

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



“DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN Y
COAGULACIÓN DEL AGUA PARA DISMINUIR LOS NIVELES DE TURBIDEZ
PRE-FILTRADO EN LA EMPRESA AVO PERU S.A.C.”

TESIS PARA OBTENER EL
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Automatización y Control

AUTORES:

Br. Ching Rojas Jonathan Yang

Br. Corrales Anticona Peter Franks

ASESOR:

Ing. Saul Noe Linares Vertiz

Trujillo – Perú

2015

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

TÍTULO:

“DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN Y
FLOCULACIÓN DEL AGUA PARA DISMINUIR LOS NIVELES DE TURBIDEZ
PRE-FILTRADO EN LA EMPRESA AVO PERU S.A.C.”

DESARROLLADA POR:

Br. Jonathan Yang Ching Rojas

Tesista

Br. Peter Franks Corrales Anticona

Tesista

APROBADA POR:

Ing. Luis Alberto Vargas Diaz

Presidente

C.I.P. N° 104175

Ing. Lenin Humberto Llanos León

Secretario

C.I.P. N° 139213

Ing. Oscar Miguel De La Cruz Rodriguez

Vocal

C.I.P. N° 085598

Ing. Saúl Noé Linares Vértiz

Asesor

C.I.P. N° 142213

PRESENTACION

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada “Antenor Orrego”, para el título Profesional de Ingeniero Electrónico, es grato poner a vuestra consideración, la presente tesis titulada: “DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN DEL AGUA PARA DISMINUIR LOS NIVELES DE TURBIDEZ PRE-FILTRADO EN LA EMPRESA AVO PERU S.A.C.”

Esperamos que el presente trabajo logre cubrir las expectativas que tienen al respecto, excusándose de antemano por los errores involuntarios incurridos en el desarrollo del mismo.

Br. Ching Rojas Jonathan Yang

Br. Corrales Anticona Peter Franks

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a todas las personas que nos acompañaron durante el proceso del mismo tales como nuestra familia, profesores y amigos.

Todos y cada uno de ellos brindaron valiosos consejos que fueron las bases para iniciar con seguridad nuestro largo camino profesional.

Jonathan Yang Ching Rojas, Peter Franks Corrales Anticona

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la vida y la oportunidad de realizar este sueño.

A nuestros padres, quienes con tanto sacrificio no dudaron en apoyarnos en nuestros estudios sin esperar otra recompensa más que la satisfacción de vernos convertidos en profesionales.

A nuestras familias, con quienes compartimos este gran momento de alegría y felicidad.

A nuestros amigos que siempre nos motivaron para continuar en este camino.

A los profesores que tuvieron que ver con nuestra formación académica, por habernos brindado sus conocimientos y amistad.

A nuestro asesor, que nos asistió generosamente a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

Br. Jonathan Yang Ching Rojas

Br. Peter Franks Corrales Anticona

RESUMEN

Actualmente la empresa AVO PERU SAC no cuenta con una automatización en los procesos de Coagulación y Floculación del Agua, presenta problemas en los sistemas de filtrado dado que los niveles de turbidez del agua en la salida de los procesos dichos no es el adecuado y causa un mantenimiento seguido aumentando costos también el retraso en el riego.

De acuerdo a los datos recolectados diariamente se obtuvo que los niveles de turbidez era muy altos en las salidas de los procesos y los caudales de inyección del coagulante y floculante no eran los adecuados ya que estos en la empresa son valores constantes.

Se realizó los cálculos respectivos y se obtuvo que los niveles de turbidez se pueden mejorar si los caudales de inyección se aplican de acuerdo los niveles de turbidez medidos en tiempo real, por consiguiente se obtuvo que la mejor solución para este caso sería la automatización de los procesos de coagulación y floculación.

En el presente trabajo de investigación se realiza el diseño de la automatización de los procesos de Coagulación y Floculación del agua; seleccionando los equipos e instrumentos de acuerdo a los diferentes escenarios que se nos presentó en la empresa y también teniendo en cuenta las necesidades operativas del sistema.

Para la ubicación de nuestros equipos en nuestro diseño se realizó un diagrama de instrumentación (P&ID) con todos los equipos seleccionados.

ABSTRACT

Currently the company AVO PERU SAC has no automation in the processes of coagulation and flocculation of wáter, presents problems in filtering systems because levels of turbidity in the output of these processes is inadequate and causes a maintenance continued to rise costs also delayed irrigation.

According to data collected daily it was obtained turbidity levels were very high in the process outputs and injection rates of coagulant and flocculant were not suitable as these in the company are constant values.

Such calculations was performed and it was found that turbidity levels can be enhanced if the injection rates are applied according the levels measured turbidity in real time, therefore it was found that the best solution for this case is automation coagulation and flocculation processes.

In this research design automation processes coagulation and flocculation water is performed; selecting equipment and instruments according to the different scenarios presented to us in the company and also taking into account the operational needs of the system.

For the location of our teams in our design instrumentation diagram (P & ID) with all the selected equipment we were performed.

INDICE

PRESENTACION	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	15
I.1. DELIMITACION DEL PROBLEMA	15
I.1.1. Características de la Realidad	16
I.1.2. Análisis de las Características	16
I.1.3. Enunciado del Problema	19
I.2. OBJETIVOS	19
I.2.1. Objetivo General	19
I.2.2. Objetivos Específicos	20
I.3. ANTECEDENTES	20
I.4. HIPOTESIS	22
I.4.1. Hipótesis General	22
I.4.2. Variables	22
I.4.3. Operacionalización de las Variables	23
II. MARCO TEÓRICO	26
II.1. Agua para Riego	26
II.2. Parámetros Físicos del Agua	27
II.2.1. Partículas en Suspensión	28
II.3. Procesos de Floculación y Coagulación	31
II.4. Sistemas de control	44
II.4.1. Sistemas de Control en Lazo Abierto	44
II.4.2. Sistemas de Control en Lazo Cerrado	45
II.4.3. Comparación entre Sistemas de Control en Lazo Cerrado con Sistemas en Lazo Abierto	46
II.5. Automatización	47

II.6. Controlador Lógico Programable.....	48
II.7. Electroválvulas.....	50
II.8. Sensor de Turbidez	51
II.9. Bombas Venturi.....	53
II.10. Bombas Centrífugas	55
II.11. Filtros de Grava	56
II.11.1. Retrolavado	58
II.11.2. Retrolavado Automatizado.....	58
II.12. Filtro de Anillos	59
III. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO	62
III.1. Materiales e Instrumentos.....	62
III.1.1. Reporte de Concentraciones y Caudales de Inyección AVOPERU.....	62
III.1.2. Reporte de Consumo de agua AVO PERU	63
III.1.3. Manual de Tratamiento de Agua para Riego - JURPDRMVCH	64
III.1.4. Manual de Operaciones en Campo – AVO PERU.....	65
III.1.5. Manual de Usuario Turbidímetro HACH 2100Q	65
III.1.6. Familiarización con el software AUTOCAD P&ID	66
III.2. Procedimiento y Análisis de datos	70
III.2.1. Estudio del Sistema y Proceso para Tratamiento de Agua de riego	70
III.2.2. Recolección de Datos.....	81
III.2.3. Desarrollo.....	85
III.2.4. Automatización del Mezclado.....	96
III.2.5. Control Nivel de Turbidez (NTU).....	99
IV. RESULTADOS	103
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	124
VI. CONCLUSIONES	128
VII. RECOMENDACIONES.....	130
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	131
ANEXOS.....	134

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Frecuencia en el Mantenimiento de Filtros de anillos y de grava ..	18
Figura N° 2: Nivel de turbidez de pre-filtrado en NTU ´s	19
Figura N° 3: Doble Capa de una Partícula coloidal	30
Figura N° 4: Proceso de Floculación	32
Figura N° 5: Curva de turbidez (NTU) VS Dosis de Floculante.....	35
Figura N° 6: Proceso de Coagulación.....	36
Figura N° 7: Fases de la Coagulación.....	41
Figura N° 8: Coagulación por Adsorción.....	42
Figura N° 9: Coagulación por Barrido.....	42
Figura N° 10: Curva de turbidez (NTU) VS Dosis de Coagulante	43
Figura N° 11: Sistema de Control en lazo abierto	45
Figura N° 12: Sistema de Control en lazo cerrado	45
Figura N° 13: Combinación de un Sistema de Control en lazo abierto y un sistema de control en lazo cerrado	47
Figura N° 14: Electroválvulas Proporcionales	51
Figura N° 15: Sensores de Turbidez de transmisión, dispersión y relación.	52
Figura N° 16: Bomba Venturi	54
Figura N° 17: Principio de Funcionamiento Venturi.....	54
Figura N° 18: Bomba Centrífuga	56
Figura N° 19: Esquema Filtro de grava de dos unidades.	57
Figura N° 20: Filtros en paralelo durante retrolavado.	58
Figura N° 21: Anillo con ranuras (a), detalle de un anillo (b) y de dos en contacto (c).....	59
Figura N° 22: Sistema de Filtro de Anillos.....	60
Figura N° 23: Manual de Tratamiento de Agua.....	64
Figura N° 24: Manuel de Operaciones en Campo.....	65
Figura N° 25: Manual de Turbidímetro	65
Figura N° 26: Diagrama de Flujo básico de uso del P&ID	67

Figura N° 27: Librería de Componentes del P&ID	67
Figura N° 28: Librería de Líneas Esquemáticas del P&ID	68
Figura N° 29: Librería de Componentes en Línea del P&ID	68
Figura N° 30: Librería de Instrumentos del P&ID	69
Figura N° 31: Asignación de notas y etiquetas del P&ID	70
Figura N° 32: Compuerta de ingreso desde canal madre	71
Figura N° 33: Cámara de Dosificación 1	71
Figura N° 34: Desarenador	72
Figura N° 35: Cámara de Dosificación 2	73
Figura N° 36: Sedimentador	73
Figura N° 37: Partes y Puntos de muestreo en el Tratamiento de agua	75
Figura N° 38: Plano del Sistema de Tratamiento de agua en la empresa AVO PERU	75
Figura N° 39: Sensor de turbidez HACH 2100Q	77
Figura N° 40: Regulación de dosis mediante jarra graduada	80
Figura N° 41: Elementos para la dosificación e inyección	81
Figura N° 42: Mezcladores a) Vertical – b) Blower o soplador	98
Figura N° 43: Niveles de Turbidez (NTU) de Canal	104
Figura N° 44: Caudales de Inyección de Floculante Apropriados	105
Figura N° 45: Caudales de Inyección de Coagulante Apropriados	105
Figura N° 46: Nivel de Turbidez de Salida Real y Estimada al Flocular	107
Figura N° 47: Nivel de Turbidez de Salida Real y Estimada al Coagular	108
Figura N° 48: Soplador Industrial DVP TSB-210	110
Figura N° 49: Sensor de Nivel LA9RM201- Schneider	111
Figura N° 50: Relé de control de nivel RM35LM – Schneider	112
Figura N° 51: Sensor de Turbidez OPTISENS TUR 2000	113
Figura N° 52: Transmisor MAC 100	114
Figura N° 53: Válvula proporcional de caudal EV260B – DANFOSS	114
Figura N° 54: Componentes en la electroválvula proporcional EV260B	115
Figura N° 55: Caudalímetro ARAD, modelo SF de 3/4" de 1 Litro / pulso	116

Figura N° 56: PLC Micro820, Allen-Bradley	118
Figura N° 57: Comunicación Ethernet	118
Figura N° 58: Módulo de Alimentación 2080-PS120-240.	119
Figura N° 59: Módulo de Salidas Análogas 2080-OF2.....	120
Figura N° 60: Diagrama de control a lazo cerrado	121
Figura N° 61: Diagrama de automatización del proceso de sedimentación del agua.....	122

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de la Variable Dependiente.....	23
Tabla N° 2: Operacionalización de la Variable Independiente.....	24
Tabla N° 3: Tiempo de Sedimentación de Partículas Suspendidas.....	29
Tabla N° 4: Registro de Concentración de solución madre y Caudal de inyección aplicados para Floculante y Coagulante - Diciembre 2014.	62
Tabla N° 5: Registro de Caudal de consumo - Diciembre 2014.	63
Tabla N° 6: Tabla Resumen para los horarios de Muestreo - Diciembre 2014...	83
Tabla N° 7: Relación de Turbidez - Dosis de Polímero	86
Tabla N° 8: Relación de Turbidez - Dosis de Sulfato férrico.	87
Tabla N° 9: Valores Estadísticos.....	90
Tabla N° 10: Niveles de Turbidez (NTU) estimados de Salida al flocular	94
Tabla N° 11: Niveles de Turbidez (NTU) estimados de Salida al coagular.....	95
Tabla N° 12: Comparación de la Turbidez de Salida del Floculante	107
Tabla N° 13: Comparación del Número de la Turbidez de Salida del Coagulante	108

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

I.1. DELIMITACION DEL PROBLEMA

Como se precisa en la Web de AVO PERU S.A.C. (2014), es una empresa agroindustrial que forma parte del Grupo EL ROCIO dedicada al cultivo de vegetales y a la elaboración de productos frescos y conservas en base a los mismos. Cuenta con más de 600 Ha de campos de cultivo ubicados en los valles de Virú y Chao; siendo el palto, el espárrago y el arándano sus principales productos de siembra que son irrigados con el agua proveniente del canal madre del sector “La Agonia” del proyecto Chavimochic Etapa I. [1]

Según informe de la Oficina de Relaciones Públicas perteneciente al Proyecto Especial Chavimochic (Chavimochic, 2013), en el sector “La Agonia” la concentración máxima de sólidos en suspensión anuales promedio en el agua llegan hasta los 4.721 gr/L equivalentes a un nivel de turbidez mayor a 500 NTU no apto para el riego agrícola. Es así como la empresa AVO PERU S.A.C. a través de su división de Producción Agrícola, establece la mejora de la calidad del agua de riego para sus fundos mediante procesos de floculación y coagulación en sus pozas de sedimentación. [2]

Como se describe en el Manual de Operaciones de la empresa (ROCIO, 2008) tales procesos son realizados de forma manual en sus diversas etapas (medición, preparación y dosificación). La etapa de Medición implica tomar 3 muestras directas del canal para evaluar el nivel de turbidez por intervalos de tiempo, a lo largo de las horas de riego. Posteriormente, con los resultados, se procede con la preparación y dosificación de las soluciones con la finalidad de reducir los niveles de turbiedad (NTU) en el agua de pre-filtrado. [3]

Sin embargo, la técnica empleada no guarda relación con una adecuada reducción en los niveles de NTU pre-filtrado y se ve reflejado en el constante mantenimiento de los sistemas de filtros debido a la obstrucción de los mismos. Este hecho hace que la empresa AVO PERU S.A.C. cuestione la eficacia de la destacada labor y busque alternativas tecnológicas para evitar futuros problemas.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo de investigación se delimita a los procesos de Floculación y Coagulación en las pozas de sedimentación de la empresa AVO PERU S.A.C. Principalmente en las etapas de medición y dosificación con la finalidad de evaluar registros y conocer niveles de turbidez pre-filtrado a partir de la técnica actual empleada.

I.1.1. Características de la Realidad

- Frecuencia en la toma de muestras de agua de canal.
- Constante mantenimiento de los Sistemas de Filtros.
- Niveles de turbidez (NTU) pre-filtrado no son suficientemente reducidos.

I.1.2. Análisis de las Características

I.1.2.1. Frecuencia en la toma de muestras de agua de canal.

Durante la etapa de Medición, el Manual de Operaciones de la empresa AVO PERU S.A.C, describe que para conocer el nivel de turbidez se toman muestras de agua a partir de tres puntos a lo largo del proceso de sedimentación: una directamente del canal, otra a la salida del pre-sedimentador (floculante) y una última a la salida del sedimentador (coagulante). Las muestras tomadas del canal se realizan 3 veces al día que por lo general son a las 8 a.m., 12 m y 4 p.m. cuyas lecturas contribuirán al desarrollo de las etapas posteriores. [4]

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), en su Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos establece: “Siendo la turbidez una característica física del agua que varía no sólo de acuerdo a la estación del año sino también a lo largo del día según parámetros climáticos; es necesario un monitoreo constante de la turbiedad y un análisis de los niveles el mismo día”. [5] Por lo tanto, la frecuencia en la toma de muestras iniciales de agua no son suficientes para una lectura real de turbidez (NTU) a lo largo del día en que dura el riego; perjudicando las etapas de preparación y dosificación.

I.1.2.2. Constante mantenimiento de los Sistemas de Filtros.

El área de Instalación y Mantenimiento a través del operador responsable de Mantenimiento, es el encargado de elaborar los registros diarios, semanales y mensuales con las diversas operaciones realizadas en el Sistema de Filtrado de los diversos módulos; como por ejemplo la programación del mantenimiento de los filtros de anillos y de grava. A través de esta división se pudo conocer que manejan una programación base de 4 veces al mes dedicados al lavado de filtros.

En la figura 1 se muestra un gráfico relacionado al mantenimiento realizado de los filtros tanto de anillos como de grava a lo largo de los meses de Enero a Diciembre del 2014. Se puede apreciar que la frecuencia con que se realiza el lavado de filtros es mayor a la programada llegando a efectuarse hasta 3 veces por semana.

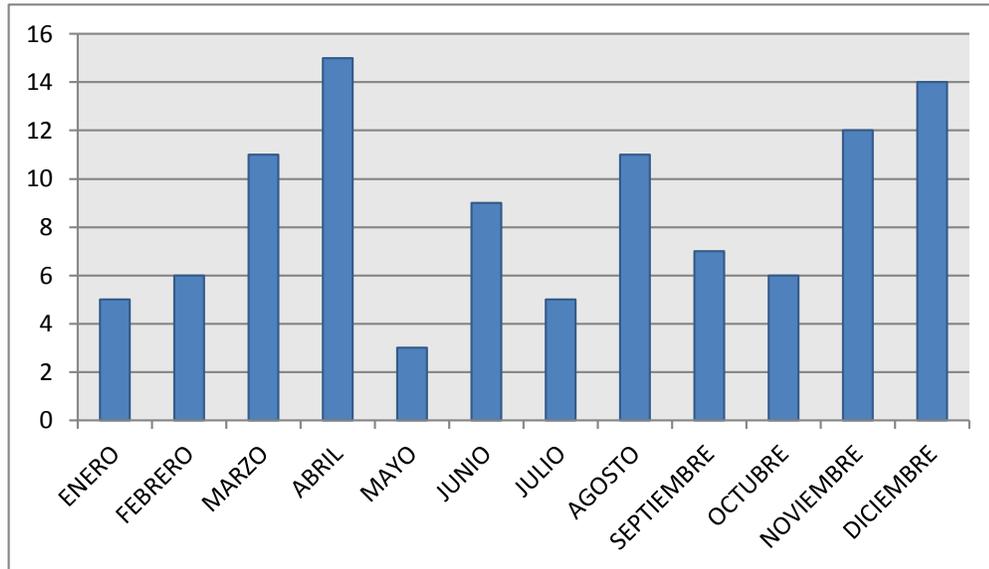


Figura N° 1: Frecuencia en el Mantenimiento de Filtros de anillos y de grava
Fuente: Registro de Mantenimiento del Sistema de Filtrado – AVO PERU S.A.C. (2014)

1.1.2.3. Niveles de turbidez (NTU) pre-filtrado no son suficientemente reducidos.

De acuerdo al decreto supremo N° 002-2008-MINAM acerca de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, se recomienda que el agua destinada para riego agrícola deba contar con niveles de turbidez no mayores a 20 NTU. [6]

La Figura 2 muestra un gráfico relacionado con los niveles de turbidez (NTU) de pre-filtrado a lo largo de una semana del mes de Agosto del 2014 realizados por el área de Producción Agrícola; con la finalidad de llevar un control de la calidad del agua luego del proceso de sedimentación. Se puede resaltar que la empresa AVO PERU S.A.C. cumple con los estándares establecidos de turbiedad; sin embargo, el constante mantenimiento mensual mostrado en los Registros de Mantenimiento del Sistema de Filtrado (Fig.1) demuestra que es necesario reducir aún más los niveles de NTU de pre-filtrado.

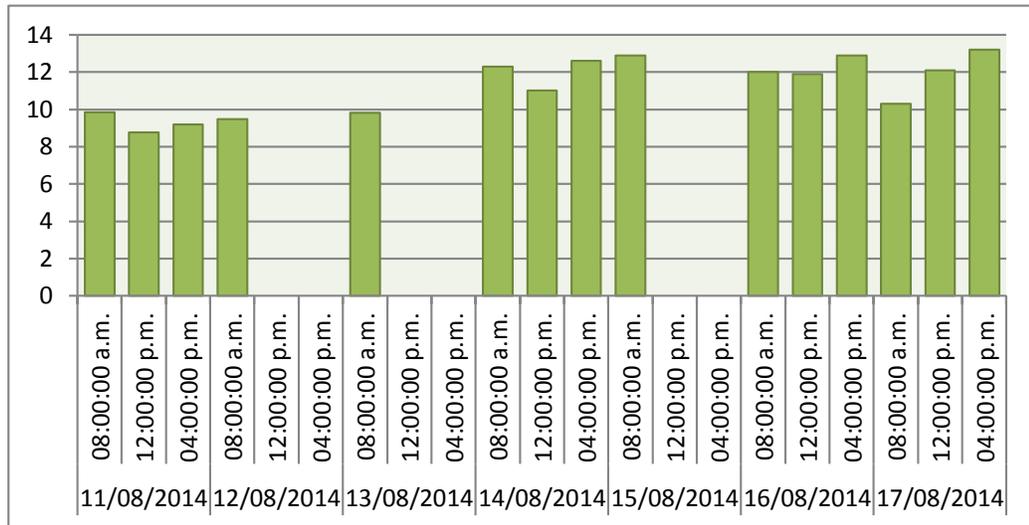


Figura N° 2: Nivel de turbidez de pre-filtrado en NTU's

Fuente: Registro de Aplicación de Coagulante y Floculante – AVO PERU S.A.C. (Agosto2014)

I.1.3. Enunciado del Problema

El problema en el que se centra la presente investigación, exige responder a la interrogante:

¿De qué manera se puede disminuir los niveles de turbidez pre-filtrado de los procesos de Floculación y Coagulación en la empresa AVO PERU S.A.C?

I.2. OBJETIVOS

I.2.1. Objetivo General

- Elaborar una propuesta de automatización del proceso de floculación y coagulación del agua para disminuir los niveles de turbidez pre-filtrado.

I.2.2. Objetivos Específicos

- Hallar las causas de la obstrucción del Sistema de Filtrado.
- Analizar las alternativas tecnológicas para la automatización del proceso de floculación y coagulación.
- Definir la estrategia de control para la automatización del proceso de floculación y coagulación.
- Ubicar estratégicamente los equipos y los sensores de instrumentación de manera que cubra las necesidades operativas del proceso de floculación y coagulación.

I.3. ANTECEDENTES

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios relacionados con la automatización:

TITULO: “AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL A DISTANCIA DE LOS RESERVORIOS SAN DIEGO”

Institución: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad Ingeniería Electrónica

Publicado en 2006

Autor: Juan Carlos Hernández Espinoza

En el trabajo mencionado anteriormente, nos dice que para una adecuada automatización, es necesario conocer a fondo el proceso que se desea controlar, esta es la etapa más crítica del proyecto donde se define la lógica

de programación y la forma de operación que se quiere, identificado el proceso plenamente, se procede a realizar un dimensionado del equipamiento a necesitar y la capacidad que deben obtener.

Título: “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO DEDICADO A LA PRODUCCIÓN FLORÍCOLA BASADO EN LAS TECNOLOGÍAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y EN TELEMETRÍA UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE COMUNICACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL GPRS”

Institución: Escuela Politécnica Nacional de Quito

Publicado en 2009

Autor: Narváez Ortiz, Geovanna Cecilia

Este trabajo permite comprender el funcionamiento del controlador lógico programable Galcon; esto es muy importante debido a que la empresa AVO PERU SAC usa dicho controlador y para realizar la propuesta de automatización debemos estar familiarizados con el controlador y adecuarlos a sus características.

TÍTULO: “CONTROL Y MONITOREO DE UNA POTABILIZADORA DE AGUA POR MEDIO DE RED CONTROLNET.”

INSTITUCION: Instituto Politécnico Nacional de México

AUTOR: Estrada Luna Vicente

Publicado en 2012

Este trabajo nos ayudó a la comprensión de los procesos de coagulación y floculación; y ver que estas etapas son muy importantes en el tratamiento de las aguas,

También nos dice que para escoger nuestro controlador debemos tener en cuenta que debe ser de acuerdo a las entradas y salidas que son requeridas para el control óptimo del proceso.

I.4. HIPOTESIS

I.4.1. Hipótesis General

Mediante la automatización de los procesos de Floculación y Coagulación se podrá reducir los niveles de turbidez pre-filtrado en la empresa AVO PERU S.A.C.

I.4.2. Variables

I.4.2.1. Variable Dependiente

- Niveles de turbidez pre-filtrado

I.4.2.2. Variable Independiente

- Automatización de los Procesos de Floculación y Coagulación.

I.4.3. Operacionalización de las Variables

Tabla N° 1: Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES DE MEDIDA
Niveles de turbidez pre-filtrado	Se entiende por turbidez la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.	Los niveles de turbidez medidos antes del filtrado no son los adecuados ya que ocasiona algunos problemas en el sistema de filtrado; esto se ve en los reportes de mantenimiento y también en los reportes de los procesos de coagulación y floculación.	Número de registros de mantenimiento	Reportes de mantenimiento	-----	Nº de registros
			Niveles de Turbidez antes del Filtrado	Reportes de los procesos de coagulación y floculación	-----	NTU

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 2: Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES DE MEDIDA
Automatización de los procesos de floculación y coagulación.	La Automatización es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales.	Mediante la lectura de los sensores se observaría el nivel de turbidez del agua constantemente, con estas tomas se realizaría la dosificación de floculante o coagulante, para que luego sea vertida en el agua activando una electroválvula cuyo caudal de inyección será controlado vía PWM; para esto se usaría un controlador lógico programable galileo además contaría con una interfaz HMI para la supervisión del proceso.	Número de Sensores de Turbidez	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de sensores
			Número de Electroválvulas	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de electroválvulas
			Número de Bombas Centrífugas	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de bombas centrífugas
			Número de Bombas Venturi	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de bombas venturi
			Número de lazos de control	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de lazos de control
			Número de Controladores	Hoja técnica del sistema diseñado	-----	Nº de controladores

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Agua para Riego

Según el *“Manual de Operaciones en Campo 2008”*: El agua es esencial para el buen desarrollo de las plantas, por lo tanto las características y/o componentes que contienen puede afectar a las mismas, por lo que es necesario monitorear y analizar las características y los componentes. Algunas características que pueden afectar al sistema de riego y a las plantas son:

- Sólidos sedimentables: obstrucción de filtros, lavado continuo de filtros.
- Sólidos suspendidos: atraviesa los filtros, obstruye los goteros.
- Conductividad alta: indica alta concentración de sales.
- pH: cercanos 7, óptimo para los cultivos.
- Dureza alta: reduce performance de agroquímicos.
- Alcalinidad alta: evita asimilación de nutrimentos.
- Sodio y cloruros: incrementa las sales.

