



Vigilada Mineducación

GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS

CÓDIGO FO-GS-15

VERSIÓN 02

ESQUEMA HOJA DE RESUMEN

FECHA 03/04/2017

PÁGINA 1 de 1

ELABORÓ

REVISÓ

APROBÓ

Jefe División de Biblioteca

Equipo Operativo de Calidad

Líder de Calidad

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): LEYDI JOHANNA APELLIDOS: BOTELLO CONTRERAS

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): ANGELÓ JOSEPH APELLIDOS: SOTO VERGEL

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LOS TANQUES DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL PÓRTICO DE LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P. EN NORTE DE SANTANDER.

RESUMEN

El proyecto tuvo como finalidad diseñar un sistema de automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del pórtico de la empresa aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P en Norte de Santander. Para ello se estudió la implementación de equipos como variadores de frecuencia, turbidímetros y computadores de mesa que permitieran tener el funcionamiento independiente, monitoreado en tiempo real. La planta de tratamiento de agua del pórtico de la empresa aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P, cuenta actualmente con un sistema de floculación dependiente, es decir, opera de forma manual. Esto genero la necesidad de buscar alternativas de mejoramiento para el proceso de floculación. Para entender un poco el comportamiento del agua, se tomaron muestras en cada uno de los tanques presentes en el proceso durante diferentes días para medir los niveles de turbidez, esto con el fin de obtener las RPM con que deberían operar las paletas dentro de cada tanque, ya que la turbidez no es constante. Por esto se diseñó un sistema con base en sensores de turbidez y variadores de frecuencia para asegurar la operación optima del proceso de floculación.

PALABRAS CLAVES: Automatización, diseño, turbidímetros, floculación.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 72 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: _____

****Copia No Controlada****

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LOS TANQUES DEL
PROCESO DE FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL PÓRTICO DE
LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P. EN NORTE DE SANTANDER.

LEYDI JOHANNA BOTELLO CONTRERAS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LOS TANQUES DEL
PROCESO DE FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL PÓRTICO DE
LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P. EN NORTE DE SANTANDER.

LEYDI JOHANNA BOTELLO CONTRERAS

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: ING. ÁNGELO JOSEPH SOTO VERGEL

CODIRECTOR: ING. LUIS CORDERO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 09 DE MARZO DE 2020
Hora: 10:00
Lugar: EDIFICIO AULAS SUR BLOQUE C SALON 302
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LOS TANQUES DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL PORTICO DE LA EMPRESA AGUAS KPITAL CUCUTA S.A. ES.P. EN NORTE DE SANTANDER."
Jurados: IE MSc. SERGIO ALEXANDER CASTRO CASADIEGO
IT. ES.P. WILLIAM CARLOS GUTIERREZ MEJIA
Director: IE MSc. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL
Codirector: ING. LUIS CORDERO

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
LEYDI JOHANNA BOTELLO CONTRERAS	1161114	CUATRO, DOS (4,2)

APROBADA


SERGIO A. CASTRO CASADIEGO


WILLIAM C. GUTIERREZ MEJIA


DINAEL GUEVARA IBARRA, IE PhD
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Yo Leydi Johanna Botello Contreras, identificada con la C.C. N° 1.090.458.685, autora de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Diseño de un sistema de automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del pórtico de la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P. En Norte De Santander. presentado y aprobado en el año: 2019 como requisito para optar al título de ingeniera electrónica; autorizo a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que, con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

LEYDI BOTELLO
1090458685
FIRMA Y CEDULA

Dedicatoria

A Dios y a la virgen por guiar mi camino y permitirme alcanzar este gran sueño. A mi familia mis padres, mi hermana, mis abuelos, mi piojito son complemento importante en mi vida, pero especialmente a mi madre Yarissa Contreras y mi abuela Beatriz Pérez, por estar a mi lado por creer, confiar, apoyar y jamás dejarme desistir, por dar todo siempre para ayudarme alcanzar este sueño.

