del ECA.

Los *Nitratos* y los *Fluoruros* tienen valores que están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental

En relación al *Análisis Microbiológico* todos los Parámetros están *Ausentes*, por tanto dentro de los valores ECA.

Uc. Quím. Victoria Frisacho Motta
C.Q.P. 270

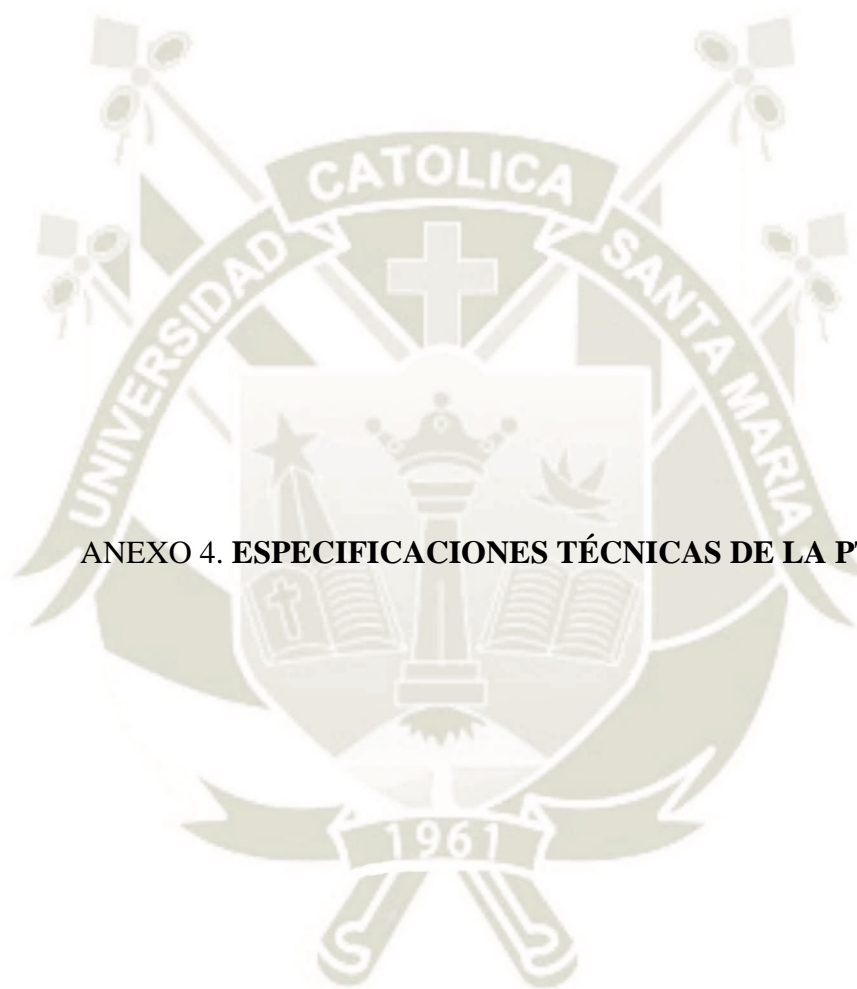


Arequipa, 26 de Octubre del 2017

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME
EL PRESENTE INFORME SOLO ES VALIDO PARA LA MUESTRA DE LA REFERENCIA

Pág 2 de 2

OF. PRINCIPAL: SOR ANA DE LOS ÁNGELES D-207 TELF.: 054 401288 - CEL.: 95 9458551 EMAIL.: lab_laquis@hotmail.com
PARTE POSTERIOR COLEGIO NEPTALI VALDERRAMA AMPUERO (PLAYA DE ESTACIONAMIENTO) - PAUCARPATA
www.laboratoriolaquis.com
AREQUIPA - PERU



ANEXO 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PTAP

1. Etapa de captación:

- Tanque de almacenamiento de 200 L.
- Dimensiones: 0.9 m de altura, 0.54 m de diámetro.
- Tubería de succión en hidro de ½”.

2. Etapa de coagulación:

- Tanque de coagulación de plástico de 41 L.
- Dimensiones: 0.45 m de altura, 0.18 m de diámetro.
- Coagulación por control PID dirigido a tanque de floculación.
- Válvula proporcional TFV4.

3. Etapa de floculación:

- Tanque de floculación de acero negro revestido de pintura epoxica de 97.5 L.
- Dimensiones: 0.19 m de altura, 0.5 m de largo, 0.5 m de ancho.
- Etapa de dosificación con electroválvula y flujometro analógico con salida a PLC.
- Software de implementación de control PID.
- Agitador con motor de 24 V CC de 0.25 HP con temporizador 555 configuración estable por PWM.
- Paletas de agitación revestidas de pintura epoxica.
- Sensores de nivel, actuadores (válvula solenoide de 24 VCC)

4. Etapa de sedimentación

- Tanque de homogenización con sensor de nivel de alto y serpentín.
- Tanque de clarificación con rebosadero, tanque de almacenamiento y succión hacia tanque de dosificación de cloro.
- Tanques de acero negro revestido de pintura epoxica, con capacidad total de 100 L.
- Dimensiones: 0.4 m de altura, 0.5 m de largo, 0.5 m de ancho.
- Láminas de acrílico de 50 cm x 20 cm.

5. Etapa de filtración:

- Tanque de filtración de acero negro revestido de pintura epoxica de 35 L.
- Dimensiones: 0.35 m de altura, 0.2 m de largo, 0.5 m de ancho.
- Soluciones: piedra canto rodado de ¼" x 10 cm, piedra antracita x 15 cm, carbón activado x 15 cm.
- Electrobomba trifásica de ¼ HP con conexión en triángulo a 220 V, flujo de 8.5 L/min.
- Variador Altivar 12 de 1 HP

6. Etapa de cloración:

- Tanque de cloración de plástico de 41 L.
- Dimensiones: 0.45 m de altura, 0.18 m de diámetro.
- Cloración por control PID dirigido a tanque de almacenamiento final.
- Válvula proporcional TFV4.