Las características y/o componentes no deseados presentes en el agua pueden ser eliminados, inactivados o disminuidos a niveles aceptables, aplicando métodos físico-químicos de tratamiento y productos químicos adecuados. (DOC02)

II.2. Parámetros Físicos del Agua

De acuerdo a LAPEÑA, Miguel Rigola (1989) las características físicas más consideradas para el tratamiento del agua de riego son:

a. Color

Es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se pueden atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura sólo es azulada en grandes espesores.

En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como color amarillento debido a los ácidos húmicos. El color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas, puede representar un potencial colorante de ciertos productos cuando se utiliza como material de proceso, y un potencial espumante en su uso en calderas.

Según el origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la adsorción en carbón activo.

b. Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. Existen diversos turbidímetros modernos dando valores numéricos. El fundamento del Turbidímetro de Jackson es la

observación de una bujía a través de una columna del agua ensayada, cuya longitud se aumenta hasta que desaparece.

En el nefelómetro se mide la intensidad de la luz difractada al incidir un rayo luminoso sobre las partículas en suspensión y recogida sobre una célula fotoeléctrica.

Su unidad de medida es el NTU (Unidad Nefelométrica), FTU (Unidad de formacina) y el JTU (Unidad de Jackson).

II.2.1. Partículas en Suspensión

Yolanda Andia C. (2000) menciona que: Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas, en tanto que el color está formado por partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal como el hierro.

Como menciona Walter Weber (2003), las características de las partículas en suspensión son las siguientes:

Tamaño de las partículas en Suspensión

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro ($1\mu\text{m}$) que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente.

La siguiente tabla indica los tiempos de decantación de las diferentes partículas función de sus dimensiones y densidad.

Tabla N° 3: Tiempo de Sedimentación de Partículas Suspendidas.

Diámetro de la partícula (mm)	Escala de Tamaños	Área Superficial total	Tiempo requerido para sedimentar
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 s
1	Arena gruesa	31.50 cm ²	3.0 s
0.1	Arena fina	315.00 cm ²	38.0 s
0.01	Sedimento	3150.00 cm ²	33.0 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55.0 h
0.0001	Partícula Coloidal		230.0 días

Fuente: Manual de Tratamiento Físico Químico de Agua para Riego – JURP

Como se observa en el cuadro, las partículas coloidales son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Son las que requieren mayor tiempo para sedimentar, por tal motivo, es necesario agregar un agente químico que acelere la velocidad de sedimentación para obtener resultados rápidos de clarificación y mejoramiento de la calidad del agua.

Afinidad de las Partículas Coloidales por el Agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrófilas (afinidad por el agua) e hidrófobas (rechazan el agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre las partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrófilas son materias orgánicas. La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia los estabiliza dentro de la solución.

Carga Eléctrica y Doble Capa

Las partículas coloidales poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie, estas cargas llamadas cargas primarias, atraen a los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos como se ve en la Fig. 3

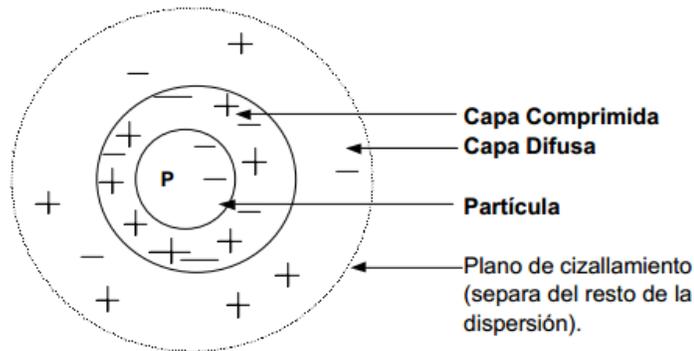


Figura N° 3: Doble Capa de una Partícula coloidal

Fuente: SEDAPAL

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

Factores de Estabilidad e Inestabilidad

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes fuerzas:

- **Fuerzas de atracción de Van der Waals:** “ E_a ” (factores de Inestabilidad); son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.
- **Fuerzas de repulsión electrostáticas:** “ E_b ” (columbicas – factor de Estabilidad); son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras.

El equilibrio de una suspensión coloidal depende de la fuerza resultante entre la fuerza de atracción y la fuerza de repulsión.

$$E_r = E_a + E_b$$

II.3. Procesos de Floculación y Coagulación

Según WEBER, Walter J. (2003): Las impurezas del agua varían en tamaño y aproximadamente en seis órdenes de magnitud, desde unos pocos angstroms para sustancias solubles hasta unos pocos cientos de micrones para materia en suspensión. La eliminación de una gran proporción de estas impurezas se lleva a cabo por sedimentación, en el tratamiento del agua y agua residual. Sin embargo, debido a que muchas de las impurezas son demasiado pequeñas para obtener un proceso de eliminación eficiente por sedimentación basado sólo en la gravedad, es preciso llevar a cabo la agregación de estas partículas en agregados de mayor tamaño y más fácilmente decantables con el fin de obtener una separación satisfactoria por sedimentación. Estos procesos se llaman floculación y coagulación.

Según el “Manual de Operaciones en Campo 2008”: Los sólidos sedimentables (> 1 micra) son eliminados por el proceso de FLOCULACION, en cambio los sólidos suspendidos o también llamados coloides (< 1 micra), que no sedimentan fácilmente y tampoco son retenidos en los filtros, son removidos sólo mediante el proceso de COAGULACION. **(DOC02)**

a. Proceso de Floculación

Según el documento “Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)”: El proceso de floculación consiste en la agitación de la masa que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se está mostrando en la Figura 4. **(DOC06)**

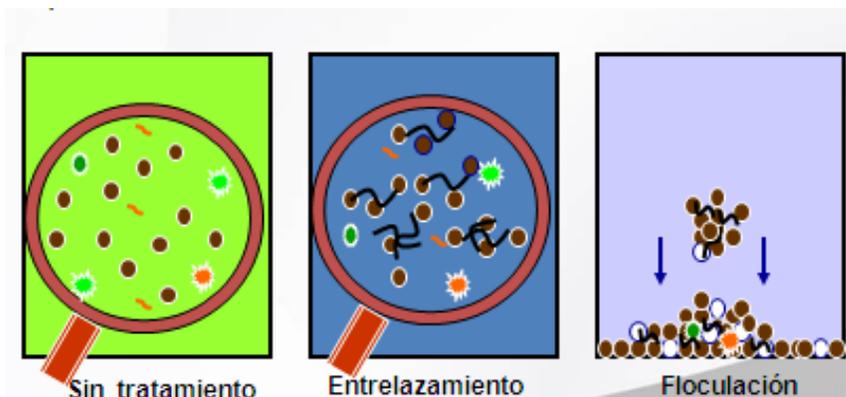


Figura N° 4: Proceso de Floculación

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos.

a.1. Tipos de Floculación

En el documento: “*Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)*”, se mencionan 2 tipos de floculación:

Floculación Pericinética

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

Floculación Ortocinética

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

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego la ortocinética.

a.2. Floculantes

Para Yolanda Andia C. (2000), los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas largas.

Estos pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

Floculantes Minerales: Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

Floculantes Orgánicos Naturales: Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los alginatos, cuya estructura polimérica son: los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos.

Floculantes Orgánicos de Síntesis: Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr./mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros: aniónicos, neutros o no iónicos y catiónicos.

a.3. Dosificación del floculante

Según “*Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013*”: el floculante es un polímero orgánico de elevado peso molecular.

La aplicación debe realizarse en un punto de mayor turbulencia antes del ingreso a las pozas de sedimentación con el objetivo de provocar una mayor colisión entre la partícula suspendida y el polímero para que posteriormente sedimente por gravedad dentro del sistema.

La aplicación se realiza con ayuda de algún accesorio de medición donde se pueda manipular la dosis en L/min o sus equivalentes. **(DOC03)**. En la figura 5 se muestra la curva de turbidez versus dosis de floculante.

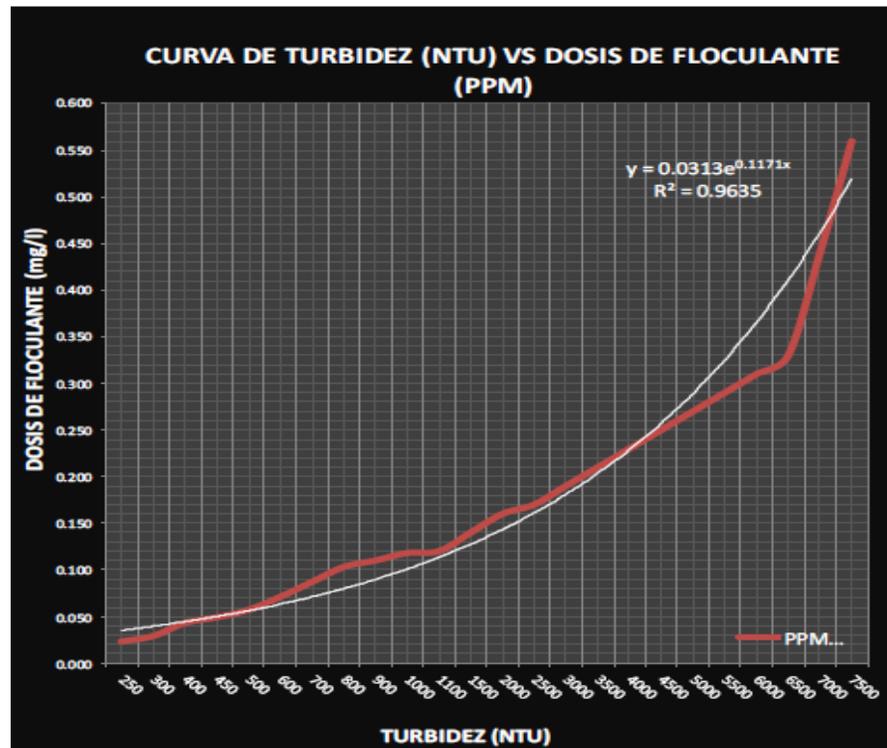


Figura N° 5: Curva de turbidez (NTU) VS Dosis de Floculante

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013 (DOC03)

b. Proceso de Coagulación

Según el documento *“Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)”*: Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

En la Figura N° 6 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de

sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

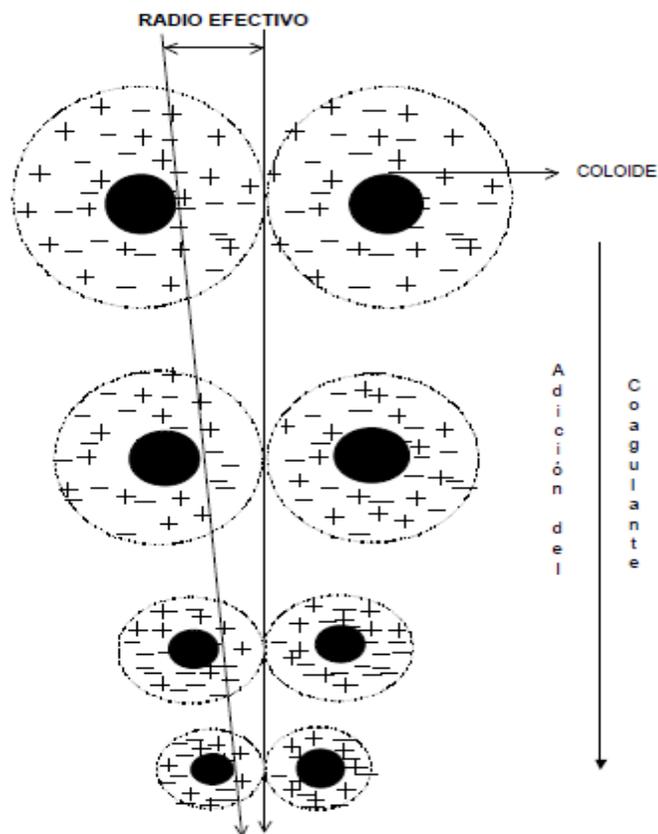


Figura N° 6: Proceso de Coagulación

Fuente: Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000) (DOC06)

b.1. Coagulantes Utilizados

Walter Weber (2003) menciona que: “Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.”

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Polielectrolitos.

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro, cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

b.2. Factores que Influyen en la Coagulación

Para Miguel Rigola L. (1989), es necesario tener en cuenta ciertos factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

Influencia del pH

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución. Es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera de rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

Influencia de la Temperatura del Agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Influencia de la Dosis de Coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

Influencia de Mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondientes.

Influencia de la Turbiedad

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.

Cuando la turbiedad aumenta la cantidad de coagulante a adicionar no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta. Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.

b.3. Etapas o Fases de la Coagulación

Según “*Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013*”; el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto en el que se presenta las siguientes etapas:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

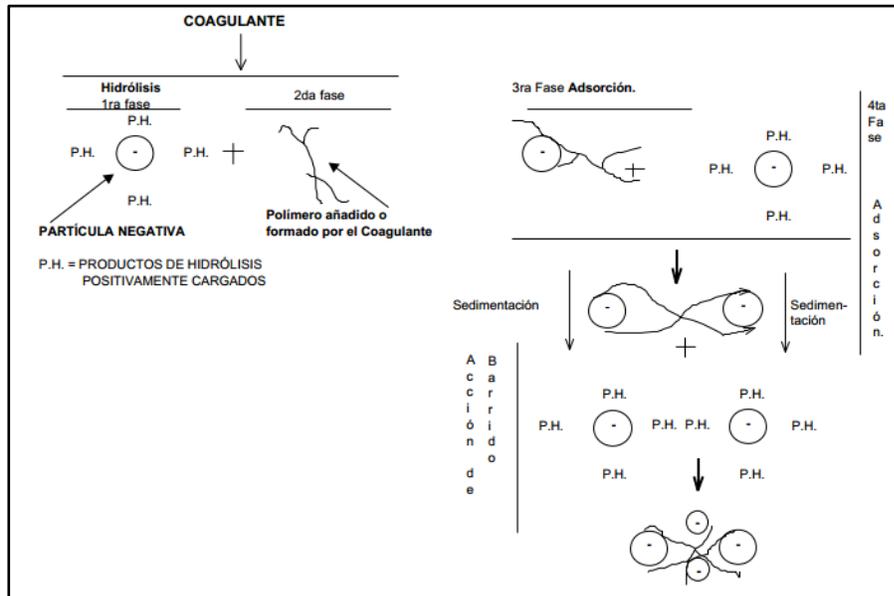


Figura N° 7: Fases de la Coagulación.

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego (2013)

b.4. Tipos de Coagulación

Según el documento “*Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)*”, se presentan dos tipos básicos de coagulación:

Coagulación por Adsorción: Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.

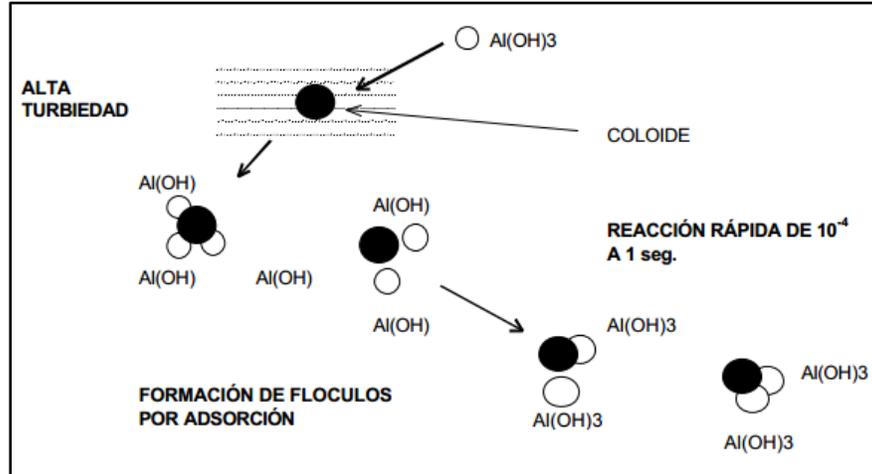


Figura N° 8: Coagulación por Adsorción.

Fuente: Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)

Coagulación por Barrido: Se presenta cuando el agua es clara (baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

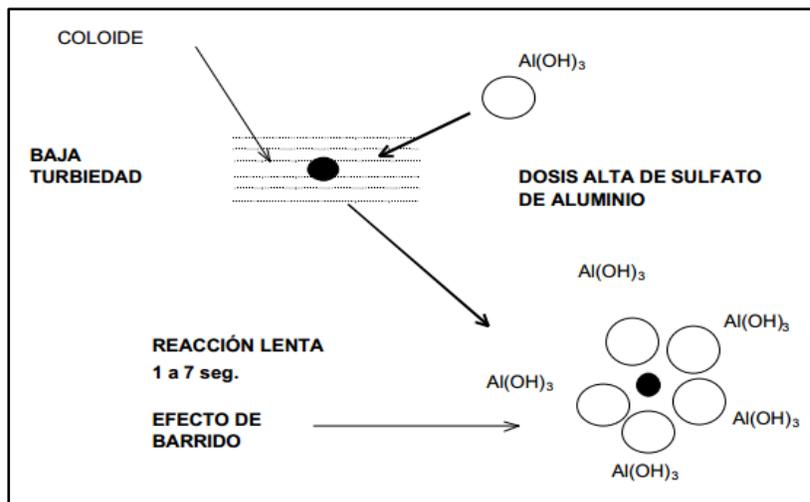


Figura N° 9: Coagulación por Barrido.

Fuente: Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)

b.5. Dosificación del coagulante

Según “Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013”; se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando: La dosis del coagulante que se adicione al agua sea en forma constante y uniforme en el área de mezcla rápida (zona de mayor turbulencia) tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua. **(DOC03)**

En la Figura 10 se muestra la curva de turbidez vs dosis de coagulante.

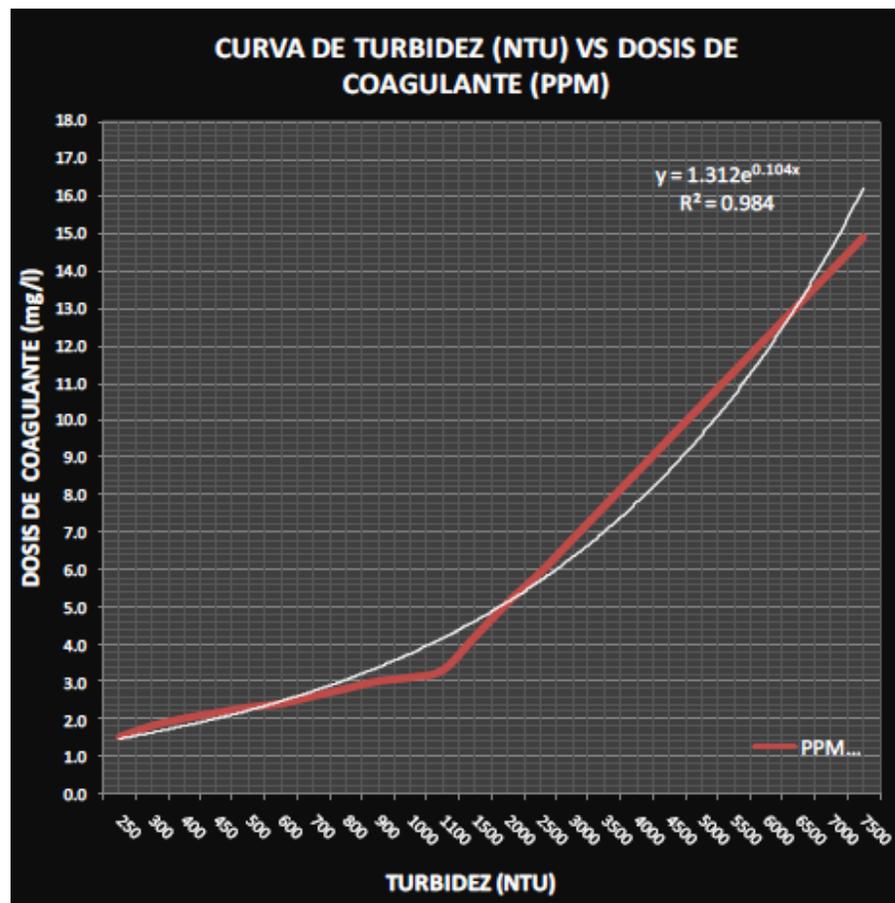


Figura N° 10: Curva de turbidez (NTU) VS Dosis de Coagulante

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013

II.4. Sistemas de control

CREUS SOLÉ, Antonio. (2011) menciona que: Un sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de lazo de control. El lazo puede ser abierto (Fig. 9) o bien cerrado (Fig. 10).

II.4.1. Sistemas de Control en Lazo Abierto

OGATA, Katsuhiko (2003) menciona que: Son los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas.

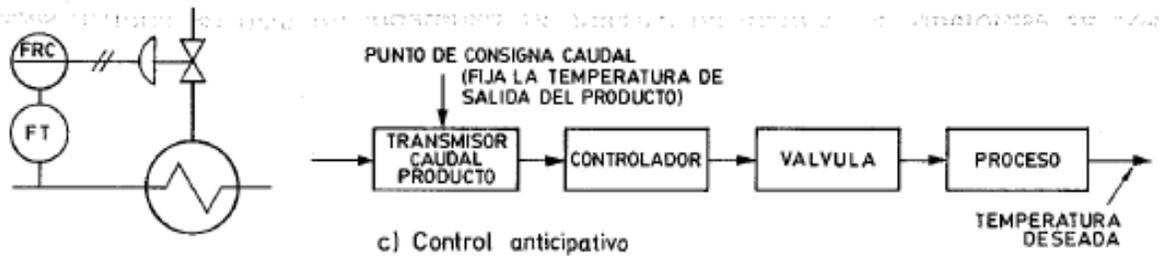


Figura N° 11: Sistema de Control en lazo abierto

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). Instrumentación Industrial

II.4.2. Sistemas de Control en Lazo Cerrado

OGATA, Katsuhiko (2003) menciona que: Es un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

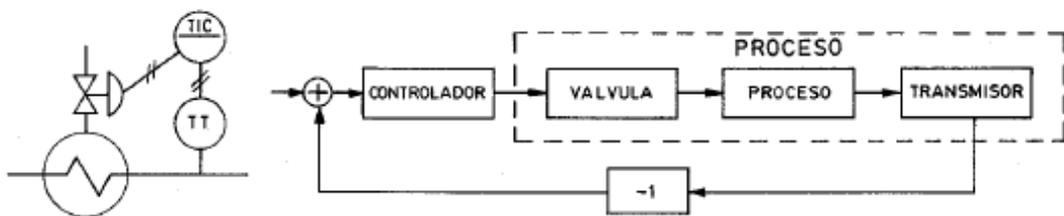


Figura N° 12: Sistema de Control en lazo cerrado

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). Instrumentación Industrial

II.4.3. Comparación entre Sistemas de Control en Lazo Cerrado con Sistemas en Lazo Abierto

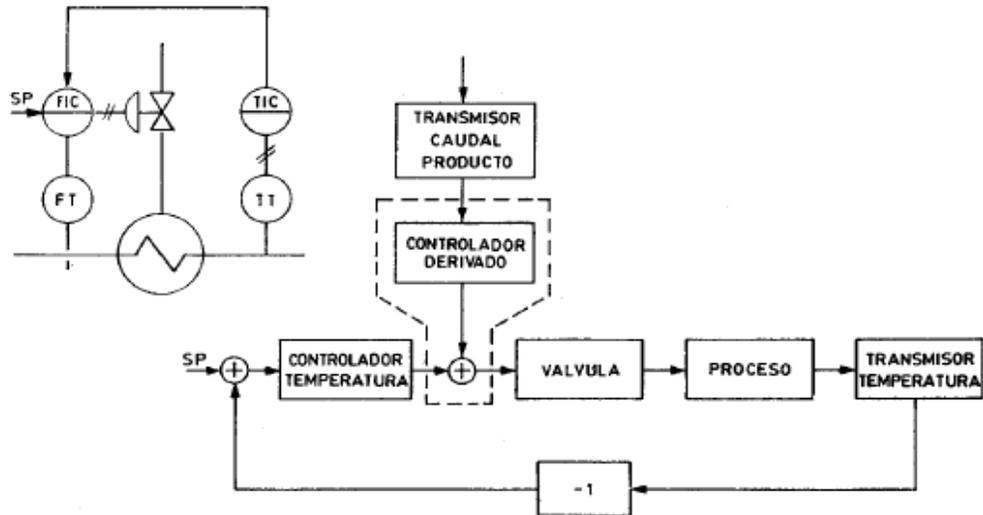
OGATA, Katsuhiko (2003) menciona que: Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer esto en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es un gran problema en un sistema en lazo cerrado, que puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante.

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear control en lazo abierto. Los sistemas en lazo cerrado son ventajosos solo cuando hay perturbaciones y/o variaciones imprescindibles en los componentes del sistema.

Obsérvese que la potencia nominal de salida determina en forma parcial el coste, peso y tamaño de un sistema de control. El número de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que el que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto el sistema en lazo cerrado suele tener más costos y potencias más grandes. Por lo general una combinación adecuada de controles en lazo abierto y cerrado es menos costosa y

ofrecerá un comportamiento satisfactorio del sistema global. Así como se muestra en la Figura 13.



9.55 Control de realimentación y anticipativo combinados en un intercambiador de temperatura.

Figura N° 13: Combinación de un Sistema de Control en lazo abierto y un sistema de control en lazo cerrado

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). Instrumentación Industrial

II.5. Automatización

En la página web de Universidad del País Vasco menciona que: La automatización es un sistema de control donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la

operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

La *Parte de Mando* suele ser un autómeta programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómeta programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. **(URL05)**

Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción. **(URL05)**

II.6. Controlador Lógico Programable

Según la página web de ABC electronics: El controlador lógico programable es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o

procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos, que trabaja bajo una secuencia de instrucciones lógicas, almacenada en memoria.

- **Procesador de comunicaciones:** Las comunicaciones del CPU se llevan a cabo por un circuito especializado con protocolos de tipo RS-232C, RS-485, etc. según el fabricante y la sofisticación del PLC.
- **Entradas y salidas:** Para llevar a cabo la comparación necesaria en un control automático, es preciso que el tico, es preciso que el PLC tenga comunicación al exterior. Esto se logra mediante una interface de entradas y salidas, el número de entradas y salidas va desde 6 en los PLC de tipo micro, a varios cientos en PLC modulares.

Las funciones básicas de un PLC son las siguientes:

- **Detección**
El PLC detecta señales del proceso de diferentes tipos.
- **Mando**
Elabora y envía acciones al sistema según el programa que tenga.
- **Dialogo hombre maquina**
Recibe configuraciones y da reportes al operador de producción o supervisores.
- **Programación**
El programa que utiliza permite modificarlo, incluso por el operador, cuando se encuentra autorizado.

Ventajas del PLC

Hablar sobre las ventajas que ofrece un PLC es un tema largo, pero aquí te presentare las más importantes:

- Ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, principalmente por su variedad de modelos existentes.
 - Menor tiempo empleado en su elaboración.
 - Podrás realizar modificaciones sin cambiar cableado.
 - La lista de materiales es muy reducida.
 - Mínimo espacio de aplicación.
 - Menor costo.
 - Mantenimiento económico por tiempos de paro reducidos.
- (URL01)**

II.7. Electroválvulas

En la página web de Distritec SA se menciona: Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos. Al circular corriente por solenoide genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

Las electroválvulas son más fáciles de controlar mediante programas de software. Es ideal para la automatización industrial.