A mi compañero de vida John Ortega por llegar en el momento indicado y convertirse en mi complemento perfecto brindándome su amor, cariño, comprensión, pero en especial su apoyo para concluir esta meta tan grande que hoy finalmente puedo alcanzar.

A todos gracias de todo corazón pues han sido el gran motor de mi vida, la razón por la cual soy tan feliz y agradezco en todo momento a la vida los amo con todo mi corazón siempre serán mi motivación más grande para lograr todo lo que me proponga.

Leydi Johanna Botello Contreras

Agradecimientos

La autora expresa sus agradecimientos a:

La empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S. P por confiar y permitir hacer parte de su familia, a la señora Yasmín Escobar, el señor Eduardo Noya y el ingeniero Luis Cordero por brindarme su colaboración al momento de realizar este proyecto.

Al ingeniero Ángel Soto por aceptar dirigir y guiar este proyecto, supervisando que cada objetivo propuesto fuera alcanzado. Al ingeniero Miguel Ángel Califa en cabeza de ROG ingeniería y servicios electrónicos encargado de suministrar la información necesaria para acoplar los elementos del sistema de automatización.

A todas gracias por aportar su granito de arena para que hoy este sueño sea una maravillosa realidad.

Tabla de contenido

Introducción	15
1. Planteamiento del problema	16
2. Justificación	18
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivo específico	20
4. Delimitación	21
4.1 Limitaciones	21
4.2 Alcances	21
5. Marco referencial	22
5.1 Antecedentes	22
5.2 Marco teórico	27
5.2.1 Automatización	27
5.2.2 Floculación	28
5.2.3 Equipos	29
5.3 Marco legal	31
6. Diseño metodológico	33
7. Resultados	35
7.1 Variables de control en el sistema de floculación en la planta	35
7.1.1 Selección de las variables de control	38
7.2 Sistema automatizado a partir de las variables de control identificadas en el proceso de floculación	39

7.2.1 Toma de datos al proceso de floculación	40
7.2.2 Sistema de control del proceso de floculación	44
7.2.2.1 Cableado de control	44
7.2.2.2 Elementos de protección	45
7.2.3 Componentes de control en el proceso de floculación	45
7.2.3.1 Variadores de frecuencia SD300742F	45
7.2.3.1.1 Interfaz de comunicación	45
7.2.3.2 Turbidímetro Solitax ts-line sc Turbidity	46
7.2.4 Resumen general del sistema	47
7.2.5 Selección de la estación remota	47
7.2.6 Sistema de respaldo	49
7.3 Simulación del sistema propuesto para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto	51
7.3.1 Simulación en LabView	53
7.3.2 Desarrollo y simulación del algoritmo en JavaScript (NodeJs)	54
7.4 Evaluación del proyecto basando la propuesta y análisis de costo/beneficio	62
7.4.1 Costo/beneficio	62
7.4.2 Especificaciones técnicas computador (estación remota)	62
7.4.3 Sistema de conexiones	63
8. Conclusiones	64
9. Recomendaciones	65
Referencias bibliográficas	66

Lista de figuras	Pag
figura 1. Variables afectadas por el actual funcionamiento del sistema de floculación	17
figura 2. Proceso industrial automatizado	27
figura 3. Tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del p3rtico.	29
figura 4. motor-reductor el3ctrico. fuente:(tercesa s.l, n.d.-b)	29
figura 5. Sonda de inmersi3n Solitax ts-line sc para medida de turbidez (0,001-4000 NTU)	30
figura 6. Variador de frecuencia	30
figura 7. Layout inicial de planta uno	36
figura 8. Layout actual de planta uno Fuente	37
figura 9. Diagrama de bloques general del sistema	47
figura 10. Cuadro comparativo para selecci3n de estaci3n remota	48
figura 11. Diagrama de bloques del funcionamiento del circuito	49
figura 12. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de respaldo	50
figura 13. Diagrama Servidor copia de seguridad	51
figura 14. Gr3fica en dos dimensiones Turbidez vs RPM	52
figura 15. Front Panel (Esquema del proceso en labview)	53
figura 16. Block Diagram (Diagrama de bloques del esquema del proceso en labview).	54
figura 17. P3gina web del gestor de paquetes NodeJs	54
figura 18. Int3rprete NodeJs	55

figura 19. Consola npm	56
figura 20. Línea de comando, uso de conector “ ”	57
figura 21. Línea de comando, uso del conector “&”	58
figura 22. Estructura del folder Public del proyecto	59
figura 23. Template index.html. Código base para todas las páginas del website	59
figura 24. Código fuente HTML y X-Template Vue-JS	60
figura 25. Vista del sistema de control realizado en NodeJs	60
figura 26. Vista global del software	61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Matriz Dofa	19
Tabla 2. Variables de control	39
Tabla 3. Registro de datos para la planta 1	41
Tabla 4. Registro de datos para la planta 2	42
Tabla 5. Velocidades en los motores de la sección uno en la planta 2	43
Tabla 6. Velocidades en los motores de la sección dos en la planta 2	44
Tabla 7. Protocolos de comunicación	46
Tabla 8. Valores de prueba turbidez/rpm	51

Lista de anexo

	Pág.
Anexo 1 lista de simulación turbidez/rpm	69
Anexo 2 Cotización	71

Resumen

El proyecto tuvo como finalidad diseñar un sistema de automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del pósito de la empresa aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P. en Norte de Santander. Para ello se estudió la implementación de equipos como variadores de frecuencia, turbidímetros y computadores de mesa que permitieran tener el funcionamiento independiente, monitoreado en tiempo real.

La planta de tratamiento de agua del pósito de la empresa aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P, cuenta actualmente con un sistema de floculación dependiente, es decir, opera de forma manual. Esto genero la necesidad de buscar alternativas de mejoramiento para el proceso de floculación. Para entender un poco el comportamiento del agua, se tomaron muestras en cada uno de los tanques presentes en el proceso durante diferentes días para medir los niveles de turbidez, esto con el fin de obtener las RPM con que deberían operar las paletas dentro de cada tanque, ya que la turbidez no es constante. Por esto se diseñó un sistema con base en sensores de turbidez y variadores de frecuencia para asegurar la operación optima del proceso de floculación.

Introducción

El Proyecto presento el diseño de un Sistema de automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del pósito de la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P. en Norte de Santander, con la finalidad optimizar este proceso, su funcionamiento y corrección de fallas (independientes por cada tanque), de esta manera se presentó a la empresa la propuesta de mejoramiento y modernización en la operación del proceso de floculación.

Para ilustrar la planta a tratar se elaboró un layout en el cual se muestra la interconexión de equipos concernientes del proceso e instrumentos utilizados para controlar. También se encuentra una breve descripción de todos los procesos involucrados y finalmente se muestra el diseño para automatizar esta parte del proceso.

Este diseño planteo una estación remota que puede ser representada por cualquier Sistema electrónico, capaz de comandar los variadores de frecuencia de forma supervisada o automática, en este caso especial se opta por un computador de escritorio capaz de ejecutar en su sistema operativo múltiples interpretes permitiendo ser programados por infinitos lenguajes de programación.

1. Planteamiento del problema

En Colombia son varias empresas que realizan procesos de tratamiento de purificación de agua potable, actualmente en la ciudad de Cúcuta la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S. P cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, ubicada en el pórtico. Parte del tratamiento consiste en el proceso de floculación, este consta de dos plantas compuestas la primera por tres (3) sistemas, cada uno con cuatro (4) tanques y la segunda por tres (3) sistemas, cada uno con cuatro (4) tanques.

Ambas plantas constituidas por tanques para el proceso de floculación presentan el mismo tipo de funcionamiento. Estos trabajan mecánicamente, cada sistema compuesto por un motor-reductor y un sistema de engranajes con cadenas que conecta todo el sistema de tanques entre sí, y de igual manera generan el movimiento de las aspas de cada tanque, para así realizar el proceso de mezcla lenta.