Las electroválvulas se utilizan en gran número de sistemas y rubros industriales que manejan fluidos como el agua, el aire, el vapor, aceites livianos, gases neutros y otros. En particular, las electroválvulas suelen

implementarse en lugares de difícil acceso ya que pueden ser accionadas por medio de acciones eléctricas. También son utilizadas en vacío o hasta en altas presiones y altas temperaturas. Estas electroválvulas son las llamadas ON-OFF. **(URL 07)**

Tenemos también Electroválvulas Proporcionales que contrariamente a las electroválvulas “ON - OFF” con solamente dos posiciones es decir, “completamente cerradas” o “completamente abiertas”, éstas pueden modular la apertura en función de la variación de la señal eléctrica.

Esta característica les hace aptas para resolver problemas de aplicaciones en varios sectores como para hacer dosificaciones de coagulante o floculante. **(URL 08)**



Figura N° 14: Electroválvulas Proporcionales

Fuente: Página Web de Sirai **(URL08)**

II.8. Sensor de Turbidez

CREUS SOLÉ, Antonio. (2011) menciona que: El turbidímetro fue inventado por Jackson. Consiste en un tubo graduado que descansa en un soporte de vidrio, en cuya parte inferior se encuentra una vela encendida (Jackson Candle). La muestra del agua se introduce

lentamente en el tubo hasta que a su través deja verse la llama de la vela. Ha dejado de utilizarse actualmente la turbidez puede medirse mediante sensores estos son:

- Sensores de turbidez de transmisión (luz directa absorbida)
- Sensores de turbidez de dispersión (luz reflejada)
- Sensores de turbidez de relación (relación entre luz absorbida y luz reflejada)

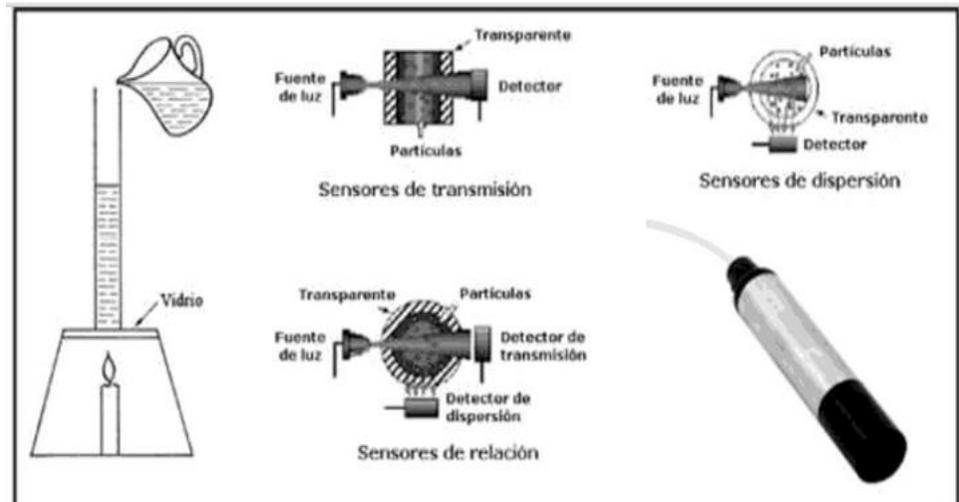


Figura N° 15: Sensores de Turbidez de transmisión, dispersión y relación.

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). Instrumentación Industrial

Para medir la turbidez se manejan los NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez) o los FNU (Unidad Nefelométrica Formazine), Dependiendo de la calibración se manejan diferentes unidades.

Para escoger un buen sensor de turbidez se necesita saber los siguientes rangos antes y después de los procesos de coagulación y floculación:

- Rangos de Turbidez
- Rangos de Sólidos suspendidos

También se debe tener en cuenta que señal se adecua al proceso si bien una señal de 0-5Vdc ó 4 – 20ma.

II.9. Bombas Venturi

Las bombas Venturi funcionan completamente sin partes móviles, excepto por el material que se mueve a través de ellas. Trabajan en el principio de conservación de la energía donde la alta energía cinética potencial en un fluido arrastra a otro fluido y luego impulsa la mezcla fuera de la zona de bombeo. Esta cualidad las hace útiles para el bombeo de líquidos con un alto porcentaje de sólidos tales como lodos o aguas residuales sin obstrucciones o contaminación de aparatos mecánicos.

Se necesita una corriente de agua a una presión extremadamente alta para accionar la bomba Venturi. Este sistema tiene un caudal mucho más bajo, pero una energía cinética mucho más alta para inyectar en la bomba, la cual sirve para varios propósitos. En primer lugar, la relación del volumen de alimentación de agua con el agua expulsada de la bomba es mucho menor, lo que ofrece una mayor eficacia y eficiencia. En segundo lugar, la corriente de alta energía es capaz de desintegrar cualquier sólido que haya en la bomba y en la línea de tubería de agua. Finalmente, la energía cinética de este sistema es tan alta que es capaz de auto limpiarse y permanecer sin atascos. **(URL09)**

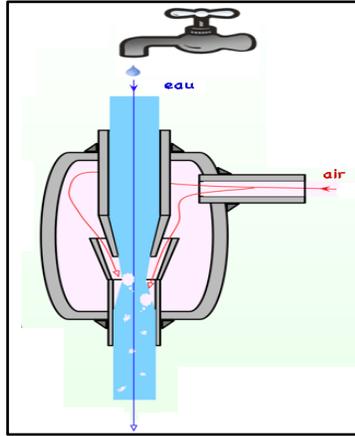


Figura N° 16: Bomba Venturi

Fuente: Pagina web Wikipedia

Funcionamiento

Estas bombas operan bajo el principio o efecto Venturi, donde un flujo de agua a presión está dirigido hacia la garganta de una Venturi convergente, donde induce un vacío parcial que entonces extrae el agua para llenar el vacío. La energía cinética de la corriente es mayor a la velocidad que se le imparte a la mezcla del líquido arrastrado y al líquido propulsor, y es proporcional a la masa de la mezcla. **(URL09)**

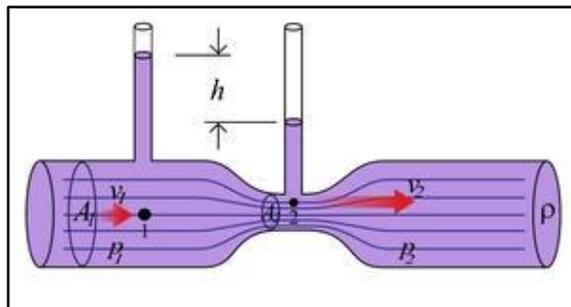


Figura N° 17: Principio de Funcionamiento Venturi

Fuente: Pagina Web Wikipedia

II.10. Bombas Centrífugas

CREUS SOLÉ, Antonio. (2011) menciona que: Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio; por lo general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios rodetes sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos.

Funcionamiento

La bomba centrífuga consiste de un elemento móvil, denominado impulsor, donde un cierto número de alabes, dirigen el movimiento de las partículas de líquido. El impulsor gira en una cámara cerrada denominada caja o carcasa debido a la energía conferida por un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna. El líquido contenido entre los alabes, por efecto de la fuerza centrífuga, incrementa su energía cinética la cual se transforma parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba. En la figura 18 se observa la bomba y sus partes.

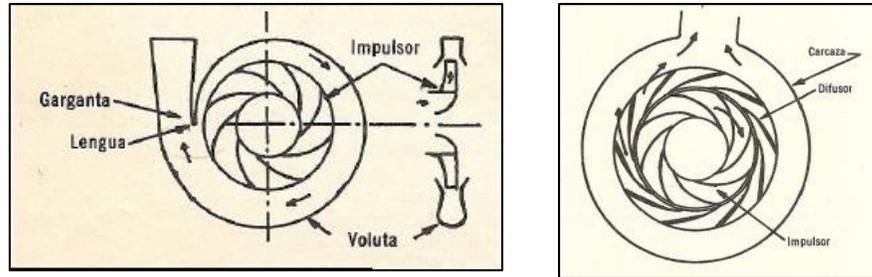


Figura N° 18: Bomba Centrífuga

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). Instrumentación Industrial

Partes principales

Están formadas por las siguientes partes:

- **Eje:** un rotor o impulsor, con la polea que transmite el movimiento desde el motor. Está soportado generalmente por rulemanes. La lubricación del eje se produce por aceite depositado en la caja de aceite, situado entre la polea y la carcasa.
- **Impulsor:** generalmente de bronce, formado por dos caras circulares que encierran las aspas que tienen forma semicircular, este se encuentra situado en el interior del cuerpo de la bomba construida en hierro fundido llamado carcasa o cuerpo.
- **Carcasa o cuerpo:** construida de hierro fundido.

II.11. Filtros de Grava

En el “Manual de Operaciones y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado – 2001 “el PhD. Leoncio F. Martinez menciona que los filtros de grava son muy utilizados cuando se dispone de aguas con altos niveles de partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen la particularidad de atrapar y retener niveles importantes de contaminantes sin aumentar significativamente la pérdida de carga, debido a que el

cuerpo filtrante (masa de grava) trabaja en 3 dimensiones: superficie y profundidad.

Estos consisten en dos o más estanques conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. El agua ingresa al estanque por arriba, pasa a través de la grava que actúa como medio filtrante y es colectada agua limpia en el fondo.

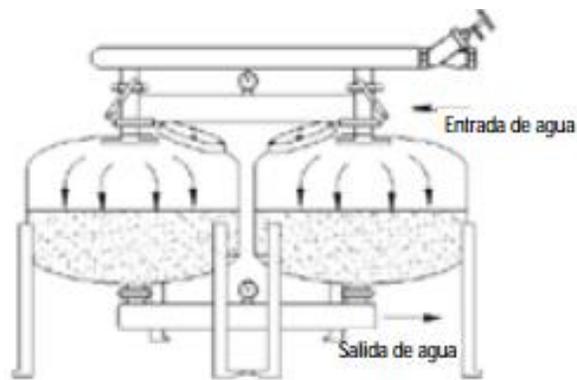


Figura N° 19: Esquema Filtro de grava de dos unidades.

Fuente: PhD. MARTINEZ BARRERA Leoncio (2001). Manual de Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado.

Leoncio Martinez también resalta que:

...“La capacidad de flujo de un filtro de grava está determinada por el diámetro y la tasa de filtrado expresado en unidades de longitud y caudal/área respectivamente. El diámetro de filtros se expresa en pulgadas y la tasa de filtración en metros cúbicos por hora y por metro cuadrado.

La calidad del agua puede clasificarse de acuerdo al tipo, tamaño y concentración de las partículas presentes. La calidad del agua después del filtrado es importante para asegurar el buen funcionamiento de todo el sistema de riego por un largo tiempo.”

II.11.1. Retrolavado

Para el retrolavado de los filtros, los estanques son sometidos en forma individual a un ciclo de flujo inverso. El agua que previamente ha pasado por uno o más filtros es utilizada para lavar el estanque que está en proceso de “retrolavado”.

Según el “Manual de Operaciones y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado – 2001”, Un caudal excesivo de retrolavado produce una expansión en volumen de la grava hasta un punto que se produce un arrastre de material fuera de filtro. Por otro lado un caudal pequeño no expandirá la grava lo suficiente como para permitir el arrastre de impurezas y el lavado de la grava.

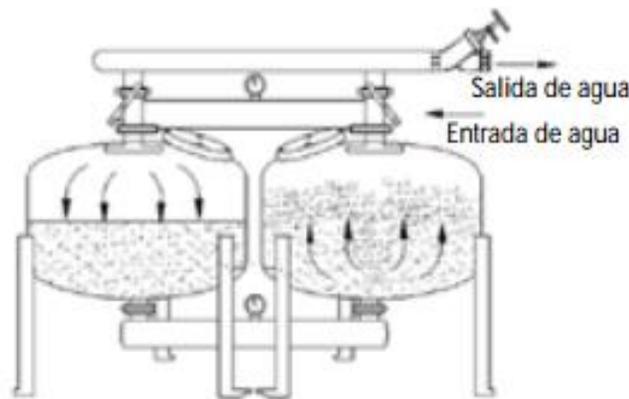


Figura N° 20: Filtros en paralelo durante retrolavado.

Fuente: PhD. MARTINEZ BARRERA Leoncio (2001). Manual de Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado.

II.11.2. Retrolavado Automatizado

Cuando la calidad del agua provoca que el retrolavado se efectúe más de dos veces por día, es necesario automatizar el proceso. Existen dos formas básicas de procedimiento:

- Por tiempo. Se estima que los filtros deben ser lavados cada determinado número de horas y para ello se utiliza un programador de riego y válvulas eléctricas para la operación.
- Por diferencia de presión. Hay sensores de presión instalados a la entrada y salida del filtro. Cuando la diferencia de presión alcanza el valor máximo permitido, el sistema de retrolavado se activa.

II.12. Filtro de Anillos

Anillos son discos de plásticos con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado. El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillos consecutivos. (Figura 21).

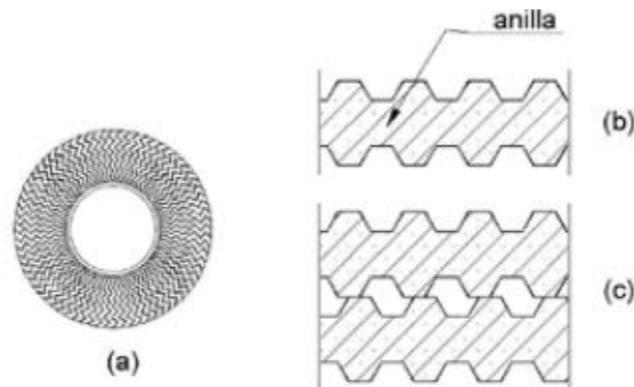


Figura N° 21: Anillo con ranuras (a), detalle de un anillo (b) y de dos en contacto (c).

Fuente: PhD. MARTINEZ BARRERA Leoncio (2001). Manual de Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado.

Dependiendo del número de ranuras de cada disco es la calidad del filtrado. La forma de las ranuras no es uniforme, por lo tanto, los pequeños ductos que se forman tienen diferentes secciones y tamaños.

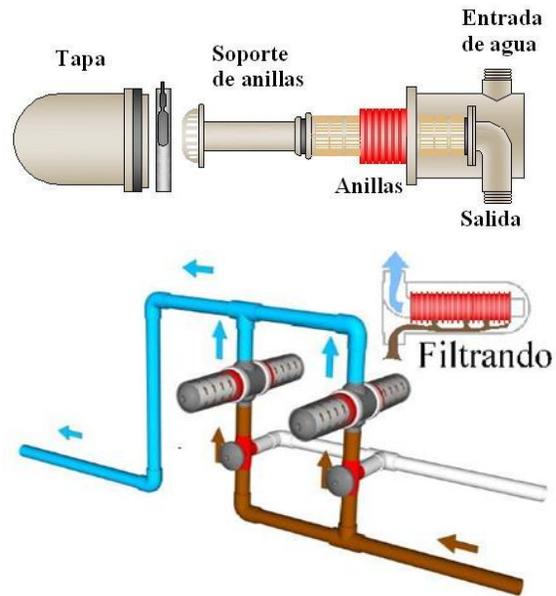


Figura N° 22: Sistema de Filtro de Anillos.

Fuente: PhD. MARTINEZ BARRERA Leoncio (2001). Manual de Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado.

CAPITULO III

III. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

III.1. Materiales e Instrumentos

III.1.1. Reporte de Concentraciones y Caudales de Inyección AVOPERU

Tabla N° 4: Registro de Concentración de solución madre y Caudal de inyección aplicados para Floculante y Coagulante - Diciembre 2014.

Registro de Aplicación de floculantes-coagulantes					
Responsable de Autorización:		Ing. Pedro Rios		 AVO PERU 2100P, Marca Hach Company	
Responsable de Aplicación:		Elmer Lopez			
Responsable de Sedimentado:		Juan Céspedes			
Responsable de Lectura:		Elmer López			
Marca de turbidímetro:		2100P, Marca Hach Company			
FECHA	HORA	Presedimentador - Floculante		Sedimentador - Coagulante	
		C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)
01/12/2014	08:00 a.m.	300	6	9900	6
	12:00 p.m.	300	6	9900	7
	04:00 p.m.	300	6	9900	7.5
02/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	7
	12:00 p.m.	300	8	9900	7
	04:00 p.m.	300	8	9900	6
03/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	6
	12:00 p.m.	300	8	9900	6
	04:00 p.m.	300	8	9900	7
04/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	7
	12:00 p.m.	300	8	9900	7
	04:00 p.m.	300	8	9900	6.5
05/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	6
	12:00 p.m.	300	8	9900	6
	04:00 p.m.	300	8	9900	6.5
06/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	7.5
	12:00 p.m.	300	8	9900	6.5
	04:00 p.m.	300	8	9900	7.5
07/12/2014	08:00 a.m.	300	8	9900	6.5
	12:00 p.m.	300	8	9900	6
	04:00 p.m.	300	10	9900	6.5
08/12/2014	08:00 a.m.	300	10	9900	6.5
	12:00 p.m.	300	10	9900	6.5
	04:00 p.m.	300	10	9900	6.5
09/12/2014	08:00 a.m.	300	10	9900	6.5
	12:00 p.m.	300	10	9900	6.5
	04:00 p.m.	300	10	9900	7
10/12/2014	08:00 a.m.	300	10	9900	6.5
	12:00 p.m.	300	10	9900	6.5
	04:00 p.m.	300	10	9900	7
11/12/2014	08:00 a.m.	300	10	9900	6
	12:00 p.m.	300	10	9900	6.5
	04:00 p.m.	300	10	9900	7
12/12/2014	08:00 a.m.	300	10	9900	7
	12:00 p.m.	300	10	9900	8
	04:00 p.m.	300	12	9900	6.5
13/12/2014	08:00 a.m.	300	12	9900	6
	12:00 p.m.	300	12	9900	8
	04:00 p.m.	300	12	9900	7
14/12/2014	08:00 a.m.	300	12	9900	7
	12:00 p.m.	300	12	9900	6
	04:00 p.m.	300	12	9900	6.5

Fuente: Registro de Aplicación Floculante - Coagulante

III.1.2. Reporte de Consumo de agua AVO PERU

Tabla N° 5: Registro de Caudal de consumo - Diciembre 2014.

Registro de Consumo de Agua					
Responsable de Autorización:		Ing. Pedro Rios		 AVO PERU	
Responsable de Aplicación:		Elmer Lopez			
Responsable de Sedimentado:		Juan Céspedes			
Responsable de Lectura:		Elmer López			
Marca de turbidímetro:		2100P, Marca Hach Company			
FECHA	HORA	Presedimentador - Floculante		Sedimentador - Coagulante	
		C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h	C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h
01/12/2014	08:00 a.m.	300	4291	9900	3220
	12:00 p.m.	300	4228	9900	3398
	04:00 p.m.	300	4542	9900	3420
02/12/2014	08:00 a.m.	300	4297	9900	2948
	12:00 p.m.	300	4361	9900	3010
	04:00 p.m.	300	4289	9900	2935
03/12/2014	08:00 a.m.	300	4331	9900	3060
	12:00 p.m.	300	4308	9900	2940
	04:00 p.m.	300	4277	9900	3050
04/12/2014	08:00 a.m.	300	4232	9900	3090
	12:00 p.m.	300	4233	9900	3112
	04:00 p.m.	300	4199	9900	3100
05/12/2014	08:00 a.m.	300	4171	9900	3135
	12:00 p.m.	300	4315	9900	3300
	04:00 p.m.	300	4321	9900	3295
06/12/2014	08:00 a.m.	300	4120	9900	3581
	12:00 p.m.	300	4058	9900	3647
	04:00 p.m.	300	4052	9900	3620
07/12/2014	08:00 a.m.	300	4036	9900	2895
	12:00 p.m.	300	3959	9900	3136
	04:00 p.m.	300	4489	9900	2579
08/12/2014	08:00 a.m.	300	4388	9900	2638
	12:00 p.m.	300	4318	9900	2717
	04:00 p.m.	300	4300	9900	2775
09/12/2014	08:00 a.m.	300	4274	9900	2880
	12:00 p.m.	300	4269	9900	2873
	04:00 p.m.	300	4261	9900	2912
10/12/2014	08:00 a.m.	300	4147	9900	2920
	12:00 p.m.	300	4137	9900	2855
	04:00 p.m.	300	4095	9900	2994
11/12/2014	08:00 a.m.	300	4199	9900	3120
	12:00 p.m.	300	4065	9900	3348
	04:00 p.m.	300	3741	9900	3591
12/12/2014	08:00 a.m.	300	4036	9900	3090
	12:00 p.m.	300	3914	9900	3953
	04:00 p.m.	300	4331	9900	2897
13/12/2014	08:00 a.m.	300	4315	9900	2823
	12:00 p.m.	300	4231	9900	2930
	04:00 p.m.	300	3970	9900	3092
14/12/2014	08:00 a.m.	300	4058	9900	2996
	12:00 p.m.	300	3748	9900	3100
	04:00 p.m.	300	3830	9900	3200

Fuente: Registro de Consumo de agua.

III.1.3. Manual de Tratamiento de Agua para Riego - JURPDRMVCH

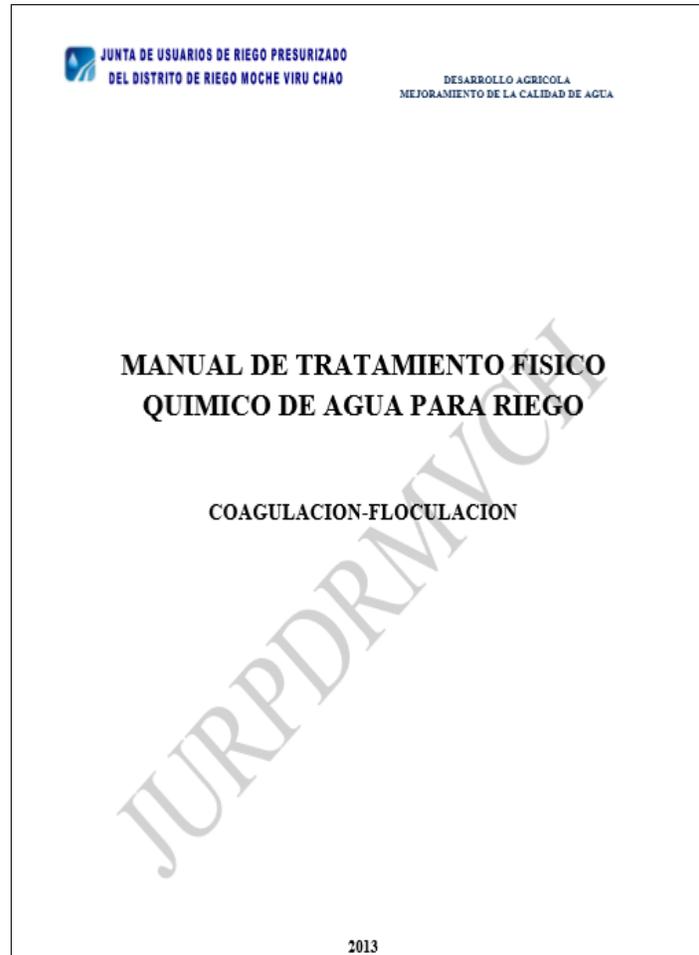


Figura N° 23: Manual de Tratamiento de Agua

Fuente: Junta de Usuarios de Riego Presurizado del Distrito de Riego Moche Viru

III.1.4. Manual de Operaciones en Campo – AVO PERU

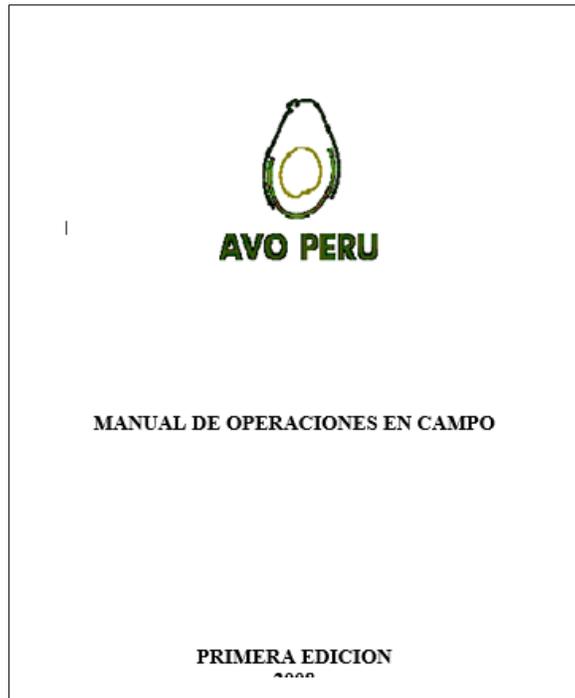


Figura N° 24: Manuel de Operaciones en Campo

Fuente: AVO PERU SAC

III.1.5. Manual de Usuario Turbidímetro HACH 2100Q

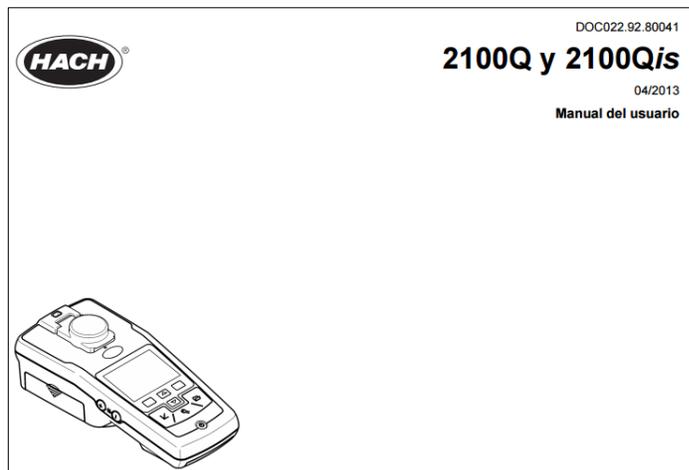


Figura N° 25: Manual de Turbidímetro

Fuente: Web HACH

III.1.6. Familiarización con el software AUTOCAD P&ID

Definición

¿Qué es el AUTOCAD P&ID?

Según el AutoCAD P & ID Guía de introducción se menciona que AutoCAD P&ID es un software que te permite crear, modificar y gestionar diagramas de instrumentación y tuberías. Construido en la plataforma AutoCAD, AutoCAD P&ID es conocido y fácil de utilizar para los diseñadores e ingenieros, de tal manera que los equipos de diseño pueden empezar inmediatamente con muy poca o sin ninguna capacitación. Se pueden simplificar las tareas cotidianas para mejorar la productividad, mientras se trae la información de líneas y componentes directamente a los dibujantes a medida que trabajan con reportes, ediciones, intercambios, y seguimientos sencillos de la información de su diseño, sus proyectos pueden iniciar más fácilmente, funcionar mejor, y terminar más rápido.