Actualmente el diseño de funcionamiento que presentan los sistemas de tanques genera un problema en el proceso de floculación, debido a que cada tanque no posee un sistema independiente que genere el movimiento de sus aspas, por lo que, al presentarse alguna falla mecánica en el motor-reductor, está produce que todo un sistema de tanques se detenga afectando todo el proceso o en su defecto que la falla sea un déficit en la potencia del motor-reductor y por lo tanto no genere el movimiento necesario de las aspas para el proceso de mezclado.

Con base en el contexto anterior se hizo necesario buscar una solución para resolver el siguiente interrogante. ¿Cómo diseñar la automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del Pórtico de la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A. ESP en san José de Cúcuta, Norte de Santander?



El sistema de control: Elimina la necesidad de un monitoreo constante y variación manual por parte del operario.

Figura 1. Variables afectadas por el actual funcionamiento del sistema de floculación

2. Justificación

Por medio de este proyecto se planteó un diseño de automatización del proceso de floculación y a su vez que el proceso de funcionamiento de los tanques de mezclado sea independiente uno del otro así mismo evitar una parada total de dicho proceso por alguna falla que se presente en el sistema mecánico que transmite el movimiento a las aspas dentro de cada tanque.

Actualmente el proceso no es del todo óptimo debido a que el sistema de funcionamiento dependiente que tienen los tanques entre sí, ya que cada sistema responde al movimiento de las aspas de cada tanque estos cuentan solo con un motor-reductor para su funcionamiento y además no se tiene un control de la velocidad requerida para el movimiento de dichas aspas.

Por medio de la automatización del proceso y rediseño del sistema mecánico de funcionamiento, se obtendría una mejora en el sistema de floculación, de igual forma se podrá llevar un control óptimo de la velocidad con que se mueven las aspas y adicional se evitará la detección total de todo un sistema por fallas mecánicas.

El proyecto beneficiara el proceso de floculación que realiza la planta de tratamiento de agua de la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P y así mismo la disminución del tiempo invertido en la solución de fallas correctivas y preventivas de los tanques de mezclado.

Para dar una mejor claridad del proceso actual de floculación se utilizó la herramienta de diagnóstico matriz Dofa para resaltar las debilidades y amenazas presentes en el proceso y conjuntamente las fortalezas y oportunidades que ofrece el proyecto planteado de automatización en dicho proceso.

Tabla 1. Matriz dofa

MATRIZ DOFA	
FORTALEZAS	DEBILIDADES
<p>* Rediseño del sistema de floculación que permite la independencia de los tanques.</p> <p>*Implementación de variadores de frecuencia para el control de las RPM de los motores-reductores.</p> <p>*Instalación del tablero de control para el sistema de floculación.</p> <p>*Disposición a mejorar el proceso de floculación por parte de Aguas Kpital.</p>	<p>*Controlar la turbidez adicionando químicos.</p> <p>*Falta de precisión en la medición de la turbidez.</p> <p>*Procesos manuales en la toma de datos.</p> <p>*Ausencia de respuesta oportuna a los cambios de la turbidez en el agua.</p>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<p>*Monitoreo a las variables en tiempo real en el proceso de floculación.</p> <p>*Entrega de la información de manera oportuna.</p> <p>*Sincronización de todo el proceso de floculación.</p> <p>*Asegura la óptima operación del sistema de floculación respecto a la turbidez.</p> <p>*Registro e historial de la data de monitoreo de las variables del proceso.</p> <p>*Reducción de costos correspondientes a la adquisición de químicos.</p> <p>*La automatización y control del proceso de floculación en la planta de tratamiento.</p>	<p>*Uso excesivo de químico para contra restar la turbidez del agua.</p> <p>*Afectaciones a la salud de la población por las condiciones presentes en el agua</p>

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseño de un sistema de automatización para los tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del p \acute{o} rtico de la empresa Aguas Kpital C \acute{u} cuta S.A E.S.P. En Norte De Santander.