A continuación el flujo de cómo realizar un diagrama en el AUTOCAD P&ID:

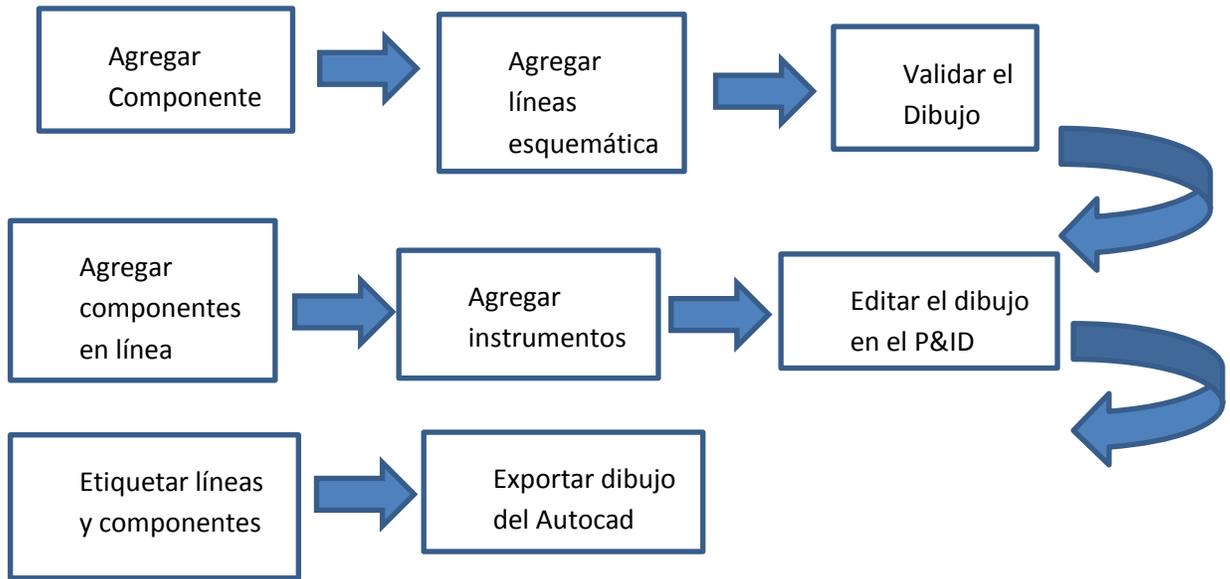


Figura N° 26: Diagrama de Flujo básico de uso del P&ID

Fuente: Elaboración Propia

Librerías del Autocad P&ID:

➤ Componentes:

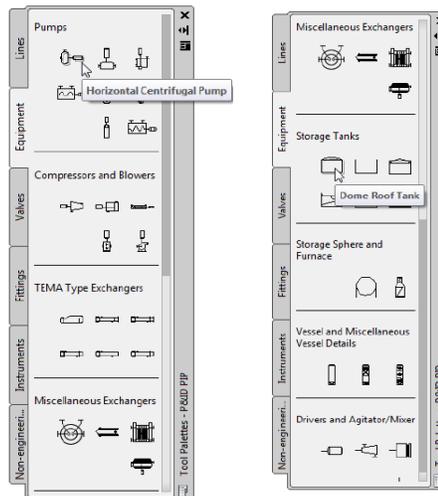


Figura N° 27: Librería de Componentes del P&ID

Fuente: Autocad P&ID Guía de Introducción.

➤ Líneas Esquemáticas:

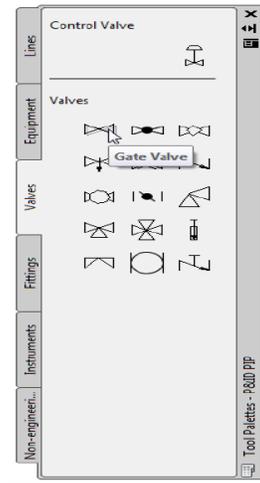


Figura N° 28: Librería de Líneas Esquemáticas del P&ID
Fuente: Autocad P&ID Guía de Introducción.

➤ Componentes en Línea:

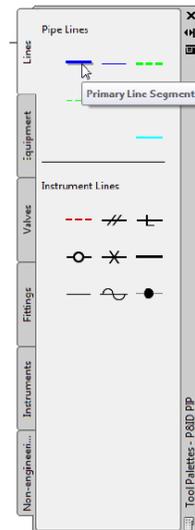


Figura N° 29: Librería de Componentes en Línea del P&ID
Fuente: Autocad P&ID Guía de Introducción.

Instrumentos:

Se selecciona el instrumento que se va a utilizar:

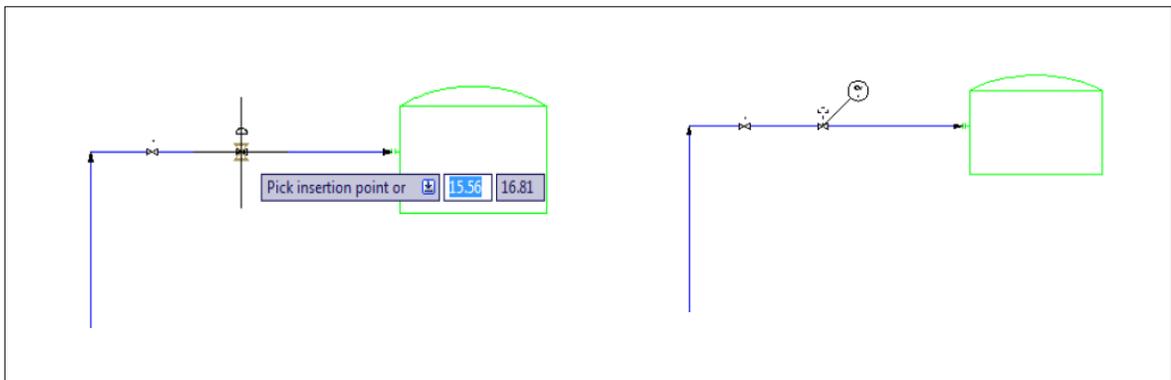
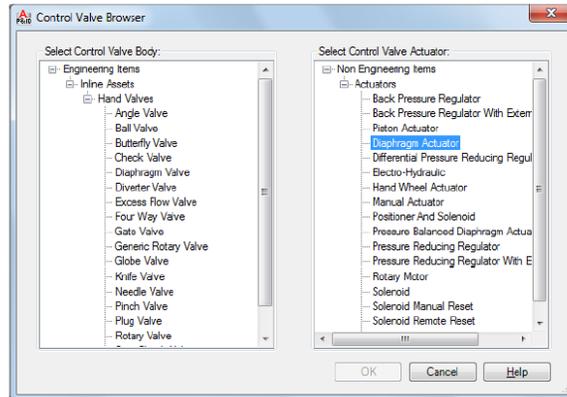


Figura N°30: Librería de Instrumentos del P&ID

Fuente: Autocad P&ID Guía de Introducción.

Para agregar notas en componentes y líneas:

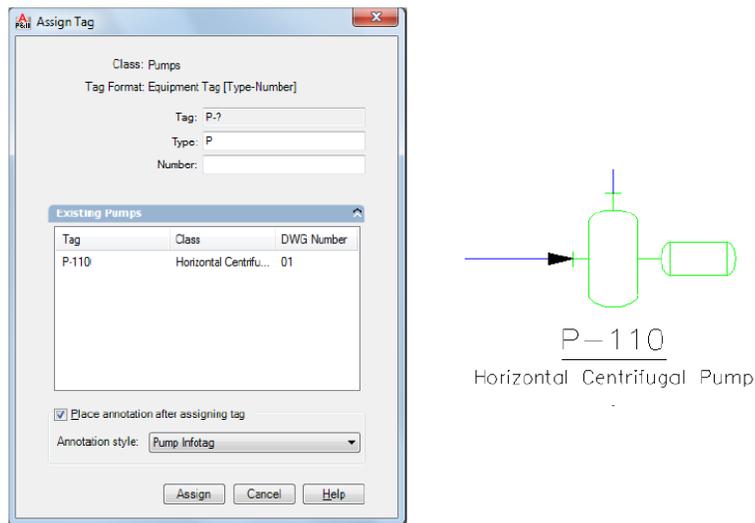


Figura N° 31: Asignación de notas y etiquetas del P&ID

Fuente: Autocad P&ID Guía de Introducción.

III.2. Procedimiento y Análisis de datos

III.2.1. Estudio del Sistema y Proceso para Tratamiento de Agua de riego

- Basados en el “Manual de Tratamiento de Agua para Riego” se estudió el sistema de tratamiento de agua donde se lleva a cabo los procesos actuales de coagulación y floculación, identificando cada una de sus etapas junto con los equipos utilizados.

III.2.1.1. Sistema de Tratamiento de Agua para riego

El sistema parte con la entrada de agua desde el canal madre hasta llegar a la salida del sistema de filtrado, pasando por toda la infraestructura de tratamiento compuesto por las siguientes partes:

Canal madre: Es el canal principal que pertenece a la etapa I del Proyecto Chavimochic denominado el sector “La Agonía”. Aquí se toma la primera muestra de agua para determinar la dosis de floculante.

Compuerta de ingreso: Capta el agua a tratar del canal madre para su ingreso al desarenador. Se comunica con éste a través de la cámara de dosificación.



Figura N° 32: Compuerta de ingreso desde canal madre

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

Cámara de Dosificación 1: Cámara de concreto que deriva el agua a tratar hacia el desarenador. Es en donde se realiza la inyección de floculante y está diseñado para originar turbulencia en el agua; favoreciendo la mezcla de las sustancias químicas utilizadas.



Figura N° 33: Cámara de Dosificación 1

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC.

Desarenador: Se encarga de almacenar el agua con floculante añadido en un primer momento; tiene como finalidad reducir la velocidad de la masa de agua y la turbulencia, permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo, de donde es retirado periódicamente. Aquí se da lugar al segundo punto de muestreo para determinar la dosis de coagulante.



Figura N° 34: Desarenador

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

Cámara de Dosificación 2: Cámara de concreto a modo de pequeño canal de paso, deriva el agua floculada hacia la poza de sedimentación. Es en donde se realiza la inyección de coagulante, diseñado para originar turbulencia en el agua favoreciendo la mezcla de las sustancias químicas utilizadas.



Figura N° 35: Cámara de Dosificación 2

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

Poza de Sedimentación: Recepciona los sólidos que estuvieron inicialmente suspendidos que, por acción de los insumos químicos inyectados, sedimentan en el fondo de la poza. Tiene una capacidad de 8000 m³ de agua y va abasteciendo a la cámara de carga a medida que se consume el agua a lo largo de las horas de riego.



Figura N° 36: Sedimentador

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

Cámara de carga: Capta el agua tratada de la parte superficial de la poza de sedimentación que será destinada a riego presurizado después de pasar por el sistema de filtros. Aquí se ubica el último punto para la

toma de muestras para controlar la reducción final del nivel de turbidez que va hacia campo.

Filtrado: La estación de filtrado cuenta con 2 tipos de filtros instalados para abastecer el riego a 2 módulos. La primera clase está formada por “filtros de grava” seguidos de “filtros de anillos”. El sistema de filtrado abarca el agua proveniente de la matriz la cual es una tubería de acero 8”, trabaja con caudales entre los 280 a 300 m³/h y a una presión de hasta 5 bares.

El primer grupo -filtros de grava, se distribuyen en dos filas en paralelo cada una de 4 filtros haciendo un total de 8. Son de la serie F-600, están recubiertos electrostáticamente con polvo de epoxi poliéster de un grosor de 150-200 micras. La profundidad de la capa de lecho filtrante es de 40 cm, trabajan hasta 8 bares de presión a temperaturas de 65°C.

Los filtros de anillo –el segundo grupo, son de 4 canales de un solo bloque. Cada canal presenta dos filtros de anillos entre 120 y 140 micras. Trabaja a una presión de hasta 8 bares y la limpieza se realiza de forma manual, con agua a presión sobre cada cartucho.

La figura N°37 muestra un esquema general de la distribución de las partes del sistema de tratamiento de agua de riego y los puntos donde se toman las muestras para determinar el nivel de turbidez.

La distribución real de las pozas de sedimentación que pertenecen a la empresa AVO PERU S.A.C. se detalla en la figura N°38 mostrando cada una de las partes antes mencionadas.

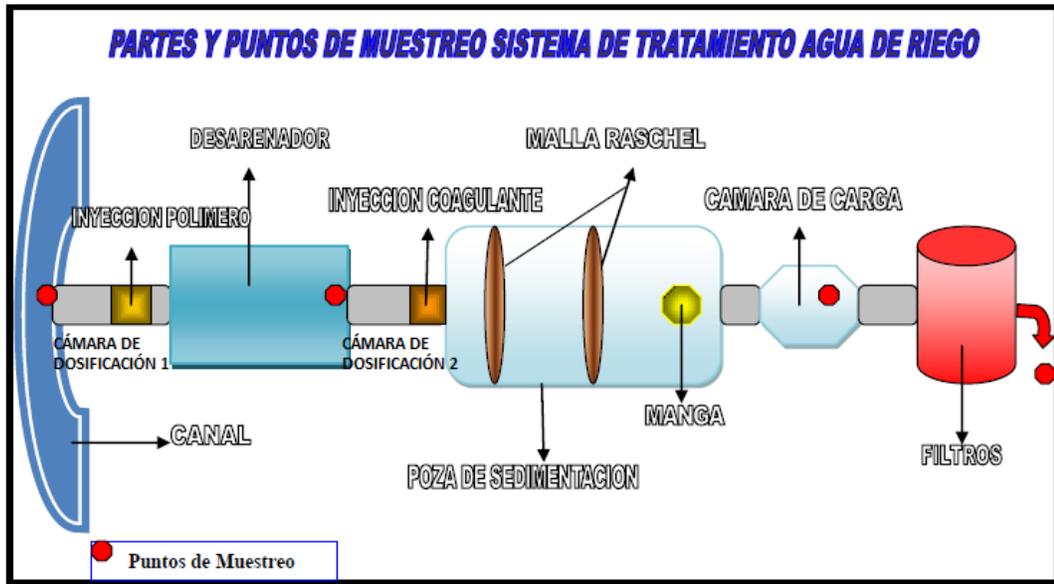


Figura N° 37: Partes y Puntos de muestreo en el Tratamiento de agua

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013.

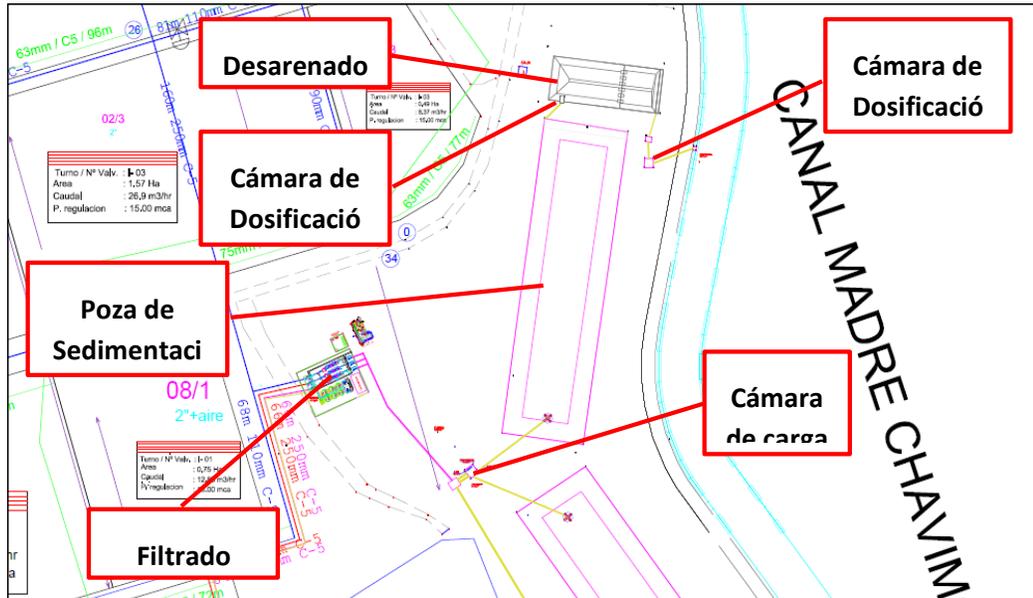


Figura N° 38: Plano del Sistema de Tratamiento de agua en la empresa AVO PERU

Fuente: Área de Desarrollo de Proyectos – AVO PERU

III.2.1.2. Descripción de los Procesos de Floculación y Coagulación

De acuerdo con el “Manual de Operaciones de la empresa AVO PERU – 2008”, los procesos de Floculación y Coagulación se realizan en las cámaras de dosificación 1 y 2 respectivamente, se utiliza Polímero como floculante y Sulfato Férrico como coagulante. El Polímero es de tipo aniónico (cargado negativamente) de elevado peso molecular, cuya función es captar o aglomerar los sólidos suspendidos, especialmente limos, formando puentes entre una partícula y otra. El Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$) funciona de forma estable en intervalos de pH de 4 a 11 produciendo flóculos grandes y densos que decantan rápidamente.

a. Etapas del Proceso

El “Manual de Operaciones de la empresa AVO PERU – 2008” nos indica que los procesos de floculación y coagulación se dividen en 3 etapas:

a.1. Medición

La etapa de medición consiste en dar lectura a los niveles de turbidez en tres puntos del sistema de tratamiento de agua (puntos de muestreo), durante tres veces al día (8 a.m. 12 m y 4 p.m.). Dos puntos de muestreo son para determinar la dosificación y el tercer punto como medida de control. Ver figura N° 37.

El primer punto de muestreo es del canal madre y permite realizar la inyección de floculante determinando la dosis requerida a partir del nivel de turbidez ahí medido. El segundo punto de muestreo es al final del desarenador, al medir la turbidez, permite determinar la dosis requerida para la inyección de coagulante. El tercer y último punto de muestreo se

lleva a cabo en la cámara de carga, y sirve para llevar un control del nivel de turbidez final obtenido luego de todo el proceso.

a.1.1. Elementos del Sistema de Medición

El sistema de medición está determinado principalmente por:

Las muestras: Son tomadas directamente de los puntos de muestreo en pequeños frascos limpios y transparentes con una capacidad de 15 mL para ser introducido en el turbidímetro.

Turbidímetro: Es el instrumento para medir los niveles de turbidez de las muestras tomadas, tiene como unidad el NTU. Se utiliza el turbidímetro portátil HACH 2100Q que tiene un rango entre 0–1000 NTU para uso de campo, funciona con baterías y los datos pueden ser guardados y transferidos en una unidad USB. Tiene una exactitud de $\pm 2\%$ y una resolución de 0,01 NTU.



Figura N° 39: Sensor de turbidez HACH 2100Q

Fuente: Web de Hach-Lange

a.2. Preparación

Esta etapa consiste en la preparación de la solución madre tanto de floculante como de coagulante a ser aplicada. Las cantidades de concentración en ppm (partes por millón) de la solución está determinado por el Departamento de Producción, quien tiene en cuenta factores como el pH y la temperatura del agua a tratar. Las concentraciones actuales de floculante y coagulante están dadas en “gr de soluto/L de Solvente” y “L de soluto/L de solvente” respectivamente. Para determinar la concentración en ppm se debe:

Floculante:

$$\frac{\text{Floculante (gr)}}{\text{Solvente agua (L)/1000}} = \frac{\text{gr}}{\text{m}^3} (\text{ppm})$$

Coagulante:

$$\frac{\text{Coagulante (L)}}{\text{Solución (L)}} \times 1\,000\,000 = \text{ppm}$$

El Polímero al ser disuelto forma una sustancia semilíquida o gelatinosa, la consistencia o viscosidad de la solución estará directamente relacionada con la cantidad de contaminantes suspendidos en el agua y el caudal de agua a tratar.

a.2.1. Elementos del Sistema de Preparación

La preparación de las soluciones madres son realizadas junto a las cámaras de dosificación (1 y 2) y está formado por los siguientes elementos:

Tanque de Preparación de la Solución Madre: El tamaño del tanque depende del caudal de agua a tratar. En éste se prepara la solución madre a partir de los insumos químicos comerciales

utilizados en tratamiento. Por lo general tienen una capacidad de 2500 L. exteriormente presenta una válvula de salida que regula el caudal de solución que se desea inyectar.

Batidor: Es eléctrico y consiste en un motor pequeño de 1.5 HP al que se le acopla una hélice a su eje y se le da un promedio de batido de 15 min.

a.3. Dosificación

La etapa de dosificación consiste en determinar, regular y aplicar la dosis necesaria de la solución madre de floculante y coagulante a un caudal exacto (L/min), de tal manera que los niveles de turbidez sean reducidos eficazmente. La aplicación se realiza en un punto de mayor turbulencia antes del ingreso al desarenador (cámara de dosificación 1) o pozas de sedimentación (cámara de dosificación 2) con el objetivo de provocar una mayor colisión entre la partícula suspendida y el polímero o coagulante para que posteriormente sedimente por gravedad dentro del sistema. Las dosis se adicionan de forma constante y uniforme tal que la solución sea completamente dispersada y mezclada con el agua.

Por cada nivel de turbidez, existe una dosis referencial de floculante o coagulante que permita obtener un agua de calidad (Anexo 01 y 02), la cual junto con la siguiente fórmula, determinan el caudal de inyección:

$$C_1 \times Q_1 = C_2 \times Q_2$$

Dónde C_1 : Concentración de la Solución Madre (ppm o gr/m³)
 Q_1 : Caudal de aplicación o inyección (L/min)
 C_2 : Concentración según Cuadro Referencial (ppm o grm/m³)
 Q_2 : Caudal de agua a tratar (L/min)

Luego de determinar el caudal de inyección se procede a regular la válvula para aplicar la dosis, esta regulación se realiza ante cada cambio del nivel de turbidez.

a.3.1. Elementos del Sistema de Dosificación

Jarra graduada: Recepciona la solución madre que fluye desde el tanque y es punto clave que permite medir el caudal de solución que deseamos aplicar en litros por minuto y evitar sobredosificaciones.



Figura N° 40: Regulación de dosis mediante jarra graduada

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

Tubería de inyección: Denominada también como flauta, tubería de PVC presenta a lo largo agujeros entre 0.3 a 0.5 cm de diámetro, a través de los cuales fluye la solución madre.



Figura N° 41: Elementos para la dosificación e inyección

Fuente: Imágenes AVO PERU SAC

III.2.2. Recolección de Datos

III.2.2.1. Concentración y Dosis de Inyección de Floculante y Coagulante

- Las concentraciones de la solución madre preparadas y los caudales de inyección de dosificación tanto para el Floculante como para el Coagulante, fueron solicitadas al Departamento de Producción de la empresa. Las cantidades corresponden al horario de trabajo establecido para la toma de muestras según el manual de operación y fueron establecidos en unidades de ppm (partes por millón) aplicando las fórmulas de conversión.

Se utilizaron los Registros de Aplicación de Coagulante – Floculante correspondientes a dos semanas del mes de Diciembre del 2014 representada en la tabla N° 6; donde el floculante muestra concentraciones de 600gr/2000L y el coagulante 10L/1000L.

III.2.2.2. Caudales de Consumo de Agua

- Se registraron los caudales de consumo de agua a lo largo del riego durante cada hora de muestreo. Estos valores representan el caudal de agua a tratar en m³/h y son obtenidos de la base de datos del controlador.

Se utilizaron los registros de Consumo de agua durante dos semanas del mes de Diciembre del 2014 representada en la tabla N° 6.

III.2.2.3. Niveles de Turbidez de Entrada

- Se tomaron lecturas del nivel de turbidez en el punto de muestreo que corresponde al canal madre durante horas consecutivas a lo largo del riego; incorporando las lecturas de NTU realizadas por el personal de laboratorio durante los horarios de trabajo ya establecidos (8 a.m. 12 m. y 4 p.m.). Las muestras fueron tomadas en frascos de 15mL y medidas con el turbidímetro portátil HACH 2100Q.

III.2.2.4. Niveles de Turbidez de Salida o Pre – Filtrado

Se llevó a cabo las mediciones del nivel de turbidez en los puntos de muestreo posteriores a la inyección de floculante y coagulante (ver figura N°26) durante las horas establecidas para la toma de muestras según el manual de operaciones de la empresa (8 a.m. 12 m. y 4 p.m.); como también en las horas consecutivas entre dichos horarios.

Los datos fueron registrados y se elaboró una tabla resumen para todas las horas de muestreo representado en la tabla N° 6.

Tabla N° 6: Tabla Resumen para los horarios de Muestreo - Diciembre 2014

FECHA	HORA	Agua de Canal		Presedimentador - Floculante				Sedimentador - Coagulante			
		Turbidez de Ingreso (NTU)	Color	C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	Turbidez de Salida (NTU)	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h	C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	Turbidez de Salida (NTU)	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h
01/12/2014	07:00 a.m.	280	ceniza	300	6	25.4	4253	9900	6	18.6	2870
	08:00 a.m.	275.7	ceniza	300	6	34.8	4291	9900	6	15.4	3220
	09:00 a.m.	297	ceniza	300	7	30.3	4087	9900	6	16.2	2940
	11:00 a.m.	275	ceniza	300	6	28	4290	9900	7	19.14	2850
	12:00 p.m.	295	ceniza	300	6	37.6	4228	9900	7	10.1	3398
	01:00 p.m.	268	ceniza	300	6	28.2	4298	9900	7	18.2	2870
	03:00 p.m.	289	ceniza	300	7	32.5	4200	9900	7	19.3	3100
04:00 p.m.	220	ceniza	300	6	37.1	4542	9900	7.5	10.5	3420	
02/12/2014	07:00 a.m.	275.9	ceniza	300	6	26.9	4288	9900	6.5	19.7	2880
	08:00 a.m.	266.7	ceniza	300	8	30.7	4297	9900	7	16.1	2948
	09:00 a.m.	290.6	ceniza	300	8	37.3	4183	9900	7	11.7	3430
	11:00 a.m.	280.3	ceniza	300	8	34.8	4251	9900	7	10.9	3220
	12:00 p.m.	259.6	ceniza	300	8	31.4	4361	9900	7	19.96	3010
	01:00 p.m.	273.3	ceniza	300	7	33.6	4317	9900	6.5	13.4	3140
	03:00 p.m.	288.4	ceniza	300	7	32	4200	9900	6	13.8	3100
04:00 p.m.	267.8	ceniza	300	8	30.4	4289	9900	6	15.8	2935	
03/12/2014	07:00 a.m.	208	ceniza	300	6	36.7	4440	9900	7	13.5	3340
	08:00 a.m.	271.8	ceniza	300	8	31.8	4331	9900	6	17.9	3060
	09:00 a.m.	228	ceniza	300	6	37	4440	9900	7	14.6	3450
	11:00 a.m.	237	ceniza	300	6	28.6	4621	9900	6	18.9	2850
	12:00 p.m.	273.9	ceniza	300	8	30.1	4308	9900	6	17.2	2940
	01:00 p.m.	271.3	ceniza	300	8	35.2	4335	9900	8	18.1	3300
	03:00 p.m.	274.5	ceniza	300	8	33.7	4304	9900	7	16.9	3147
04:00 p.m.	277.1	ceniza	300	8	31	4277	9900	7	16.1	3050	
04/12/2014	07:00 a.m.	268.9	ceniza	300	7	30.6	4289	9900	6.5	17.2	2940
	08:00 a.m.	285	ceniza	300	8	32	4232	9900	7	16.6	3090
	09:00 a.m.	279	ceniza	300	8	31.9	4268	9900	7	15.3	3066
	11:00 a.m.	261.4	ceniza	300	7	27	4346	9900	6.5	17.1	2870
	12:00 p.m.	285.3	ceniza	300	8	32.6	4233	9900	7	16.9	3112
	01:00 p.m.	294.3	ceniza	300	8	36.3	4147	9900	7	15.5	3332
	03:00 p.m.	294.6	ceniza	300	8	34.6	4145	9900	7	14.1	3220
04:00 p.m.	289	ceniza	300	8	32.6	4199	9900	6.5	16.9	3100	
05/12/2014	07:00 a.m.	291.5	ceniza	300	8	28	4171	9900	6	18.4	2864
	08:00 a.m.	292	ceniza	300	8	33.7	4171	9900	6	18.1	3135
	09:00 a.m.	294.2	ceniza	300	8	29	4150	9900	5	28.7	2914
	11:00 a.m.	280.3	ceniza	300	8	28.7	4249	9900	6	18.1	2846
	12:00 p.m.	301	ceniza	300	8	35	4315	9900	6	18.8	3300
	01:00 p.m.	272.9	ceniza	300	7	30.9	4320	9900	6	17.2	2932
	03:00 p.m.	279.5	ceniza	300	7	31.3	4264	9900	6.5	15.6	3029
04:00 p.m.	302	ceniza	300	8	35	4321	9900	6.5	15.9	3295	
06/12/2014	07:00 a.m.	334	ceniza	300	8	32.4	4028	9900	7	14.8	3109
	08:00 a.m.	323	ceniza	300	8	39.1	4120	9900	7.5	11	3581
	09:00 a.m.	324	ceniza	300	8	38.2	4108	9900	7	13.4	3522
	11:00 a.m.	340	ceniza	300	8	33	3978	9900	6.5	15.7	3140
	12:00 p.m.	330	ceniza	300	8	40.9	4058	9900	6.5	16.2	3647
	01:00 p.m.	350	ceniza	300	8	46.1	3896	9900	7	18	3864
	03:00 p.m.	342	ceniza	300	8	39.4	3962	9900	7.5	11.3	3584
04:00 p.m.	331	ceniza	300	8	40.3	4052	9900	7.5	12.6	3620	
07/12/2014	07:00 a.m.	367	marron	300	8	36.4	3766	9900	6.5	17	3333
	08:00 a.m.	333	marron	300	8	29	4036	9900	6.5	14.9	2895
	09:00 a.m.	380	marron	300	8	38.5	3677	9900	7.5	10.1	3499
	11:00 a.m.	373	marron	300	8	37	3724	9900	7	14.6	3451
	12:00 p.m.	342	marron	300	8	33.4	3959	9900	6	17.7	3136
	01:00 p.m.	385	marron	300	8	47.8	3643	9900	7	18.2	3878
	03:00 p.m.	335	marron	300	8	33	4020	9900	6.5	13	3124
04:00 p.m.	247.4	marron	300	10	18.7	4489	9900	6.5	9.5	2579	

08/12/2014	07:00 a.m.	290	ceniza	300	10	27.5	4187	9900	6.5	12.3	2859
	08:00 a.m.	258.2	ceniza	300	10	19.1	4388	9900	6.5	9	2638
	09:00 a.m.	270	ceniza	300	10	23.8	4275	9900	6.5	11.4	2772
	11:00 a.m.	295	ceniza	300	10	36.6	4225	9900	6.5	16.5	3341
	12:00 p.m.	264	ceniza	300	10	21.8	4318	9900	6.5	10	2717
	01:00 p.m.	268	ceniza	300	10	31	4297	9900	7	11.8	3045
	03:00 p.m.	290.2	ceniza	300	10	24.9	4190	9900	6.5	10.9	2816
	04:00 p.m.	266.8	ceniza	300	10	23.4	4300	9900	6.5	10.2	2775
09/12/2014	07:00 a.m.	267.4	ceniza	300	10	29.7	4294	9900	6.5	13.5	2910
	08:00 a.m.	269.8	ceniza	300	10	25.4	4274	9900	6.5	12.2	2880
	09:00 a.m.	285.7	ceniza	300	10	26.9	4149	9900	6.5	13.7	2920
	11:00 a.m.	289.3	ceniza	300	10	27.4	4193	9900	6.5	11.1	2890
	12:00 p.m.	270.3	ceniza	300	10	27.9	4269	9900	6.5	11	2873
	01:00 p.m.	299.7	ceniza	300	10	28.6	4246	9900	6.5	13	2890
	03:00 p.m.	298.5	ceniza	300	10	32.1	4258	9900	6.5	15.9	3090
	04:00 p.m.	271.5	ceniza	300	10	27.9	4261	9900	7	10.8	2912
10/12/2014	07:00 a.m.	296.9	ceniza	300	10	30	4229	9900	7	10.7	2950
	08:00 a.m.	285.9	ceniza	300	10	28.9	4147	9900	6.5	13.3	2920
	09:00 a.m.	285.5	ceniza	300	10	32.1	4230	9900	6.5	15	3090
	11:00 a.m.	283.9	ceniza	300	10	29	4235	9900	6.5	14.3	2890
	12:00 p.m.	286.9	ceniza	300	10	28.4	4137	9900	6.5	13	2855
	01:00 p.m.	280.2	ceniza	300	10	34.1	4257	9900	6.5	17.2	3200
	03:00 p.m.	279.7	ceniza	300	10	31.4	4264	9900	6	16	3040
	04:00 p.m.	296	ceniza	300	10	30.4	4095	9900	7	11.8	2994
11/12/2014	07:00 a.m.	308	ceniza	300	9	37.9	4256	9900	7	14.9	3430
	08:00 a.m.	314	ceniza	300	10	32.9	4199	9900	6	18	3120
	09:00 a.m.	331	ceniza	300	10	46.3	4050	9900	7	18.3	3870
	11:00 a.m.	339	ceniza	300	10	45	3984	9900	7	16.6	3825
	12:00 p.m.	329	ceniza	300	10	36.3	4065	9900	6.5	15.1	3348
	01:00 p.m.	372	ceniza	300	10	37.3	3730	9900	6.5	16.5	3394
	03:00 p.m.	346	ceniza	300	10	38.9	3927	9900	7	12.9	3490
	04:00 p.m.	370	ceniza	300	10	39.3	3741	9900	7	13.3	3591
12/12/2014	07:00 a.m.	364	ceniza	300	10	38.6	3780	9900	7.5	11.7	3524
	08:00 a.m.	333	ceniza	300	10	32.1	4036	9900	7	10.1	3090
	09:00 a.m.	379	ceniza	300	10	37.8	3687	9900	7.5	11.7	3399
	11:00 a.m.	361	ceniza	300	10	36	3815	9900	7.5	10.9	3350
	12:00 p.m.	405	ceniza	300	10	49	3914	9900	8	9.96	3953
	01:00 p.m.	381	ceniza	300	10	46	3673	9900	7.5	13.4	3840
	03:00 p.m.	377	ceniza	300	10	45.4	3698	9900	7.5	13.8	3798
	04:00 p.m.	259	ceniza	300	12	28.4	4331	9900	6.5	12.8	2897
13/12/2014	07:00 a.m.	302	ceniza	300	12	32.8	4320	9900	6.5	13.5	3094
	08:00 a.m.	301	ceniza	300	12	27.6	4315	9900	6	17.9	2823
	09:00 a.m.	307	ceniza	300	12	30.1	4273	9900	6.5	14.6	2970
	11:00 a.m.	317	ceniza	300	12	31.7	4170	9900	6	17.9	3040
	12:00 p.m.	311	ceniza	300	12	29.8	4231	9900	8	7.2	2930
	01:00 p.m.	316	ceniza	300	12	33	4177	9900	8	8.1	3140
	03:00 p.m.	331	ceniza	300	12	42.4	4051	9900	8	10.9	3690
	04:00 p.m.	341	ceniza	300	12	32.5	3970	9900	7	10.1	3092
14/12/2014	07:00 a.m.	345	ceniza	300	12	38.6	3935	9900	7	13.2	3527
	08:00 a.m.	330	ceniza	300	12	30.2	4058	9900	7	11.6	2996
	09:00 a.m.	371	ceniza	300	12	41.3	3738	9900	7	14.4	3655
	11:00 a.m.										
	12:00 p.m.	369	ceniza	300	12	32.4	3748	9900	6	18.7	3100
	01:00 p.m.	361	ceniza	300	12	41.6	3814	9900	6.5	18.1	3650
	03:00 p.m.	364	ceniza	300	12	31.1	3783	9900	6	18.8	3042
	04:00 p.m.	357	ceniza	300	12	34.2	3830	9900	6.5	17.2	3200

Fuente: Elaboración propia

III.2.3. Desarrollo

III.2.3.1. Determinación de Caudales de Inyección

Como se mencionó en el marco teórico, tanto la aplicación de floculante como de coagulante está determinada por su diagrama de aplicación. El diagrama de aplicación relaciona la dosificación referencial del floculante o coagulante utilizado (ppm) con respecto a un determinado nivel de turbidez (NTU).

Para el floculante utilizado del tipo Polímero y para el coagulante Sulfato Férrico sus diagramas de aplicación se muestran en las figuras N° 5 y N° 10 respectivamente, del cual se puede ver que las curvas muestran una relación exponencial de la forma:

$$y = k \cdot e^{nx}$$

Dónde:

y = dosis de Polímero o Sulfato Férrico en ppm.

k, n = constantes.

x = nivel de turbidez en NTU.

Y las relaciones de NTU vs Dosis de Polímero y Sulfato férrico se representan en las siguientes tablas:

Tabla N° 7: Relación de Turbidez - Dosis de Polímero

turbidez (x)	ppm (y)
250	0.023
300	0.029
400	0.043
450	0.049
500	0.057
600	0.071
700	0.087
800	0.103
900	0.11
1000	0.118
1100	0.12
1500	0.14
2000	0.16
2500	0.17
3000	0.19
3500	0.21
4000	0.23
4500	0.25
5000	0.27
5500	0.29
6000	0.31
6500	0.33
7000	0.44
7500	0.56

Fuente: *Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013*

Tabla N° 8: Relación de Turbidez - Dosis de Sulfato férrico.

turbidez (x)	ppm (y)
250	1.5
300	1.8
400	2
450	2.2
500	2.3
600	2.4
700	2.6
800	2.8
900	3
1000	3.1
1100	3.3
1500	4.2
2000	5.1
2500	5.9
3000	6.8
3500	7.7
4000	8.6
4500	9.5
5000	10.4
5500	11.3
6000	12.2
6500	13.1
7000	14
7500	14.9

Fuente: Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013

Linealización de la Curva de Aplicación (NTU vs ppm)

Como primer paso se linealizó las curvas de aplicación del floculante y coagulante para determinar los valores de las constantes de la función que rigen el diagrama.

La linealización consiste en la transformación de variables en ambos miembros de una ecuación empírica no lineal de modo tal que la ecuación transformada corresponda a la de una recta; para esto se utilizó el método mediante logaritmos.

Sea la ecuación de la curva una relación exponencial:

$$y = k \cdot e^{nx}$$

Se aplica logaritmo a ambos miembros:

$$\ln y = \ln(ke^{nx})$$

$$\ln y = \ln k + \ln e^{nx}$$

$$\ln y = \ln k + nx$$

Haciendo el cambio de codificación:

$$Y = \ln y ; X = x ; A = \ln k ; B = n$$

Dónde:

$$Y = A + BX$$

$A = \text{Intercepto}$

$B = \text{Pendiente}$

Que es la ecuación de una recta.

Se emplea para encontrar la pendiente y el intercepto el método de los cuadrados mínimos, llamado también regresión lineal o estadístico:

$$B = \frac{N(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{(N \sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}$$

$$A = \frac{(\sum X_i^2)(\sum Y_i) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{(N \sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}$$

La desviación estándar está determinado por:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - B X_i - A)^2}{N - 2}}$$

Y los errores absolutos de la pendiente y el intercepto son:

$$\Delta B = S_y \sqrt{\frac{N}{N \sum (X_i^2) - (\sum X_i)^2}} \quad \Delta A = S_y \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N \sum (X_i^2) - (\sum X_i)^2}}$$

Luego de realizar el método logarítmico para la linealización de las curvas de aplicación mediante una hoja de cálculo Excel, se determinó las constantes de la ecuación de tal manera que:

Tabla N° 9: Valores Estadísticos

VALORES ESTADÍSTICOS FLOCULANTE		VALORES ESTADÍSTICOS COAGULANTE	
INTERCEPTO	-7.520403587	INTERCEPTO	1.32584287
PENDIENTE	0.744589336	PENDIENTE	0.00181496
DESVACIÓN ESTANDAR	0.182621317	DESVACIÓN ESTANDAR	0.08203869
ERROR INTERCEPTO	0.257633828	ERROR INTERCEPTO	0.02551545
ERROR PENDIENTE	0.034394318	ERROR PENDIENTE	7.0539E-06

Fuente: Elaboración propia

$$y = 0.0005419 e^{0.000312x} \quad \text{Curva de aplicación del floculante}$$

$$y = 3.7653577 e^{0.0002967x} \quad \text{Curva de aplicación del coagulante.}$$

Las ecuaciones de las curvas de aplicación de floculante y coagulante permiten obtener la dosis de Polímero y Sulfato Férrico ante cualquier nivel de turbidez.

➤ Caudal de inyección Estimada de Floculante y Coagulante

Como segundo paso y siguiendo con la descripción en la etapa de Dosificación, se calcularon los caudales de inyección estimados utilizando la siguiente ecuación:

$$C_1 x Q_1 = C_2 x Q_2$$

Dónde C_1 : Concentración de la Solución Madre (ppm o gr/m³)

Q_1 : Caudal de aplicación o inyección (L/min)

C_2 : Concentración según curva de aplicación (ppm o grm/m³)

Q_2 : Caudal de agua a tratar (L/min)

Determinando antes, una dosis de producto (Polímero y Sulfato Férrico) para cada nivel de turbidez de ingreso. De tal manera que:

$$y = C_2 = ke^{nx}$$

Los valores se resumen en la tabla del Anexo 01 y 02, donde los caudales de inyección difieren del caudal aplicado mostrados en la tabla N° 06.

III.2.3.2. Cálculo de Nivel de Turbidez Estimada de salida

Una dosis de producto (Polímero o Sulfato Férrico) “ C_2 ” significa un determinado valor de caudal de inyección, y a cada valor de “ Q_1 ” le corresponde un nivel de turbidez de salida “ T_o ”.

Según los datos de muestreo de la tabla N° 6, el valor de turbidez de salida es directamente proporcional al valor de turbidez de entrada pero inversamente proporcional al caudal de inyección; respondiendo a la siguiente ecuación general:

$$\frac{K_x T_i + K_y}{K_z Q_1 + K_w} = T_o$$

De la cual, despejando obtenemos:

$$\frac{K_x \left(T_i + \frac{K_y}{K_x} \right)}{K_z \left(Q_1 + \frac{K_w}{K_z} \right)} = T_o$$

$$\frac{K_x}{K_z} \left(\frac{T_i + \frac{K_y}{K_x}}{Q_1 + \frac{K_w}{K_z}} \right) = T_o$$

Haciendo $\frac{K_x}{K_z} = K_1$, $\frac{K_y}{K_x} = K_3$, $\frac{K_w}{K_z} = K_2$ tenemos:

$$K_1 \left(\frac{T_i + K_3}{Q_1 + K_2} \right) = T_o$$

Donde K_3 tiende a ser 0, por lo tanto:

$$K_1 \left(\frac{T_i}{Q_1 + K_2} \right) = T_o \quad (1)$$

Que es la ecuación que obedece la turbidez de salida en función de la turbidez de entrada y el caudal de inyección.

Las constantes K_1 y K_2 son determinadas mediante sistema de ecuaciones, de modo que:

$$A = T_{i1} \quad D = T_{i2} \quad (\text{Nivel de turbidez de entrada 1 y 2})$$

$$B = Q'_1 \quad E = Q''_1 \quad (\text{Caudales de inyección 1 y 2})$$

$$C = T_{o1} \quad F = T_{o2} \quad (\text{Nivel de turbidez de salida 1 y 2})$$

Despejando y reemplazando

$$K_1 T_i = T_o Q_1 + T_o K_2$$

$$K_1 A = CB + CK_2 \quad (1)$$

$$K_1 D = FE + FK_2 \quad (2)$$

De (1) y (2)

$$K_1 = \frac{CB + CK_2}{A} = \frac{FE + FK_2}{D}$$

$$DCB + DCK_2 = AFE + AFK_2$$

$$DCK_2 - AFK_2 = AFE - DCB$$

$$K_2(DC - AF) = AFE - DCB$$

$$K_2 = \frac{AFE - DCB}{DC - AF}$$

Por lo tanto

$$K_1 = \frac{T_{o1}(Q'_1) + T_{o1}(K_2)}{T_{i1}}$$
$$K_2 = \frac{T_{i1}(T_{o2})(Q''_1) - T_{i2}(T_{o1})(Q'_1)}{T_{i2}(T_{o1}) - T_{i1}(T_{o2})}$$

Reemplazando la ecuación con los valores de NTU de los datos de muestreo y con los valores de caudal de inyección estimados (Anexo 01 y 02), se obtuvo los niveles de turbidez de salida estimados que se resumen en las tablas N°10 y N°11

Tabla N° 10: Niveles de Turbidez (NTU) estimados de Salida al flocular

Agua de Canal		Presedimentador - Floculante			
Turbidez de Ingreso (NTU)	Color	C1 Dosis (g/1000L)	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	Turbidez de Salida Estimada (NTU)	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h
275.7	ceniza	300	8.4789	22.3512	4291
295	ceniza	300	8.7861	25.6159	4228
220	ceniza	300	7.5866	14.9531	4542
266.7	ceniza	300	8.2835	20.7458	4297
259.6	ceniza	300	8.2397	20.0117	4361
267.8	ceniza	300	8.2935	20.8745	4289
271.8	ceniza	300	8.4676	21.9815	4331
273.9	ceniza	300	8.4711	22.1678	4308
277.1	ceniza	300	8.4832	22.4854	4277
285	ceniza	300	8.5715	23.5766	4232
285.3	ceniza	300	8.5802	23.6470	4233
289	ceniza	300	8.5933	24.0234	4199
292	ceniza	300	8.6019	24.3190	4171
301	ceniza	300	9.1023	28.2004	4315
302	ceniza	300	9.1375	28.5449	4321
323	ceniza	300	9.1597	30.7012	4120
330	ceniza	300	9.1670	31.4250	4058
331	ceniza	300	9.1741	31.5770	4052
333	ceniza	300	9.1790	31.8071	4036
342	ceniza	300	9.1844	32.7121	3959
247.4	ceniza	300	8.1829	18.8514	4489
258.2	ceniza	300	8.2574	19.9764	4388
264	ceniza	300	8.2612	20.4411	4318
266.8	ceniza	300	8.2916	20.7885	4300
269.8	ceniza	300	8.3104	21.1045	4274
270.3	ceniza	300	8.3121	21.1512	4269
271.5	ceniza	300	8.3239	21.2977	4261
285.9	ceniza	300	8.4190	22.8822	4147
286.9	ceniza	300	8.4206	22.9699	4137
296	ceniza	300	8.5312	24.2711	4095
314	ceniza	300	9.1409	29.7047	4199
329	ceniza	300	9.1621	31.2907	4065
370	ceniza	300	9.2024	35.5532	3741
333	ceniza	300	9.1790	31.8071	4036
405	ceniza	300	10.2982	54.0949	3914
259	ceniza	300	8.1689	19.6793	4331
301	ceniza	300	9.1023	28.2004	4315
311	ceniza	300	9.1450	29.4510	4231
341	ceniza	300	9.1899	32.6619	3970
330	ceniza	300	9.1670	31.4250	4058
369	ceniza	300	9.2011	35.4449	3748
357	ceniza	300	9.1737	34.0540	3830

F
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11: Niveles de Turbidez (NTU) estimados de Salida al coagular

Agua de Presedimentador		Sedimentador - Coagulante			
Turbidez de Ingreso (NTU)	Color	C1 Dosis (g/1000L) ppm	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	Turbidez de Salida Estimada (NTU)	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h
25.4	ceniza	9900	6.6287	16.6048	2870
34.8	ceniza	9900	7.5296	9.3028	3220
30.3	ceniza	9900	6.8344	14.8928	2940
28	ceniza	9900	6.6052	19.0234	2850
37.6	ceniza	9900	7.9749	7.7786	3398
28.2	ceniza	9900	6.6533	17.7365	2870
32.5	ceniza	9900	7.2272	10.8384	3100
37.1	ceniza	9900	8.0213	7.4985	3420
26.9	ceniza	9900	6.6650	16.6176	2880
30.7	ceniza	9900	6.8566	14.6958	2948
37.3	ceniza	9900	8.0469	7.4446	3430
34.8	ceniza	9900	7.5296	9.3028	3220
31.4	ceniza	9900	7.0073	12.7706	3010
33.6	ceniza	9900	7.3310	10.3277	3140
32	ceniza	9900	7.2225	10.7132	3100
30.4	ceniza	9900	6.8237	15.1378	2935
36.7	ceniza	9900	7.8296	8.1972	3340
31.8	ceniza	9900	7.1274	11.5483	3060
37	ceniza	9900	8.0906	7.2297	3450
28.6	ceniza	9900	6.6104	19.2632	2850
30.1	ceniza	9900	6.8326	14.8266	2940
35.2	ceniza	9900	7.7207	8.3614	3300
33.7	ceniza	9900	7.3483	10.2250	3147
31	ceniza	9900	7.0967	11.5750	3050
30.6	ceniza	9900	6.8371	14.9915	2940
32	ceniza	9900	7.1992	10.9223	3090
31.9	ceniza	9900	7.1423	11.4327	3066
27	ceniza	9900	6.6428	17.2621	2870
32.6	ceniza	9900	7.2561	10.6203	3112
36.3	ceniza	9900	7.8068	8.2106	3332
34.6	ceniza	9900	7.5276	9.2613	3220
32.6	ceniza	9900	7.2282	10.8633	3100
28	ceniza	9900	6.6376	18.0469	2864
33.7	ceniza	9900	7.3203	10.4429	3135
29	ceniza	9900	6.7624	15.6100	2914
28.7	ceniza	9900	6.6020	19.6030	2846
35	ceniza	9900	7.7187	8.3236	3300
30.9	ceniza	9900	6.8212	15.4339	2932
31.3	ceniza	9900	7.0506	12.2024	3029
35	ceniza	9900	7.7070	8.3808	3295
32.4	ceniza	9900	7.2473	10.6308	3109
39.1	ceniza	9900	8.4208	6.5956	3581

Fuente: Elaboración Propia

III.2.4. Automatización del Mezclado

El mezclado, durante la etapa de preparación de la solución madre, se deberá poder llevar a cabo de forma autónoma a partir del controlador (PLC) quien se encargará de activar y desactivar el mezclador por intervalos de tiempo para lograr una solución uniforme.

El usuario podrá activar el mezclador de forma manual o automática a través de su tablero de control o de la PC respectivamente, controlando los tiempos de activación y paro. La activación del mezclador estará dada por el nivel de llenado del tanque, de modo que iniciará su ciclo de operación cuando el tanque esté lleno; culminando cuando el tanque esté vacío.

Se colocará una válvula para la aplicación de la solución madre. La válvula de aplicación permitirá que la solución viaje por el circuito a determinado caudal.

Para la selección de esta válvula se ha de tener en cuenta que trabajará a caudales diferentes y el cambio debe ser inmediato por lo que las electroválvulas proporcionales de control de flujo serán las que mejor se adapten al caso. Por otro lado, al proponer un proceso automatizado las electroválvulas pueden ser controladas bajo corriente eléctrica y piloteada mediante PLC quien dará la orden de abrir o cerrar la válvula según los niveles de turbidez (NTU).

III.2.4.1. Mezclador

El batidor o mezclador se puede dar mediante 2 formas:

1. Vertical.
2. Mediante soplador o bombas blower.

1. *Mezcladores Verticales*

Consisten en su mayoría por un motor ubicado en la parte superior del tanque de forma vertical al que se acopla un eje largo introducido en el tanque. Al final del eje se le unen paletas perpendiculares para remover la solución. El giro de la hélice está dada por el giro del eje del motor.

Ventajas:

- Menor costo de adquisición.
- Motores con un consumo entre los 1.5 y 2 HP (1.3 Kw aprox.)

Inconvenientes:

- Trabaja con voltajes de 220 VAC.
- Difícil de instalar.
- Mantenimiento continuo.
- Mezcla no uniforme

2. *Bombas blower*

Un soplador es cualquier máquina capaz de desplazar un gas o vapor desde una zona hacia otra, forzándolo a circular a través de un venturi. Puede incluir aspas móviles, compresiones y flujos desde 500 hasta 1000 m³/h.

Ventajas:

- El flujo es continuo y con mayor fuerza para remover toda la solución madre.
- Un solo soplador es capaz de remover hasta 4 tanques con solución madre.
- Proporciona una mezcla más uniforme y evita precipitados.

- Trabaja con voltajes de 440 VAC con lo que se reduce el consumo energético. (2.5 Kw)
- Menos gasto de mantenimiento y por tiempos prolongados (cada año)
- Instalación más sencilla.

Inconvenientes:

- Mayor costo de adquisición.

a)



b)

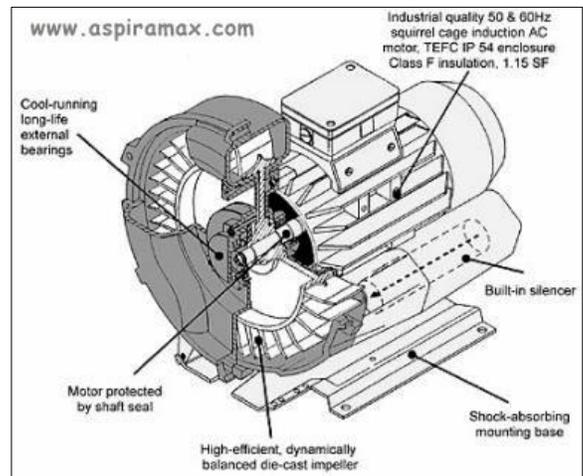


Figura N° 42: Mezcladores a) Vertical – b) Blower o soplador

Fuente: Web Aspiramax

Ante la evaluación de las dos formas de mezclado se decidió realizar la etapa de preparación bajo el sistema de Sopladores o Bombas blower. Los Blower se utilizan extensivamente en la industria de soluciones de fertilizante. La cantidad de flujo de aire que expulsa es suficiente para que la mezcla sea uniforme y especialmente para sustancias viscosas como son el floculante y el coagulante. El aire proporcionado es caliente con lo cual facilita la dilución del soluto (27 – 28°C).

El flujo de aire se conectará con los tanques mediante conductos de PVC removiendo la solución en intervalos de tiempo. Su periodo de trabajo iniciará con el nivel alto del tanque y culminará al indicarse el nivel bajo.