3.2 Objetivos espec \acute{i} ficos

- Identificar variables de control en el sistema de floculaci \acute{o} n en la planta.
- Plantear un sistema automatizado a partir de las variables de control identificadas en el proceso de floculaci \acute{o} n.
- Elaborar la simulaci \acute{o} n del sistema propuesto para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto.
- Realizar la evaluaci \acute{o} n del proyecto basado la propuesta y an \acute{a} lisis de costo/beneficio.

4. Delimitación

4.1 Limitaciones

- Alto costo en la inversión inicial para la adquisición de los sensores (turbidímetro) por ende actualmente la empresa no cuenta con el presupuesto requerido para poder implementar el proyecto en su totalidad.

4.2 Alcances

- Se podrá llevar un monitoreo constante en los registros de turbidez, esto permitirá a la empresa llevar el control del funcionamiento.
- Permitirá que el sistema sea independiente, la detección y corrección de fallas en momentos precisos.
- El sistema tendrá capacidad de hacer ajustes y la retroalimentación con la información que se le programa de tal manera que sea autosuficiente para adaptarse a las condiciones presentes en el agua y este establecer las RPM necesarias para corregir la turbidez al momento de iniciar el proceso de floculación.

5. Marco referencial

En el proyecto convergen áreas y principios de estudio que son de gran importancia en los procesos industriales: automatización, sistemas de comunicación y control.

5.1 Antecedentes

Título: Diseño de un sistema de supervisión y control para la planta de tratamiento de agua en la empresa UCP BACKUS & JOHNSTON S.A.A. planta Motupe.

- **Autor:** Henry Wagner Farro Gómez & Edson Armando Esquerre Gil
- **País:** Perú
- **Institución:** Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
- **Resumen:** En este proyecto de grado desarrollaron un diseño de automatización para una planta de tratamiento de agua, utilizando un PLC esto con el fin de regular automáticamente el proceso de tratamiento del agua, garantizando que la obtención de agua tratada sea con las características fisicoquímicas planificadas por la empresa. El aporte de este proyecto se basa en mostrar la ventaja que se obtiene al implementar la automatización con un PLC ya que permite controlar el uso apropiado de los químicos necesarios en estos procesos evitando pérdidas y manteniendo un orden a la hora de desarrollar dichas acciones (Farro-Gomez & Esquerre-Gil, 2016).

Título: Automatización de la planta piloto intercambiador de calor del Laboratorio de Automatización y Procesos Industriales de la Universidad Javeriana Cali.

- **Autor:** Burbano Valencia Alejandro Alfredo
- **País:** Colombia – Cali
- **Institución:** Universidad Javeriana de Cali

- **Resumen** El objetivo del proyecto es proponer una estrategia de control automático para la Planta Piloto Intercambiador de Calor, presente en el Laboratorio de Automatización y Procesos Industriales. Para esto, diseñaron una metodología que está estructurada en 6 etapas: descripción de variables de proceso, obtención de datos del proceso, obtención del modelo matemático del proceso, elaboración del diseño de la estrategia de control, implementación y evaluación de la estrategia de control y, por último, la implementación del sistema de supervisión y pruebas (Burbano-Valencia, 2015).

Título: Propuesta de Automatización de los procesos de verificación y despachos en una empresa panificadora

- **Autor:** Diana María Romero Escobar
- **País:** Colombia - Bogotá
- **Institución:** Pontificia Universidad Javeriana
- **Resumen:** El proyecto tiene como finalidad dar respuesta a las necesidades específicas de la Empresa Panificadora, planteando alternativas basadas en la automatización industrial con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de distribución interna, el cual inicia con el embalaje de producto terminado y finaliza con el cargue de vehículos. La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto parte de la definición y justificación del problema, continúa con el análisis de la situación actual y culmina con el planteamiento y evaluación de las alternativas para el área en estudio (Romero-Escovar, 2009).