III.2.4.2. Sensor de Nivel

Los sensores de nivel alto y bajo serán capaces de accionar y parar el mezclador. Una vez que el sensor detecta nivel alto se activará el soplador por intervalos de tiempo; mientras que un nivel bajo detectado, lo desactivará.

La operación del sensor de nivel será en contacto directo con fluido viscoso (Floculante y coagulante) en agitación constante, por lo que deberán ser de un tamaño adecuado para colocarlos dentro de los tanques. Realizará una medida discreta y trabajará con alturas entre 1.50 y 1.80 m (tamaño del tanque).

Las ventajas de la automatización del mezclado son las siguientes:

- Reducción de tiempos de trabajo para ser empleados en otras actividades.
- Mayor eficiencia en la preparación de la solución madre al mejorar la dilución de los componentes.
- Las propiedades del floculante y coagulante son aprovechados al máximo al obtener mezclas más uniformes.
- Reducción de mano de obra.

III.2.5. Control Nivel de Turbidez (NTU)

La turbidez es un factor importante para determinar la calidad de agua con la que se cuenta y asegurar un buen funcionamiento de nuestro sistema de riego. Es una propiedad física del agua producto de la

cantidad de sólidos suspendidos en ella, que por lo general son grava, limo, arena fina o gruesa, bacterias y partículas coloidales; los cuales manejan tiempos de sedimentación bastante largos mientras más pequeña sea la partícula.

III.2.5.1. Turbidímetro o Sensor de Turbidez

El nivel de turbidez tolerante para evitar obstrucciones en el sistema de filtrado debe ser menor a 20 NTU, mayores a este valor aparecen problemas en filtrado y mangueras. De forma resumida, se deberá tener en cuenta los siguientes valores:

- Nivel de turbidez máximo de agua de canal: 4000 – 5000 NTU
- Niveles de turbidez manejables: hasta 1000 NTU
- Niveles de turbidez permisibles: > 20 NTU
- Tiempos de sedimentación del flóculo: 30 – 60 seg.
- Caudal de agua a tratar: 3000 – 4000 m³/h

Altos niveles de turbidez dan lugar a que las aguas turbias se vuelvan más calientes, reduciendo la concentración de oxígeno en el agua. Algunos organismos no sobreviven a aguas calientes, mientras que favorece la multiplicación de otros. 1000 NTU son manejables para la floculación con un caudal de inyección de 20 L/min de solución madre, turbiedad más alta nos aproxima a caudales de inyección mayores a los del sistema difíciles de controlar; más aún cuando el cambio de turbidez (NTU) es muy variante a lo largo del día.

En cualquier caso resulta de suma importancia un monitoreo constante de los niveles de NTU, y la forma más segura de hacerlo es utilizando sensores turbidímetros. Se trata de un instrumento que consta de una fuente lumínica y un detector de luz, el rayo de luz pasa a través de la

muestra que se quiere analizar, la cantidad de luz reflejada es proporcional a la cantidad de sólidos en suspensión.

Se debe contar con un sensor de turbidez tipo sonda en los puntos de muestreo en las distintas pozas de sedimentación conectadas al controlador (PLC). El controlador será capaz de relacionar los niveles de turbidez con un determinado caudal de inyección de solución madre a aplicar, regulando la apertura y cierre de una válvula proporcional.

III.2.5.2. Electroválvula

Dado que se realizará un sistema automatizado de control, los actuadores como las válvulas deben ser controlados por señales eléctricas ya sea en voltaje o intensidad por lo que se trabajará con electroválvulas. Ésta dosificará la solución madre proporcionalmente al nivel de turbidez de ingreso siendo el PLC quien gobierne su porcentaje de apertura.

La electroválvula debe ser de acción rápida ya que se medirá los NTU en tiempo real, se mantendrá en contacto directo con el fluido y manejará rangos entre 0 – 20 y 25 L/min con presiones bajas. Se concluye entonces que se trabajará con electroválvulas proporcionales de control de caudal para este propósito.

Así pues este proyecto permitirá controlar y monitorear los niveles de NTU de salida, como también aplicar la dosis óptima de floculante y coagulante para una mejor calidad de agua. Por otra parte, el estado del proceso podría ser visualizado bajo un SCADA.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS

IV.1. CAUSAS EN LA OBSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO

- **VARIACIONES EN EL NIVEL DE TURBIDEZ DE ENTRADA**

Las muestras de turbidez tomadas a lo largo del día y que difieren del horario de muestreo en los puntos establecidos; presentan variaciones entre cada lectura como se observa en la Tabla N° 06. Estos niveles de NTU son las de entrada a las etapas de floculación y coagulación.

La figura N° 43 muestra las variaciones de NTU en el canal a lo largo del día que no son consideradas por la empresa AVO PERU S.A.C.

- **CAUDALES DE INYECCIÓN INAPROPIADOS**

Para determinar el caudal de inyección adecuado, como primer paso es linealizar la curva de aplicación tanto del floculante como del coagulante, ya que a partir de esta, podemos obtener la concentración de Polímero y Sulfato Férrico (ppm) ante cualquier valor de NTU.

El segundo paso es reemplazar el valor de concentración en la ecuación de caudal de aplicación teniendo en cuenta que el resultado es la inyección apropiada.

Las figuras N° 44 y 45 muestran los caudales de inyección de Floculante y Coagulante adecuados a aplicar para cada nivel de Turbidez de entrada respectivamente; a partir de los datos obtenidos en las Tablas N° 6, 10 y 11.

■ Datos tomados por la empresa.

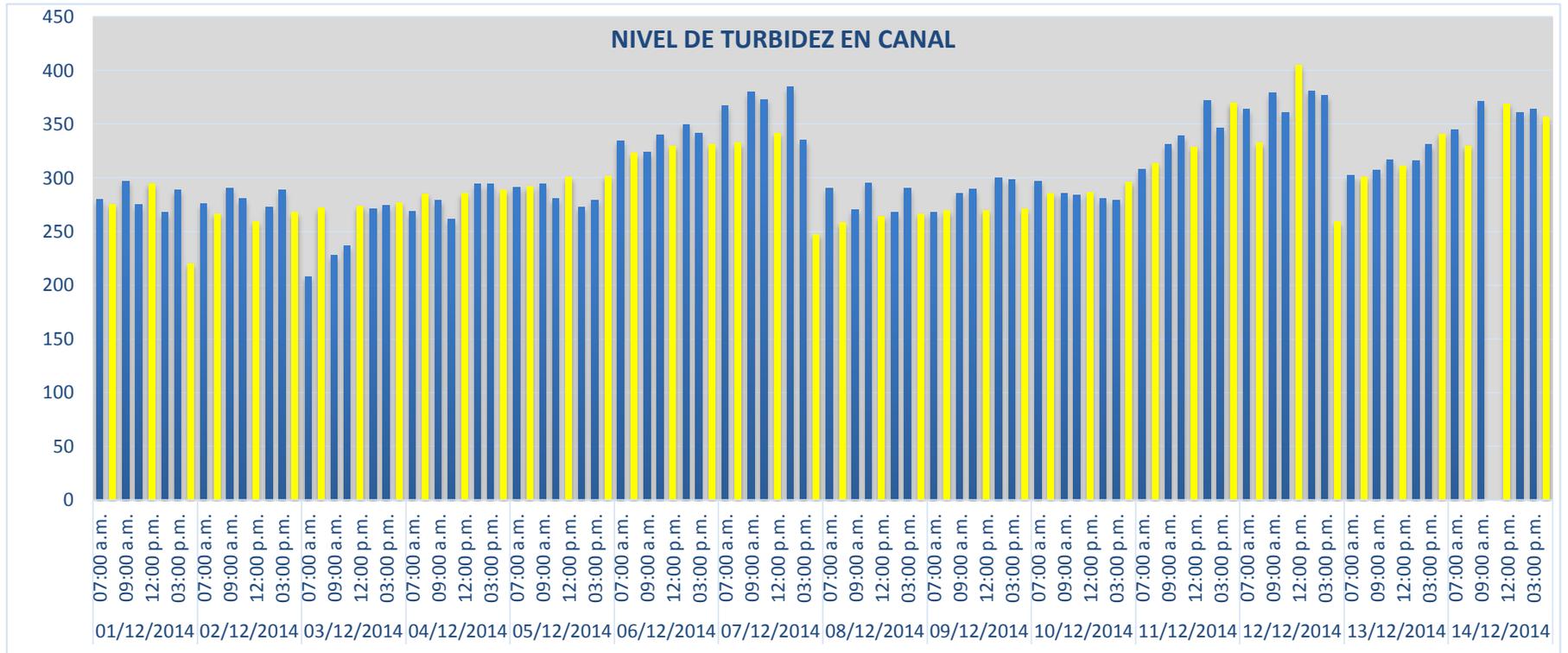


Figura N° 43: Niveles de Turbidez (NTU) de Canal

Fuente: Elaboración propia.

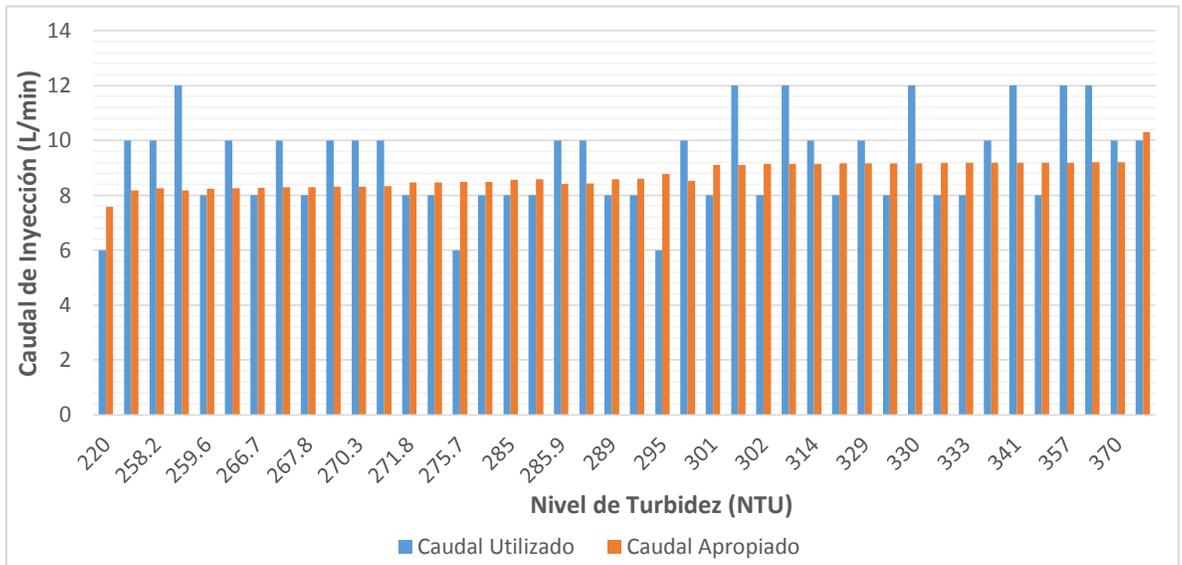


Figura N° 44: Caudales de Inyección de Flocculante Apropriados

Fuente: Elaboración propia.

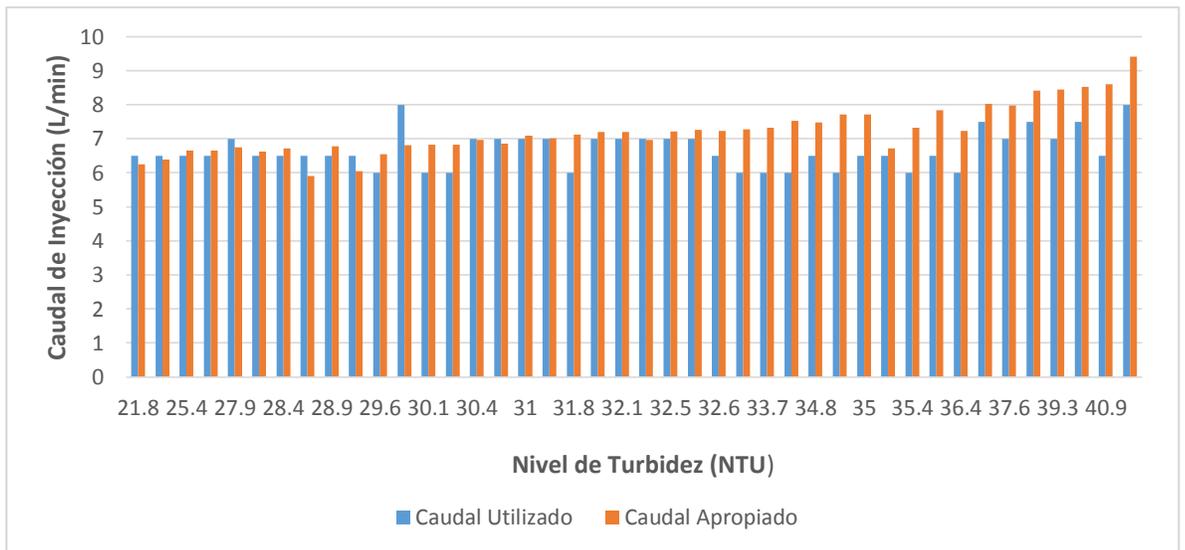


Figura N° 45: Caudales de Inyección de Coagulante Apropriados

Fuente: Elaboración propia.

IV.2. REDUCCIÓN DE NIVELES DE TURBIDEZ DE SALIDA

Como se observa en la Tabla N° 06 los valores de turbidez de salida obedecen a la ecuación:

$$K_1 \left(\frac{T_i}{Q_1 + K_2} \right) = T_o \quad (1)$$

Donde los valores de las constantes K_1 y K_2 promedio luego de ser despejadas mediante sistema de ecuaciones son:

- *Para Floculante:*

k1prom	k2prom
-0.3752649	-13.1077591

- *Para Coagulante:*

k1prom	k2prom
0.40742697	-6.00551462

Las gráficas N° 46 y 47 muestran los niveles de turbidez de salida luego de la etapa de floculación y coagulación respectivamente; a partir de las Tablas N° 10 y 11.

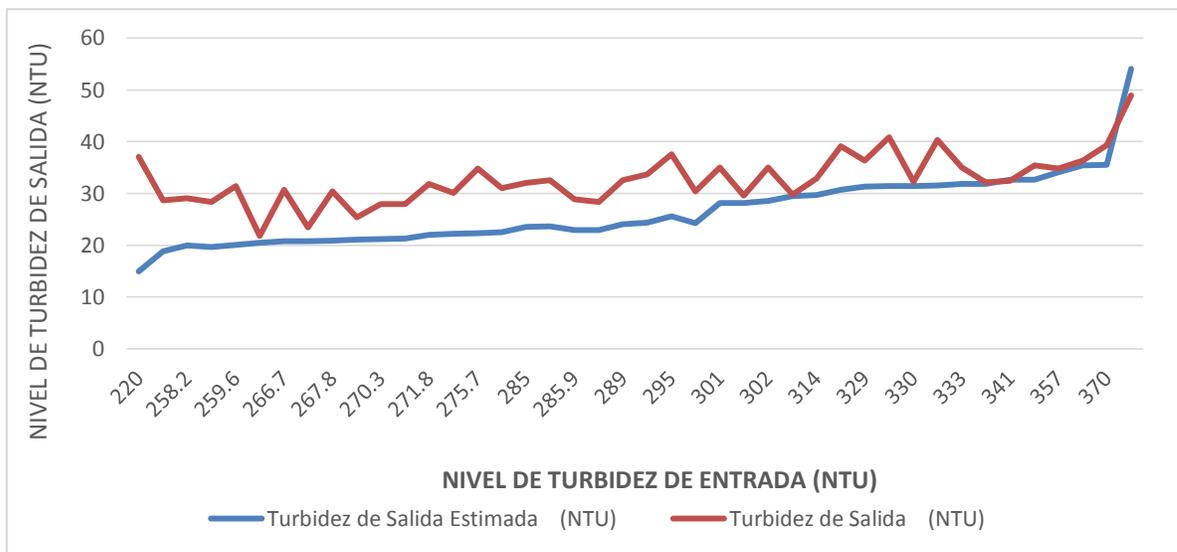


Figura N° 46: Nivel de Turbidez de Salida Real y Estimada al Flocular

Fuente: Elaboración propia

Se determina el comparativo estadístico entre los valores reales y estimados:

Tabla N° 12: Comparación de la Turbidez de Salida del Floculante

	<i>Turbidez NTU de Salida Real del Floculante</i>	<i>Turbidez NTU de Salida del Floculante Estimada</i>
Media	32.65952381	26.40051133
Varianza	24.61319977	47.07544248
Observaciones	42	42
Coefficiente de correlación de Pearson	0.728859639	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	41	
Estadístico t	8.634572403	
P(T<=t) una cola	0.000000000045338	
Valor crítico de t (una cola)	1.682878002	
P(T<=t) dos colas	0.000000000090677	
Valor crítico de t (dos colas)	2.01954097	

Fuente: Elaboración propia

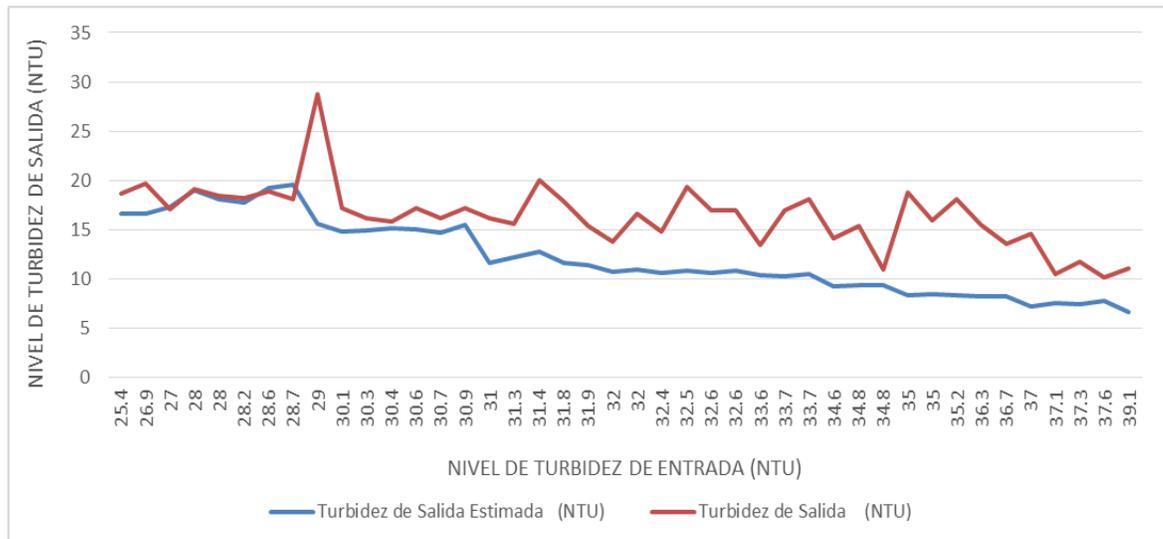


Figura N° 47: Nivel de Turbidez de Salida Real y Estimada al Coagular

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Comparación del Número de la Turbidez de Salida del Coagulante

	<i>Turbidez NTU de Salida Real del Coagulante</i>	<i>Turbidez NTU de Salida Estimado del Coagulante</i>
Media	16.38571429	12.16063674
Varianza	10.3590885	14.29781103
Observaciones	42	42
Coeficiente de correlación de Pearson	0.586532922	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	41	
Estadístico t	8.498644709	
P(T<=t) una cola	0.000000000069188	
Valor crítico de t (una cola)	1.682878002	
P(T<=t) dos colas	0.000000000138375	
Valor crítico de t (dos colas)	2.01954097	

Fuente: Elaboración propia

IV.3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

A continuación se describen de forma general el conjunto de equipos que serán necesarios para el proceso de floculación y coagulación en las etapas de preparación y dosificación, describiendo las características de cada equipo y seleccionando el que mejor se adapte a las especificaciones deseadas.

IV.3.1. MEZCLADO

Ante las dos opciones de mezclado descritos se decidió realizar el diseño bajo un sistema de Bombas “blower” o Sopladores.

IV.3.1.1. Soplador

Las bombas blower son usadas extensivamente para tratamientos de agua y piscicultura aprovechando el principio de diferencial de presiones. Cuando el rotor está girando, el aire entre el impulsor se acelera a lo largo de la dirección de las aspas del ventilador, y debido al movimiento de rotación, después de que el aire entra en la capa de aire del exterior, vuelve a la base de las aspas del ventilador debido al efecto de la presión diferencial, el ciclo se repite varias veces para hacer correr el aire en espiral con el fin de aumentar la presión. El aire se expulsa rápidamente debido a la presión no mayor que la presión en el sistema cuando el aire pasa por la toma de corriente.

Dentro de la clasificación de los tipos de Sopladores, se utiliza un Blower de flujo axial, lo que quiere decir que el flujo de aire es paralelo a su eje. Esta bomba impulsa el aire del exterior a gran presión y con caudales de flujo mayores y lo transfiere a los tanques de preparación de solución madre revolviendo todo el volumen de agua uniformemente.

Para determinar el Soplador analizamos la presión de trabajo para compararlo con su curva característica, utilizando la densidad del coagulante: 4.6 Kg / L

Se puede deducir que el punto de presión tomado para la elección del soplador es el que se ubica en el fondo del tanque de mezcla. En este caso el tanque con el que se cuenta es un ROTOPLAS con capacidad de 2500 L con una altura de 1.75 m.

Los cálculos se añaden en el Anexo “hh” del documento.

El soplador industrial elegido para la etapa de preparación es DVP modelo TSB – 210 y las principales características son:

- Caudal máximo: 250 m³/h
- Presión máxima 220 mbar
- Potencia del motor 1.8 Kw
- Voltaje 266/466 VAC
- Fases: 3
- Frecuencia 60Hz



Figura N° 48: Soplador Industrial DVP TSB-210

Fuente: Web DVP

IV.3.1.2. Sensor de Nivel

Para la activación del soplador se colocará sensores de nivel alto y bajo dentro del tanque de 2500 L cuya operación es ON/OFF. Además se debe tener en cuenta que para poder realizar su conexión con el PLC ha de contar con un relé de control de nivel.

El sensor utilizado es el tipo sonda LA9RM201 de Schneider:



Figura N° 49: Sensor de Nivel LA9RM201- Schneider

Fuente: Web Schneider

Este sensor tipo electrodo cierra el circuito eléctrico con el líquido y conmuta un contacto; por lo general se cuenta con 3 de ellos, uno de nivel alto, de nivel bajo y otro que sirve como punto de referencia. Respecto al fluido de trabajo, el floculante y coagulante utilizado al tener alta densidad de carga, no afectará el funcionamiento de la sonda sino la hará mucho más sensible al cambio de nivel.

IV.3.1.3. Relé de control de Nivel

Junto con las sondas hay que colocar el relé de control de nivel para lo cual se eligió el RM35LM 33MW de Schneider. Este relé tiene una alimentación de 24 VDC y 24 – 240 VAC, cuenta con dos contactos NO/NC y permite el ajuste de la sensibilidad del sensor.



Figura N° 50: Relé de control de nivel RM35LM – Schneider

Fuente: Web Schneider

IV.3.2. CONTROL NIVEL DE TURBIDEZ

Se contará con 2 sistemas de control de turbidez independientes a lazo cerrado; uno para el proceso de floculación y otro para el de coagulación, cada uno con 1 sensor de turbidez, 1 electroválvula proporcional de flujo y su controlador PLC.

IV.3.2.1. Sensor de Turbidez

El modelo del sensor de turbidez (NTU) elegido para ambos sistemas de control es el OPTISENS TUR 2000 cuyo principio de medida es la luz dispersa de 90° y su instalación es de inmersión, en contacto directo con el fluido. Sus características son:

- Diseño robusto.
- Rango de medida: 0 – 1000 NTU
- Precisión: 0.001
- Tiempo de respuesta: 10 s.
- Nivel de protección: IP68.
- Presión de trabajo: 1 bar.



Figura N° 51: Sensor de Turbidez OPTISENS TUR 2000

Fuente: Web OPTISENS

Este sensor como no tiene una salida de 4-20 mA se ha de seleccionar también un transmisor que transforme la señal de salida del OPTISENS TUR 2000 en una señal equivalente de 4-20 mA.

El transmisor de trabajo compatible con el sensor es el MAC 100



Figura N° 52: Transmisor MAC 100

Fuente: Web OPTISENS

Es un convertidor de propósito general que cuenta con 1 o 2 entradas de sensor, tiene 3 salidas de 4-20 mA aisladas galvánicamente y 2 relés mecánicos (NA y NC). Alimentación de 100-230 VAC, 60 Hz o 24 VAC/DC. Comunicación HART 4-20mA y protección IP66.

IV.3.2.2. Electroválvula Proporcional

Para nuestro sistema de inyección se elige 2 electroválvulas de control proporcional de caudal de la serie EV260B de DANFOSS.



Figura N° 53: Válvula proporcional de caudal EV260B – DANFOSS

Fuente: Web DANFOS

Mediante la regulación continua de la corriente de la bobina, es posible situar la armadura en cualquier posición del tubo de la armadura y, de este modo, ajustar la bobina entre las posiciones de cierre completo y apertura completa. La válvula se abre totalmente cuando la corriente de la bobina alcanza su máximo valor.

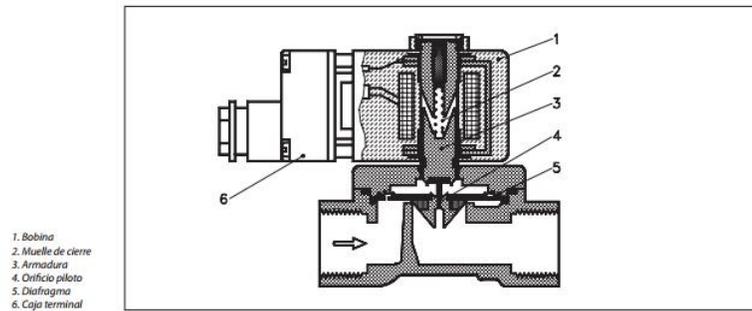


Figura N° 54: Componentes en la electroválvula proporcional EV260B

Fuente: Hoja técnica EV260B – Danfoss

La electroválvula seleccionada presenta las siguientes características:

- Para agua, aceite y líquidos neutros.
- Característica lineal en todo rango de regulación.
- Rango de caudal: 8.3 – 211.7 L/min.
- Presión: 0.5 – 10 bar.
- Protección de la bobina: IP67.
- Conexión roscada: G 3/4".
- Señal de control: 4-20 mA o 0-10 VDC.

IV.3.2.3. Caudalímetro

Como se mencionó anteriormente, el caudal máximo de inyección a un nivel de NTU manejable, es de 20 L/min; equivalente a un ratio de inyección de 0.33 L/seg. Por lo tanto el caudalímetro debe manejar pulsos que registren una cantidad mayor a 0.33 L.

El caudalímetro elegido para cada etapa es el de ARAD modelo SF cuyas características son:

- Contador de 1 pulso / Litro.
- Componentes de plástico resistentes a la corrosión.
- Pequeño y ligero de alta precisión.
- Incorpora emisor de pulsos para control externo del consumo.



Figura N° 55: Caudalímetro ARAD, modelo SF de 3/4" de 1 Litro / pulso

Fuente: Web ARAD

IV.4. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

La solución propuesta consta de un PLC que puede colocarse en un bastidor principal junto a sus módulos de E/S.

El autómatas elegido pertenece a la gama de Micro PLC de la serie 800, y es el controlador Micro820 de Allen-Bradley. Se optó por la familia Micro PLC's Allen-Bradley porque son autómatas modulares y comparten accesorios comunes con casi todas las series. Esta gama es de tamaño

reducido y diseñados específicamente para máquinas autónomas de menor tamaño y proyectos de automatización remotos; contando con funciones de programación completas.

Las unidades de E/S del Micro820, desde modelos básicos a modelos de alta gama compactos, se pueden colocar en cualquier parte del sistema. Los módulos expandibles y accesorios enchufables son compatibles con toda la serie Micro800, amplían la funcionalidad de las E/S sin aumentar el tamaño del controlador. Esto mejora el rendimiento añadiendo potencia de procesamiento o capacidades adicionales y añade funcionalidad de comunicación adicional.

Las características más sobresalientes de este PLC son:

- Micro PLC modular compatible con toda la serie 800.
- Módulo de alimentación de 120/240 VAC.
- Número de E/S: 12 entradas (24 VDC)
- 8 salidas (7 tipo relé de 24 VDC).
- E/S Análogas: 4 entradas (compartidas) y 1 salida (4-20 mA o 0-10 VDC)
- Tiempo de ejecución (instrucciones de bit): 0.1 us.
- Memoria de programa: 10 Ksteps.
- Memoria de datos: 20Kbytes
- Funciones especiales: funcionamiento como unidad terminal remota (RTU) para aplicaciones SCADA y 1 salida PWM de 5KHz.
- 2 ranuras para módulos enchufables.
- Ranura para tarjeta microSD para copia de seguridad y restauración de proyectos, registro de datos y recetas.
- Puerto 10/100 Base-t Ethernet incorporado (RJ-45).

- Puerto serial combinado RS232/RS485 incorporado, no aislado.
- Protocolo Modbus RTU (puerto serie).
- Compatibilidad con: Modbus TCP, Ethernet/IP y CIP serie.



Figura N° 56: PLC Micro820, Allen-Bradley

Fuente: Web Allen-Bradley

IV.4.1. COMUNICACIÓN

La configuración del sistema de automatización elegido es un control centralizado con un solo PLC para las etapas de Floculación y Coagulación con sus módulos E/S en un solo bastidor principal.

Para la comunicación entre el PLC y la PC es bajo protocolo Ethernet/IP por el puerto Ethernet RJ45.

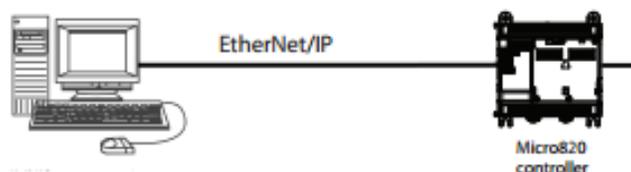


Figura N° 57: Comunicación Ethernet

Fuente: Hoja Técnica PLC MICRO820 - Allen Bradley

IV.4.2. MÓDULOS

IV.4.2.1. Módulo de Alimentación Externa

El módulo de Alimentación seleccionado es el adaptador 2080-PS120-240 y sus características son:

Rango de voltaje de entrada: 200 – 240 VAC, 0.5 A.

Frecuencia: 60 Hz.

Fuente de alimentación de salida: 24 VDC, 1.6^a

Consumo de potencia: 38.4 W a 240 VAC.

Clasificación de envoltente: IP20.

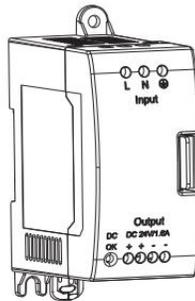


Figura N° 58: Módulo de Alimentación 2080-PS120-240.

Fuente: Hoja Técnica PLC MICRO820 - Allen Bradley

IV.4.2.2. Módulo de E/S Digitales

Para nuestro sistema de automatización, las entradas y salidas por defecto del Micro820 son suficientes para abarcar las necesidades en ambas etapas; por lo que no se contará con módulos extras de E/S digitales.

IV.4.2.3. Módulo de E/S Análogas

El PLC Micro820 cuenta con 4 entradas análogas compartidas de las 12 que vienen por defecto. Estas son configuradas a nivel de controlador para operar bajo voltaje de 0-10 VDC o bajo corriente de 4-20 mA.

Por otro lado, al contar con solo 1 salida análoga para nuestro sistema cuya necesidad es de 2, se eligió el módulo de salidas análogas 2080-OF2 cuyas características son:

- N° de salidas análogas: 2
- Rango de voltaje: 0-10 VDC.
- Rango de corriente: 4-20 mA.
- Carga resistiva de corriente: 500 Ω
- Resolución: 12 bits



Figura N° 59: Módulo de Salidas Análogas 2080-OF2

Fuente: Hoja técnica familia PLC MICRO800 – Allen Bradley

IV.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

La solución adoptada consiste en un sistema de control clásico o realimentado (Sistema de lazo cerrado) para cada etapa y podría ser monitorizado bajo un software SCADA permitiendo ver el estado de los niveles de turbidez de entrada y salida y los caudales de inyección.

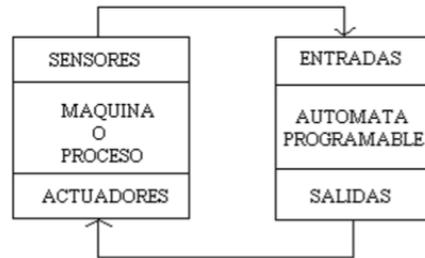


Figura N° 60: Diagrama de control a lazo cerrado

Fuente: TESIS AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL A DISTANCIA DE LOS RESERVORIOS SAN DIEGO

Las sondas de turbidez se conectarán a sus correspondientes transmisores y estos a las entradas del PLC. Las sondas estarán ubicadas en 3 de los puntos de muestreo en cada poza de floculación y coagulación. Se contará con un total de 3 sondas de turbidez, 2 para cada lazo de control y 1 de monitoreo para la turbidez de salida.

El PLC tomará la señal análoga de entrada, la cual luego de ser escalada, devolverá a la salida la señal que regulará la electroválvula a cierto caudal proporcional al nivel de turbidez censado; cerrando el lazo de control. Se contará con 2 electroválvulas proporcionales a la salida de cada tanque seguido de un caudalímetro conectado a las entradas discretas del PLC.

Para la etapa de preparación de la solución madre se contará con 1 soplador para ambos tanques, cuya activación dependerá del nivel de llenado de los mismos. Cada tanque contará con 3 sondas de nivel (máximo, mínimo y referencia) conectados a su relé de control; el que a su vez se conectará a las entradas discretas del PLC y como salida activará el blower (soplador).

La Figura N°61 muestra un diagrama general del sistema de control automatizado para el proceso de Floculación y Coagulación de la empresa.

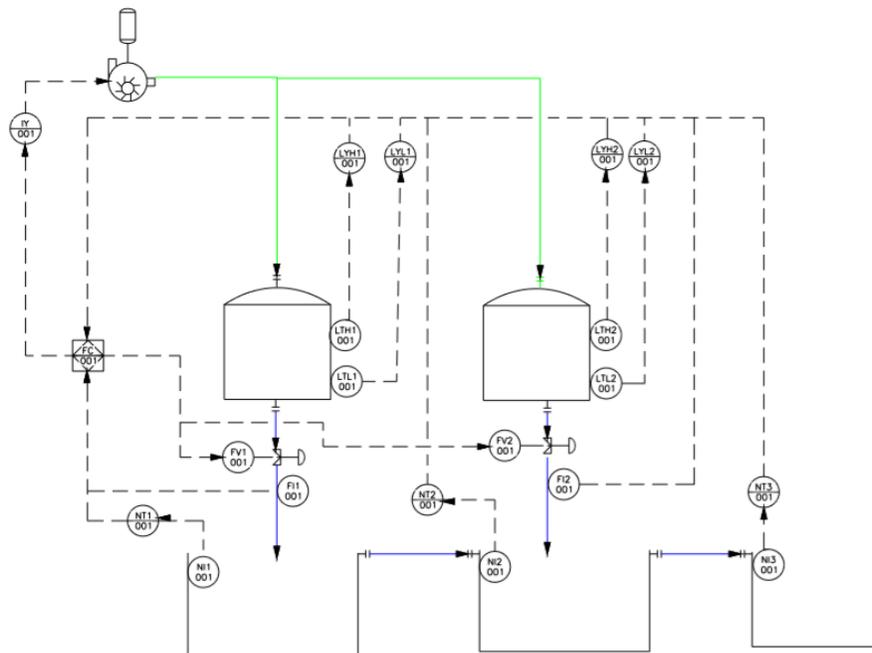


Figura N° 61: Diagrama de automatización del proceso de sedimentación del agua

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

V.1. Variaciones en el Nivel de Turbidez de Entrada

El muestreo consecutivo, aproximadamente cada 1 hora a lo largo del periodo de riego, muestra las variaciones en el nivel de turbidez que presenta el agua del canal entre cada muestra tomada por la empresa.

Estos valores (de la empresa) en su mayoría son menores a los niveles de NTU en horas anteriores llegando a diferencias de hasta 20 NTU; resaltando que los picos más altos de turbidez se presentan entre las 9:00 y 12:00 del mediodía.

V.2. Caudales de Inyección Inapropiados

La “ecuación de caudal de aplicación” arroja valores menores a los usados por la empresa para el Floculante, ante los mismos valores de turbidez de entrada. Siendo el caudal de inyección adecuado promedio un 5.42 % menor al utilizado promedio.

Mientras que para el Coagulante, la ecuación arroja valores mayores a los caudales de inyección utilizados por la empresa para un mismo valor de NTU. Siendo el caudal de inyección adecuado promedio un 8.36 % mayor al utilizado promedio

V.3. Reducción de Niveles de Turbidez de salida

La ecuación (1) determina que la turbidez de salida, con los caudales de inyección apropiados, es reducida a diferencia que con los caudales de inyección utilizados por la empresa.

Realizando un análisis de datos con la ayuda del Microsoft Excel se observó el comparativo estadístico entre los valores reales y estimados; demostrando que el “t” estadístico es mayor que el valor crítico de t; además el valor p obtenido es menor que el α (0.05) por lo que se concluye que es estadísticamente significativo; para este análisis se utilizó parámetros de una cola por que se realizó una comparación de dos variables.

V.3.1. Reducción del Mantenimiento del Sistema de Filtrado

De la Tabla N° 07 se obtuvo el promedio de turbidez pre filtrado en el mes de Diciembre según los datos registrados durante las dos semanas de muestreo; teniendo un valor de 16.38 NTU.

Se realizó el mismo cálculo del promedio con los valores de turbidez pre filtrado estimados a partir de los datos de la Tabla N° 14 obteniendo 12.16 NTU.

Las veces que se realizó mantenimiento al sistema de filtrado, tanto filtros de anillos como filtros de grava, en el mes de Diciembre fueron un total de 14; según el “Registro de Mantenimiento de Sistema de Filtrado” de la empresa que se muestra en la figura N° 01. Resaltando que el mantenimiento se realizó en el transcurso de las dos semanas de muestreo que abarca del 01 al 14 de Diciembre

De modo que:

$$16.38 - 12.16 = 4.22$$

$$\frac{4.22}{16.38} \times 100 = 25.76 \%$$

Es el porcentaje de reducción que se realizará en el mantenimiento del Sistema de Filtrado, alcanzando un mantenimiento menor a 3 veces por semana.

V.4. Propuesta de Automatización

Para la etapa de mezclado, en la que se prepara la solución madre de Floculante y Coagulante, se opta por una agitación por flujo de aire utilizando un soplador o bomba de aire (Blower) ya que permite obtener una mezcla uniforme con tan solo intervalos de tiempo de trabajo. Esto se traduce en una reducción en el costo de consumo de energía.

Para la automatización del proceso de Sedimentación, se elige utilizar un PLC dado al tipo de control que se realizará y a la variable que se controlará. El lazo de control para las etapas de Floculación y Coagulación es cerrado o retroalimentado y cuya variable de control es mantener la cantidad de flujo dentro de una línea; pues al estar frente a un “Lazo de Flujo cerrado”, un PLC nos da las opciones de control en lazo PID.

A ello se le suma la desventaja que presentan la mayoría de controladores de riego al no contar con salidas análogas. La opción tomada presenta un control proporcional por lo que es necesario una señal de control analógica como salida; ventaja que nos brinda un PLC.

CAPITULO VI

VI. CONCLUSIONES

- La propuesta de automatización del proyecto, sobre procesos de floculación y coagulación, permitirá alcanzar niveles estimados de turbidez de salida o pre filtrado menores a los niveles de NTU actuales obtenidos por la empresa AVO PERU S.A.C. Reflejando la necesidad de automatizar las etapas en el proceso de sedimentación del agua destinada al riego con el fin de lograr un producto de calidad. Mejores condiciones en el estado del agua aseguran una mejor fertilización y que el alimento a las plantas sea solo lo necesario.
- La obstrucción constante de los Sistemas de Filtrado (Filtros de grava, anillos y mangueras en campo) de la empresa AVO PERU S.A.C. parten principalmente de la inadecuada inyección de componentes para la sedimentación del agua (Floculante y Coagulante) producto de un muestreo esporádico de la turbidez. Esto se traduce en obtener caudales de inyección erróneos que bien son insuficientes o saturan la mezcla.
- Contar con mezcladores del tipo soplador o bombas Blower y con controladores PLC integrando el sistema de automatización propuesto en cada una de las etapas; son alternativas tecnológicas por las que se optaron dadas las necesidades de optimizar el proceso. Los sopladores contribuyen a realizar mezclas más uniformes al remover por completo la solución utilizando grandes flujos de aire; mientras que los PLC ofrece una gran variedad de ventajas y flexibilidad para el control de procesos como por ejemplo el contar con salidas análogas que se emplean en controles proporcionales, a diferencia de los controladores convencionales destinadas a riego.

- La estrategia de control para nuestra propuesta de automatización descrita, define un control de flujo realimentado bajo un solo controlador para ambas etapas (Floculación y Coagulación). Cada uno de los instrumentos fueron elegidos luego de analizar las variables y las necesidades operativas del proceso, ubicándolos estratégicamente y mostrados en el diagrama P&ID.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en los próximos trabajos se incluya medidas de pH y Electro Conductividad del agua a tratar como variables de entrada, ya que influyen en el tiempo de reacción del floculante y coagulante.

- Se recomienda realizar pruebas exhaustivas de campo en conjunto con la implementación del trabajo desarrollado para algunas mejoras.

- También es recomendable incursionar en la automatización de las distintas etapas que cubren los procesos de mejora en la calidad de agua para riego, puesto que las distintas empresas a lo largo del proyecto CHAVIMOCHIC no cuentan con tecnología implementada en este sector.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

LIBROS

- WEBER, Walter J. (2003). *Control de la Calidad del Agua: procesos físico-químicos*, (4ta Edición). Reverté, S.A, Barcelona, España.
- LAPEÑA, Miguel Rigola. (1989). *Tratamiento de aguas Industriales: aguas de proceso y residuales*, Marcombo, S.A, Editorial Alfaomega.
- CREUS SOLÉ, Antonio. (2011). *Instrumentación Industrial*, (8va Edición), Marcombo S.A., Barcelona, España.
- OGATA, Katsuhiko. (1974) *Ingeniería de Control Moderna* (4ta Edición), Pearson Education SA, España

TESIS

- Juan Carlos Hernández Espinoza (2006). “*AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL A DISTANCIA DE LOS RESERVORIOS SAN DIEGO*” Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad Ingeniería Electrónica
- . Narváz Ortiz, Geovanna Cecilia (2009). “*AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO DEDICADO A LA PRODUCCIÓN FLORÍCOLA BASADO EN LAS TECNOLOGÍAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y EN TELEMETRÍA UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE COMUNICACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL GPRS*” Escuela Politécnica Nacional de Quito
- Estrada Luna Vicente (2012) “*CONTROL Y MONITOREO DE UNA POTABILIZADORA DE AGUA POR MEDIO DE RED CONTROLNET.*” Instituto Plitécnico Nacional de Mexico

DOCUMENTOS

- (DOC01) *“Chavimochic en Cifras 2000 – 2010”, Gobierno Regional La Libertad, Proyecto Especial Chavimochic (PECH). Trujillo – Perú.*
- (DOC02) *“Manual de Operaciones en Campo 2008”, GRUPO ROCIO – AVO PERU S.A.C.*
- (DOC03) *“Manual de tratamiento Físico Químico de agua para riego 2013”, Junta de Usuarios de riego presurizado del distrito de riego Moche Virú Chao.*
- (DOC04) *“Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos 2012”, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Perú.*
- (DOC05) *DS 002-2008-MINAM, “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”, Perú.*
- (DOC06) *“Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación (2000)”, Sedapal Perú.*
- (DOC07) *“Guía de Introducción Autocad P&ID”*

INTERNET

- (URL01) Ministerio de Agricultura y Riego, Gobierno del Perú.
<http://www.minag.gob.pe>
Último acceso: 10 de Setiembre del 2014.
- (URL02) Proyecto Especial Chavimochic, Gobierno del Perú.
<http://www.chavimochic.gob.pe>
Último acceso: 12 de Setiembre del 2014.
- (URL03) Universidad del País Vasco
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>

Último acceso: 22 de Setiembre del 2014

- (URL04) Sedapal

<http://www.sedapal.com.pe/>

Último acceso: 02 de Setiembre del 2014

- (URL05) Schneider Electric

<http://www.schneider-electric.com/>

Último acceso: 20 de octubre del 2015

- (URL06) Allen Bradley

<http://ab.rockwellautomation.com/>

Último acceso: 20 de octubre del 2015

ANEXOS

Agua de Canal		Presedimentador - Flocculante			
Turbidez de Ingreso (NTU)	Color	C1 Dosis (g/1000L)	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	C2 (SEGÚN CUADRO Y FORMULA)	Q2 (CAUDAL A TRATAR) m3/h
280	ceniza	300	8.50121	0.0359797	4253
275.7	ceniza	300	8.47890	0.0355675	4291
297	ceniza	300	8.53592	0.0375940	4087
275	ceniza	300	8.46089	0.0355002	4290
295	ceniza	300	8.78609	0.0374053	4228
268	ceniza	300	8.31548	0.0348252	4298
289	ceniza	300	8.59538	0.0368374	4200
220	ceniza	300	7.58661	0.0300658	4542
275.9	ceniza	300	8.47755	0.0355867	4288
266.7	ceniza	300	8.28350	0.0346993	4297
290.6	ceniza	300	8.59586	0.0369891	4183
280.3	ceniza	300	8.50399	0.0360084	4251
259.6	ceniza	300	8.23966	0.0340091	4361
273.3	ceniza	300	8.47492	0.0353367	4317
288.4	ceniza	300	8.58209	0.0367804	4200
267.8	ceniza	300	8.29346	0.0348058	4289
208	ceniza	300	7.11289	0.0288360	4440
271.8	ceniza	300	8.46763	0.0351922	4331
228	ceniza	300	7.61612	0.0308762	4440
237	ceniza	300	8.15842	0.0317792	4621
273.9	ceniza	300	8.47107	0.0353945	4308
271.3	ceniza	300	8.46384	0.0351440	4335
274.5	ceniza	300	8.47701	0.0354522	4304
277.1	ceniza	300	8.48317	0.0357019	4277
268.9	ceniza	300	8.31881	0.0349122	4289
285	ceniza	300	8.57146	0.0364571	4232
279	ceniza	300	8.50850	0.0358840	4268
261.4	ceniza	300	8.25368	0.0341846	4346
285.3	ceniza	300	8.58020	0.0364856	4233
294.3	ceniza	300	8.60254	0.0373392	4147
294.6	ceniza	300	8.60492	0.0373675	4145
289	ceniza	300	8.59334	0.0368374	4199
291.5	ceniza	300	8.59096	0.0370744	4171
292	ceniza	300	8.60193	0.0371217	4171
294.2	ceniza	300	8.60658	0.0373298	4150
280.3	ceniza	300	8.49999	0.0360084	4249
301	ceniza	300	9.10233	0.0379703	4315
272.9	ceniza	300	8.47157	0.0352982	4320
279.5	ceniza	300	8.51186	0.0359319	4264
302	ceniza	300	9.13753	0.0380642	4321
334	ceniza	300	9.18125	0.0410284	4028
323	ceniza	300	9.15968	0.0400180	4120
324	ceniza	300	9.15405	0.0401102	4108
340	ceniza	300	9.18829	0.0415760	3978
330	ceniza	300	9.16702	0.0406620	4058
350	ceniza	300	9.19523	0.0424831	3896
342	ceniza	300	9.19139	0.0417579	3962
331	ceniza	300	9.17412	0.0407537	4052
367	marron	300	9.20791	0.0440102	3766
333	marron	300	9.17897	0.0409369	4036
380	marron	300	9.22637	0.0451658	3677
373	marron	300	9.21583	0.0445448	3724
342	marron	300	9.18443	0.0417579	3959
385	marron	300	9.23046	0.0456075	3643
335	marron	300	9.18344	0.0411199	4020
247.4	marron	300	8.18290	0.0328118	4489

290	ceniza	300	8.59085	0.0369322	4187
258.2	ceniza	300	8.25736	0.0338725	4388
270	ceniza	300	8.31690	0.0350185	4275
295	ceniza	300	8.77986	0.0374053	4225
264	ceniza	300	8.26116	0.0344374	4318
268	ceniza	300	8.31355	0.0348252	4297
290.2	ceniza	300	8.60142	0.0369512	4190
266.8	ceniza	300	8.29160	0.0347090	4300
267.4	ceniza	300	8.29389	0.0347671	4294
269.8	ceniza	300	8.31037	0.0349992	4274
285.7	ceniza	300	8.41871	0.0365237	4149
289.3	ceniza	300	8.58769	0.0368658	4193
270.3	ceniza	300	8.31210	0.0350475	4269
299.7	ceniza	300	8.92796	0.0378482	4246
298.5	ceniza	300	8.92649	0.0377353	4258
271.5	ceniza	300	8.32393	0.0351633	4261
296.9	ceniza	300	8.83028	0.0375846	4229
285.9	ceniza	300	8.41904	0.0365427	4147
285.5	ceniza	300	8.57860	0.0365047	4230
283.9	ceniza	300	8.55287	0.0363522	4235
286.9	ceniza	300	8.42060	0.0366379	4137
280.2	ceniza	300	8.51373	0.0359989	4257
279.7	ceniza	300	8.51640	0.0359510	4264
296	ceniza	300	8.53118	0.0374997	4095
308	ceniza	300	9.13288	0.0386259	4256
314	ceniza	300	9.14094	0.0391848	4199
331	ceniza	300	9.16959	0.0407537	4050
339	ceniza	300	9.18199	0.0414849	3984
329	ceniza	300	9.16211	0.0405702	4065
372	ceniza	300	9.21224	0.0444559	3730
346	ceniza	300	9.18941	0.0421211	3927
370	ceniza	300	9.20240	0.0442778	3741
364	ceniza	300	9.18583	0.0437420	3780
333	ceniza	300	9.17897	0.0409369	4036
379	ceniza	300	9.23332	0.0450773	3687
361	ceniza	300	9.21393	0.0434733	3815
405	ceniza	300	10.29821	0.0473602	3914
381	ceniza	300	9.23438	0.0452543	3673
377	ceniza	300	9.22446	0.0449000	3698
259	ceniza	300	8.16889	0.0339506	4331
302	ceniza	300	9.13541	0.0380642	4320
301	ceniza	300	9.10233	0.0379703	4315
307	ceniza	300	9.14718	0.0385325	4273
317	ceniza	300	9.14231	0.0394632	4170
311	ceniza	300	9.14500	0.0389057	4231
316	ceniza	300	9.13614	0.0393705	4177
331	ceniza	300	9.17185	0.0407537	4051
341	ceniza	300	9.18989	0.0416670	3970
345	ceniza	300	9.18831	0.0420304	3935
330	ceniza	300	9.16702	0.0406620	4058
371	ceniza	300	9.21352	0.0443669	3738
369	ceniza	300	9.20106	0.0441886	3748
361	ceniza	300	9.21151	0.0434733	3814
364	ceniza	300	9.19312	0.0437420	3783
357	ceniza	300	9.17373	0.0431141	3830

Anexo01: Caudales de Inyección estimados para Floculante

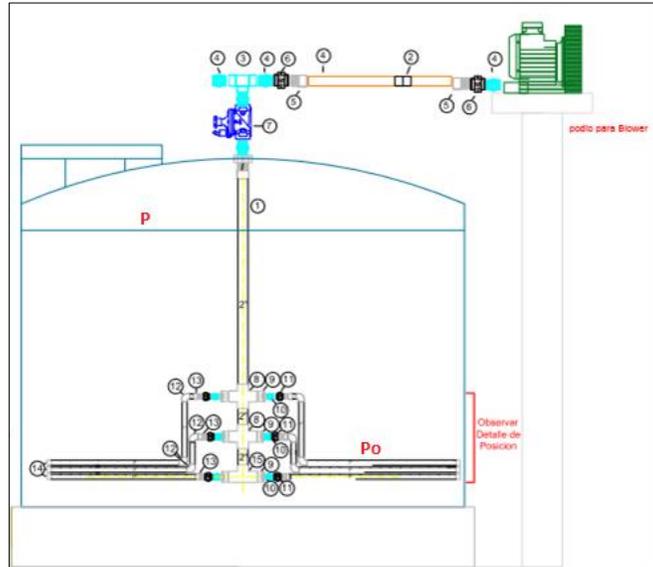
Fuente: Elaboración Propia

Agua de Canal		Sedimentador - Coagulante			
Turbidez de Ingreso (NTU)	Color	C1 Dosis (g/1000L)	Q1 Caudal de Inyección (L/minuto)	C2(SEGÚN CUADRO Y FORMULA)	Q2 (CAUDAL A TRATAR)
25.4	ceniza	9900	6.62875	1.371943	2870
34.8	ceniza	9900	7.52961	1.389003	3220
30.3	ceniza	9900	6.83444	1.380836	2940
28	ceniza	9900	6.60520	1.376662	2850
37.6	ceniza	9900	7.97492	1.394085	3398
28.2	ceniza	9900	6.65330	1.377025	2870
32.5	ceniza	9900	7.22722	1.384829	3100
37.1	ceniza	9900	8.02133	1.393178	3420
26.9	ceniza	9900	6.66504	1.374665	2880
30.7	ceniza	9900	6.85664	1.381562	2948
37.3	ceniza	9900	8.04688	1.393541	3430
34.8	ceniza	9900	7.52961	1.389003	3220
31.4	ceniza	9900	7.00728	1.382833	3010
33.6	ceniza	9900	7.33103	1.386825	3140
32	ceniza	9900	7.22249	1.383922	3100
30.4	ceniza	9900	6.82371	1.381018	2935
36.7	ceniza	9900	7.82961	1.392452	3340
31.8	ceniza	9900	7.12742	1.383559	3060
37	ceniza	9900	8.09064	1.392996	3450
28.6	ceniza	9900	6.61042	1.377751	2850
30.1	ceniza	9900	6.83264	1.380473	2940
35.2	ceniza	9900	7.72072	1.389729	3300
33.7	ceniza	9900	7.34833	1.387007	3147
31	ceniza	9900	7.09668	1.382107	3050
30.6	ceniza	9900	6.83714	1.381381	2940
32	ceniza	9900	7.19919	1.383922	3090
31.9	ceniza	9900	7.14233	1.383740	3066
27	ceniza	9900	6.64278	1.374847	2870
32.6	ceniza	9900	7.25615	1.385011	3112
36.3	ceniza	9900	7.80679	1.391726	3332
34.6	ceniza	9900	7.52765	1.388640	3220
32.6	ceniza	9900	7.22817	1.385011	3100
28	ceniza	9900	6.63764	1.376662	2864
33.7	ceniza	9900	7.32031	1.387007	3135
29	ceniza	9900	6.76243	1.378477	2914
28.7	ceniza	9900	6.60201	1.377932	2846
35	ceniza	9900	7.71870	1.389366	3300
30.9	ceniza	9900	6.82122	1.381925	2932
31.3	ceniza	9900	7.05059	1.382651	3029
35	ceniza	9900	7.70701	1.389366	3295
32.4	ceniza	9900	7.24725	1.384648	3109
39.1	ceniza	9900	8.42082	1.396808	3581
38.2	ceniza	9900	8.27240	1.395174	3522
33	ceniza	9900	7.32527	1.385736	3140
40.9	ceniza	9900	8.59608	1.400075	3647
46.1	ceniza	9900	9.16895	1.409512	3864
39.4	ceniza	9900	8.43116	1.397352	3584
40.3	ceniza	9900	8.52581	1.398986	3620
36.4	ceniza	9900	7.81015	1.391907	3333
29	ceniza	9900	6.71833	1.378477	2895
38.5	ceniza	9900	8.22158	1.395719	3499
37	ceniza	9900	8.09298	1.392996	3451
33.4	ceniza	9900	7.31977	1.386462	3136
47.8	ceniza	9900	9.22231	1.412598	3878
33	ceniza	9900	7.28795	1.385736	3124
18.7	ceniza	9900	5.90384	1.359783	2579

27.5	ceniza	9900	6.62169	1.375754	2859
19.1	ceniza	9900	6.04212	1.360509	2638
23.8	ceniza	9900	6.38885	1.369039	2772
36.6	ceniza	9900	7.83093	1.392270	3341
21.8	ceniza	9900	6.24548	1.365409	2717
31	ceniza	9900	7.08504	1.382107	3045
24.9	ceniza	9900	6.49972	1.371035	2816
23.4	ceniza	9900	6.39237	1.368313	2775
29.7	ceniza	9900	6.75937	1.379747	2910
25.4	ceniza	9900	6.65184	1.371943	2880
26.9	ceniza	9900	6.75761	1.374665	2920
27.4	ceniza	9900	6.69260	1.375573	2890
27.9	ceniza	9900	6.65762	1.376480	2873
28.6	ceniza	9900	6.70320	1.377751	2890
32.1	ceniza	9900	7.20013	1.384103	3090
27.9	ceniza	9900	6.74800	1.376480	2912
30	ceniza	9900	6.85498	1.380292	2950
28.9	ceniza	9900	6.77546	1.378295	2920
32.1	ceniza	9900	7.20013	1.384103	3090
29	ceniza	9900	6.70673	1.378477	2890
28.4	ceniza	9900	6.62027	1.377388	2855
34.1	ceniza	9900	7.47600	1.387733	3200
31.4	ceniza	9900	7.07712	1.382833	3040
30.4	ceniza	9900	6.96089	1.381018	2994
37.9	ceniza	9900	8.05317	1.394630	3430
32.9	ceniza	9900	7.27766	1.385555	3120
46.3	ceniza	9900	9.18555	1.409875	3870
45	ceniza	9900	9.06355	1.407516	3825
36.3	ceniza	9900	7.84427	1.391726	3348
37.3	ceniza	9900	7.96242	1.393541	3394
38.9	ceniza	9900	8.20470	1.396445	3490
39.3	ceniza	9900	8.44653	1.397171	3591
38.6	ceniza	9900	8.28140	1.395900	3524
32.1	ceniza	9900	7.20013	1.384103	3090
37.8	ceniza	9900	7.97934	1.394448	3399
36	ceniza	9900	7.84589	1.391181	3350
49	ceniza	9900	9.41517	1.414776	3953
46	ceniza	9900	9.11083	1.409331	3840
45.4	ceniza	9900	9.00421	1.408242	3798
28.4	ceniza	9900	6.71766	1.377388	2897
32.8	ceniza	9900	7.21607	1.385374	3094
27.6	ceniza	9900	6.53917	1.375936	2823
30.1	ceniza	9900	6.90237	1.380473	2970
31.7	ceniza	9900	7.07991	1.383377	3040
29.8	ceniza	9900	6.80672	1.379929	2930
33	ceniza	9900	7.32527	1.385736	3140
42.4	ceniza	9900	8.71435	1.402797	3690
32.5	ceniza	9900	7.20857	1.384829	3092
38.6	ceniza	9900	8.28845	1.395900	3527
30.2	ceniza	9900	6.96371	1.380655	2996
41.3	ceniza	9900	8.61940	1.400801	3655
32.4	ceniza	9900	7.22627	1.384648	3100
41.6	ceniza	9900	8.61096	1.401345	3650
31.1	ceniza	9900	7.07899	1.382288	3042
34.2	ceniza	9900	7.47698	1.387914	3200

Anexo02: Caudales de Inyección estimados para Coagulante.

Fuente: Elaboración propia



$$P = P_0 + \rho \cdot \Delta h \cdot g \quad \text{Principio de Pascal}$$

Donde:

P= Presión en la parte superior del tanque (Pa).

Po= Presión en la parte inferior del tanque (101 325 Pa).

ρ = Densidad del fluido (4.6 Kg/L).

Δh = Diferencia de alturas (1.75 m).

g= Gravedad (9.81 m/s²).

$$P_0 = 101325 \text{ Pa} - 4600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (1.75\text{m}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

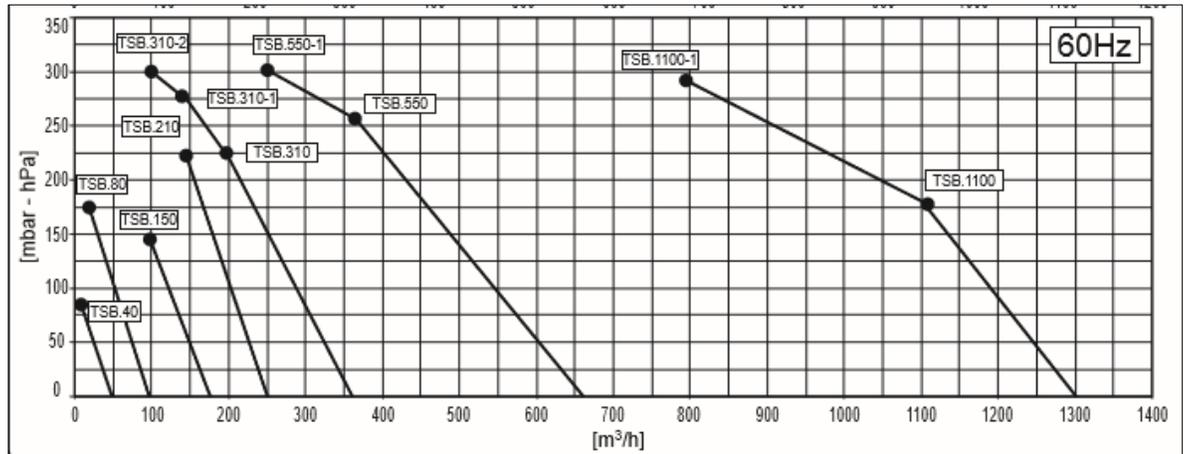
$$P = 22354.5 \text{ Pa}$$

$$P = 223.54 \text{ hPa}$$

Anexo03: Diseño del sistema de Mezclado – Etapa de Preparación.

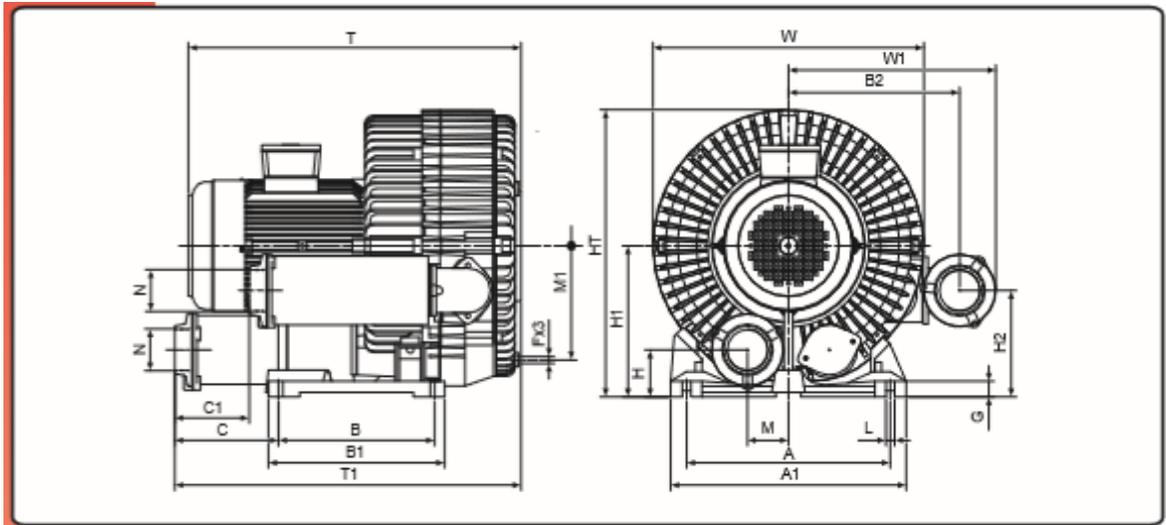
Fuente: Elaboración propia.

De la siguiente gráfica obtenemos el modelo de Soplador trifásico con su caudal de trabajo para una presión de 223.54 hPa:



Anexo04: Curva para selección turbinas trifásicas de una etapa en compresión.

Fuente: Ficha técnica de sopladores DVP.



Modello Modell Modelo	Codice Art-Nr. Code Codigo	kW		V ±5%		A		m³/h		mbar		dB(A)		kg	Ø "G	
		50Hz	60Hz	50Hz	ΔY	50Hz	60Hz	ΔY	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz			50Hz
TSB.40	9402030	0,2	0,25	230/400		0,9/0,5	266/460	1,1/0,6	40	48	70	80	52	55	6,5	1"
TSB.80	9402031	0,37	0,45	230/400		2,1/1,2	266/460	2,3/1,3	80	96	130	170	58	61	11	1-1/4"
TSB.150	9402032	0,75	0,90	230/400		3,3/1,9	266/460	3,6/2,1	150	175	140	140	63	64	14,5	1-1/2"
TSB.210	9402033	1,5	1,8	230/400		6,7/3,9	266/460	7,0/4,0	210	250	220	220	70	73	23	2"
TSB.310	9402034	2,2	2,7	230/400		9,7/5,6	266/460	10,7/6,2	310	360	200	220	72	77	32	2"
TSB.310-1	9402035	3,0	3,6	230/400		12,5/7,2	266/460	13,5/7,8	310	360	280	280	72	77	35	2"
TSB.310-2	9402036	4	4,8	230/400		14,2/8,2	266/460	16,2/9,3	310	360	310	300	72	77	38	2"
TSB.550	9402037	5,5	6,5	230/400		21/12	266/460	26,6/15,3	550	660	270	260	74	79	78	2-1/2"
TSB.550-1	9402038	7,5	9	400/690		15,1/8,7	460/-	19,1/-	550	660	300	300	74	79	86	2-1/2"
TSB.1100	9402039	9	11	400/690		20,2/11,7	460/-	20,8/-	1100	1300	190	180	76	81	100	4"
TSB.1100-1	9402040	13	15	400/690		26,3/15,2	460/-	28,9/-	1100	1300	290	290	76	81	112	4"

Anexo05: SOPLADOR DVP TSB-210

Fuente: Web DVP

Product data sheet
Characteristics

LA9RM201
liquid level measurement probe LA9 - 100°C

Compl
Diametr
Length
Type of
Product



Main

Commercial Status	Commercialised
Accessory / separate part designation	Probe for liquid level control
Accessory / separate part destination	Liquid level control relay
Accessory / separate part category	Relay accessories
Accessory / separate part type	Probe
Product compatibility	RM35LM RM4L RM84

16 mm
150 mm
Cable suspension
0.1 kg

Anexo06: SENSOR DE NIVEL LA9RM201 - Schneider
Fuente: Web Schneider

Supply circuit	Alimentation	Stromversorgung	Alimentación	Alimentazione	
Rated voltage supply Un	Tensions nominales d'alimentation Un	Nennspannung	Tensiones nominales de alimentación Un	Tensioni nominali di alimentazione	~ / ~ 24...240 V
Inputs and measuring circuit	Entrées et circuit de mesure	Eingänge und Messkreis	Entradas y circuito de medida	Ingressi e circuito di misurazione	
Measuring range	Gamme de mesure	Messbereich	Rangos de medida	Gamme di misurazione	250 Ω...1 MΩ
Measuring subrange	Sous gamme de mesure	Messunterbereich	Sub-gama de medida	Sottogamma di misurazione	LS 250 Ω...5 kΩ St 5 kΩ...100 kΩ HS 50 kΩ...1 MΩ
Timing circuit	Temporisations	Verzögerungen	Temporización	Temporizzazioni	
Threshold overshoot time delay T1	Temporisation au franchissement du seuil	Timeout beim Über- bzw. Unterschreiten des Schwellwerts T1	Temporización T1 sobre o bajo carga	Temporizzazione T1 sopra o sotto carico	0,1...5 s 0,1...5 s
Service conditions	Conditions de fonctionnement	Betriebsbedingungen	Condiciones de funcionamiento	Condizioni di funzionamento	
Operating temperature	Température de fonctionnement	Betriebstemperatur	Temperatura de funcionamiento	Temperatura di funzionamento	°C - 20...+ 50 °F - 4...+ 122
Storage temperature	Température de stockage	Lagerungs-temperatur	Temperatura de almacenamiento	Temperatura d'immagazzinamento	°C - 40...+ 70 °F - 40...+ 158
Relative Humidity (non-condensing)	Humidité relative (sans condensation)	Relative Luftfeuchtigkeit (ohne Kondensation)	Humedad relativa (no condensante)	Umidità relativa (senza condensa)	max. 95 %
Pollution Degree Cat III/3	Degré de pollution Cat III/3	Verschmutzungsgrad Kat III/3	Grado de contaminación Cat III/3	Grado d'inquinamento Cat III/3	IEC60664-1/60255-5
Degree of Protection - Terminals : - Housing :	Degré de protection - Bornier : - Boîtier :	Schutzart - Klemme : - Gehäuse :	Grado de protección - Termina : - Caja :	Grado di protezione - Morsettilera : - Involucro :	IP 20 IP 30

Anexo07: RELE DE CONTROL DE NIVEL RM35LM - Telemecanique
Fuente: Web Telemecanique



Características técnicas

Rango	0...1000 NTU 0...10000 PPM (mg/l)
Resolución	0,001 en 0... 1000 NTU 0,01 en 0...10,00 NTU 0,1 en 0...100,0 NTU 1 en 0...1000 NTU
Precisión	± 5% en escala 0...100 NTU ± 10% en escala 0...1000 NTU
Tiempo de respuesta	10 segundos
Método de medida	Nefelométrico (ISO 7027 - EN 27027)
Fuente de luz	LED I.R. 890 nm
Preamplificador	Incorporado
Alimentación	±12 Vcc (indicador TU 7685)
Temperatura de trabajo	0...50 °C
Presión max.	6 bar
Sumergible	Hasta 25 metros
Presión aire	3 bar max.

Anexo08: SENSOR DE TURBIDEZ TUR 2000 - Optisens

Fuente: Web Obtisens

Electrical connections

General	Electrical connection is carried out in conformity with the VDE 0100 directive "Regulations for electrical power installations with line voltages up to 1000 V" or equivalent national regulations.
Power supply	
Voltage	100... 230 VAC (-15% / +10%), 50/60 Hz; 240 VAC + 5% is included in the tolerance range. 12...24 VAC/DC [in preparation]
Power consumption	4.2 W, 10 VA at 230 VAC
Fuse	0.8 AT/250V (high breaking capacity), 5 x 20 mm / 0.2 x 0.8"
Line frequencies	50/60 Hz
Power rating	22 VA (maximum)
Inrush current	$I_{N, eff} = 97 \text{ mA}$, $t_{15} = 1.5 \text{ ms}$, $t_{peak} = 200 \text{ } \mu\text{s}$, $I_{peak} = 22.6 \text{ A}$
Cable entries	1 channel: 4 x M20 2 channels (separate temperature sensor): 3 x M20, double PG two times 5 mm / 0.20" screwed connection for sensor cables 2 channels (integrated temperature sensor): 3 x M20, double PG two times 8 mm / 0.31" screwed connection for sensor cables

Anexo09: TRANSMISOR MAC 100 – Optisens

Fuente: Web Obtisens



La gama EV260B se compone de válvulas solenoides servoaccionadas de 2 vías con función de modulación proporcional y conexiones de tamaños comprendidos entre 1/4" y 3/4". Mediante la regulación continua de la corriente de la bobina, es posible situar la armadura en cualquier posición del tubo de la armadura y, de este modo, ajustar la bobina entre las posiciones de cierre completo y apertura completa. La válvula se abre totalmente cuando la corriente de la bobina alcanza su máximo valor.

Características y versiones:

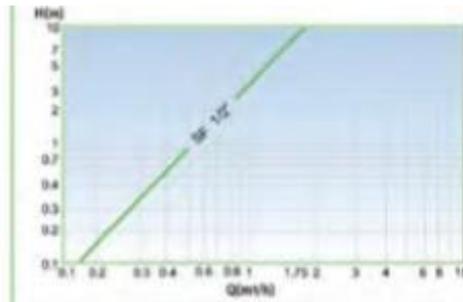
- Para agua, aceite y líquidos neutros similares
- Característica lineal en todo el rango de regulación
- Se cierra en caso de fallo del suministro eléctrico (funcionamiento a prueba de fallos)
- Rango de caudal completo: 0,5 – 12,7 m³/h
- Presión diferencial: 0,5 – 10 bar
- Temperatura del medio: -10 – 80 °C
- Temperatura ambiente: 50 °C, máx.
- Protección de la bobina: IP67, máx.
- Conexiones roscadas: G 1/4 – G 3/4
- DN 6 – 20
- Versión NC en latón
- Señal piloto estándar de 4 – 20 mA o 0 – 10 V c.c.
- Disponible con rosca G y NPT

Datos técnicos, bobina

Aislamiento de los bobinados de la bobina	400 kΩ para señal piloto de 0 – 10 V; 250 Ω para señal piloto de 4 – 20 mA
Resistencia de la bobina	23,5 Ω a una temperatura ambiente de 20 °C
Aislamiento de los bobinados de la bobina	Clase H según norma IEC 85
Ciclo de trabajo nominal	Continuo

Anexo10: ELECTROVALVULA PROPORCIONAL DE FLUJO EV260B

Fuente: Web Obtisens



Referencia	Descripción
600300030	Contador SF 3/4" PQ E 1/0,1 L
600300040	Contador SF 3/4" PQ E 1/1 L

El SF es un contador para fertilizantes y productos químicos con salida de pulsos.

El impulsor es la única parte que se mueve, dentro del contador, que viene en contacto con el líquido.

CARACTERÍSTICAS

- Componentes de plástico resistentes a la corrosión.
- Pequeño y ligero y de alta precisión.
- La hélice es el único elemento móvil que entra en contacto con el líquido.
- Incorpora emisor de pulsos para control externo del consumo.

Anexo11: CAUDALIMETRO MODELO SF – Arad

Fuente: Web Arad

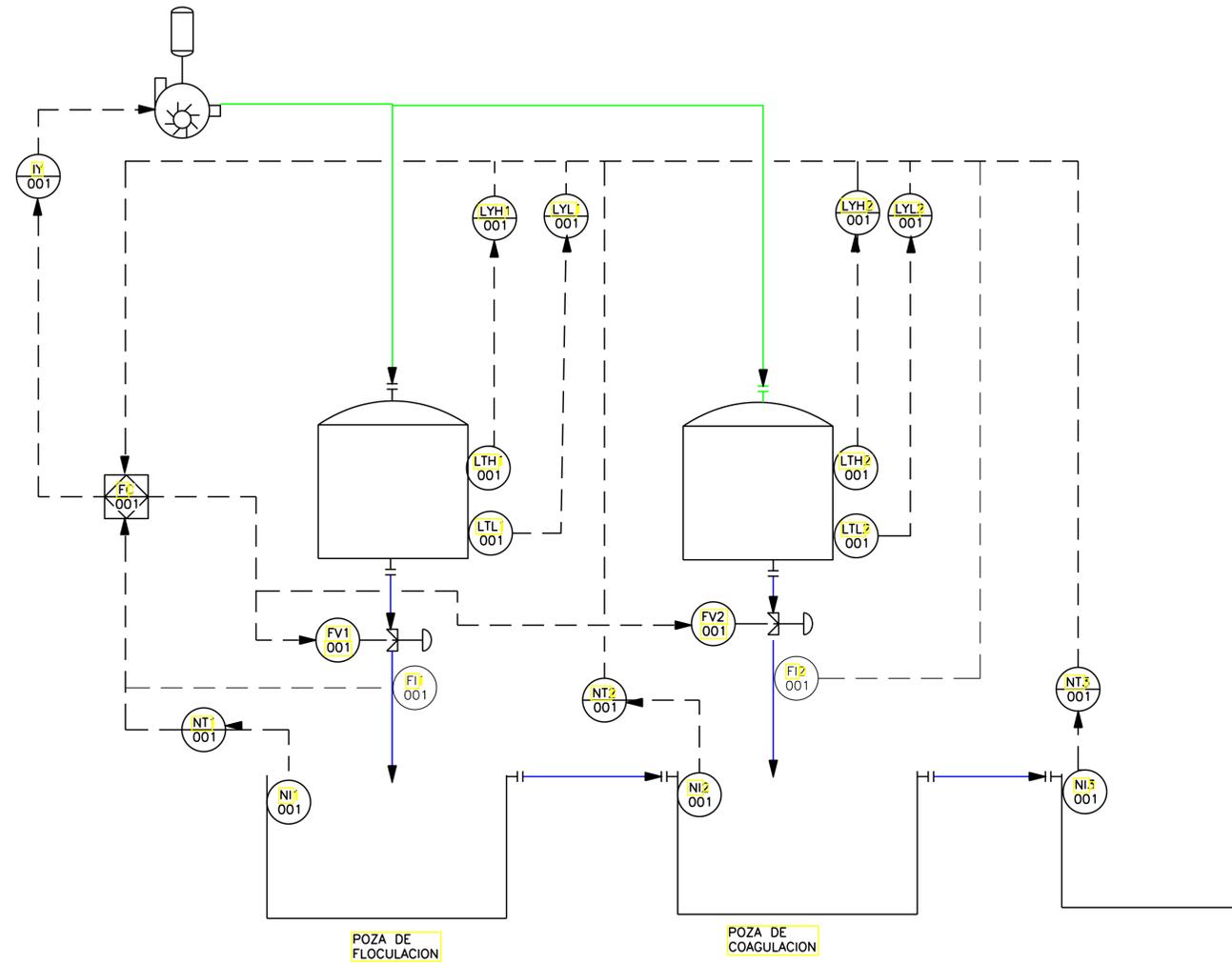
Micro820	20-pt QWB(R)	20-pt QBB(R)	20-pt AWB(R)
Base			
Fuente de alimentación eléctrica	La base incorpora una fuente de alimentación eléctrica de 24 VCC. Externa opcional de 120/240 VCA a través de N° de cat. 2080-PS120-240VAC		
Puerto de programación base	Puerto Ethernet incorporado		
Puerto EtherNet/IP™ base	EtherNet/IP clase 3, Modbus TCP		
Puerto serial base	RS232/485 no aislado, CIP serial, Modbus RTU, ASCII		
Ranuras enchufables	2		
Salida de 10 V para termistores	1 referencia de salida (admite hasta cuatro termistores de 10 k)		
Salida de PWM	5 kHz		
Ranura para tarjetas microSD	1		
Formatos de tarjetas microSD compatibles	FAT32/16		
Tamaño de la tarjeta microSD, máx.	32 GB		
Velocidad de clase de la tarjeta microSD	SDSC y SDHC de clases 6 y 10		
E/S			
E/S (entrada/salida) digitales	12/7 (4 entradas compartidas con entradas analógicas)		
Canales de E/S analógicos	4/1		
Programación			
Software	Connected Components Workbench		
Pasos del programa (o instrucciones)	10 Ksteps		
Datos (bytes)	20 Kbytes (hasta 400 bytes no volátil)		
Lenguajes IEC 61131-3	Diagrama de lógica de escalera, bloques de funciones, texto estructurado		
Bloques de funciones definidos por el usuario	Sí		

Pantalla de cristal líquido	
Comunicaciones	
Puerto serial incorporado	RS232 (se conecta al puerto RS232 incorporado del controlador)
Puerto USB incorporado	Puerto de programación del controlador (paso de USB a serial)
Ambientales	
Rango de temperaturas (pantalla LCD)	0 °C...50 °C
Dimensiones (alto x ancho x profundidad, mm)	97 x 130 x 36

Número de catálogo	Módulos enchufables
2080-IQ4	Entrada digital de 4 puntos, 12/24 VCC, drenador/surtidor, tipo 3
2080-OB4	Salida digital de 4 puntos, 12/24 VCC, surtidor
2080-OV4	Salida digital de 4 puntos, 12/24 VCC, drenador
2080-OW4I	Salida de relé de 4 puntos, aislada individualmente, 2 A
2080-IQ4OB4	Combinación de 8 puntos: Entrada digital de 4 puntos, 12/24 VCC, drenador/surtidor, tipo 3 y salida digital de 4 puntos, 12/24 VCC, surtidor
2080-IQ4OV4	Combinación de 8 puntos: Entrada digital de 4 puntos, 12/24 VCC, drenador/surtidor, tipo 3 y salida digital de 4 puntos, 12/24 VCC, drenador
2080-IF2, 2080-IF4	Entrada analógica de 2/4 canales, 0-20 mA, 0-10 V, 12 bits no aislados
2080-OF2	Salida analógica de 2 canales, 0-20 mA, 0-10 V, 12 bits no aislados
2080-SERIALISOL	Puerto serial aislado RS232/485
2080-TRIMPOT6	Entrada analógica de potenciómetro de ajuste de 6 canales

Anexo12: CONTROLADOR PLC MICRO820 – Allen Bradley

Fuente: Web Allen Bradley



General Notes

NI:Sensor de Turbidez

NT:Transmisor de Turbidez

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
P&ID Sedimentación
Proceso de Floculación y Coagulación

Project Name and Address
Proyecto de Tesis

Area Automatización	Stamp
Drawing Number 0001	
Author Peter Corrales y Jonathan Ching	