Título: Automatización de un termohigrógrafo mecánico

- **Autor:** Robertson Rojas Iván Darío
- **País:** Colombia – Bogotá

- **Institución:** Universidad de la Salle
- **Resumen:** El proyecto es una propuesta que busca una solución a los problemas de medición de la red meteorológica en Colombia, aprovechando uno de los componentes de la estación meteorológica “El Termohigrógrafo”. La automatización de este equipo contempla la conversión de la medida angular dada por el movimiento mecánico rotacional de un eje impulsado por sensores mecánicos, en datos digitales utilizando un transductor, para facilitar la preservación de los datos en memorias y así mismo la manipulación de ellos para conocer el comportamiento del clima por medio de un software especializado desarrollado por el proyecto (Robertson-Rojas, 2006).

Título: Automatización del sistema de comunicación entre equipos de proceso y llenado

UHT/UAT (larga vida) en la Planta de Producción Algarra S.A

- **Autor:** Pedraza Leguizamón, Andrés Ricardo
- **País:** Colombia - Bogotá
- **Institución:** Universidad de la Salle
- **Resumen:** La planta de producción de Algarra S.A. presenta la necesidad de diseñar e implementar un sistema automatizado de comunicación entre los equipos de proceso y llenado en la línea de producción UHT/UAT (LARGA VIDA), ya que este procedimiento se realiza de forma manual, notándose una pérdida de tiempo de operación en la línea de producción. Dada la necesidad con la que cuenta la planta de sincronizar el proceso, es necesario diseñar e implantar un sistema de control automatizado que asegure la comunicación eficaz y eficiente entre los equipos de proceso y llenado (Pedraza-Leguizamón, 2007).

Título: Diseño e implementación de la automatización de un sistema de aire acondicionado

- **Autor:** Mauricio Alvarado Bolaños
- **País:** Costa Rica - Cartago
- **Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica
- **Resumen:** El proyecto tiene como objetivo, diseñar e implementar un control para el sistema de aire acondicionado para un sector de la planta Kimberly-Clark de Costa Rica, a través de un control encendido/apagado y otro que controle gradualmente la temperatura del aire circundante en la planta, por medio del uso de herramientas matemáticas, de ingeniería y de control automático(Alvarado-Bolaños, 2006).

Título: Automatización de una planta de tratamiento de agua para la empresa Deinpro global.

- **Autor:** Mauricio Alvarado Bolaños
- **País:** Colombia - Bogotá
- **Institución:** Universidad de los andes
- **Resumen:** El proyecto está dirigido a las plantas de tratamiento de agua, ya que estas operan de forma manual. La empresa busca que se pueda monitorear el proceso, se efectúe el tratamiento de una forma más eficiente y se pueda brindar una mayor seguridad. La propuesta es automatizar la planta de tratamiento de aguas residuales, debido a que la automatización tiene como objetivos generales los siguientes aspectos: Mejorar la productividad de la empresa, mejorar las condiciones de trabajo personal, disminuyendo los riesgos de seguridad, realizar operaciones de forma más eficiente, simplificar la manipulación del proceso entre otros varios aspectos los cuales abarcan las necesidades que la empresa Deinpro Global presenta en el momento(Gomez-Lopez, 2013).

Título: Automatización de máquina de cavitación hidrodinámica

- **Autor:** Iván Darío Sarmiento Cabezas y Ricardo Sánchez Sepúlveda
- **País:** Colombia - Bogotá
- **Institución:** Universidad de los andes
- **Resumen:** El proceso de cavitación hidrodinámica permite mejorar la calidad del petróleo y facilita el transporte del mismo, ya que cambia sus propiedades químicas y físicas; permitiendo así un ahorro de costos en la industria petrolera. Este proceso es nuevo en Colombia y su implementación hace uso de equipos que son manejados por operarios; sin embargo, para que se lleve a cabo de forma correcta la cavitación hidrodinámica, es necesario controlar de forma precisa variables como presión, temperatura y flujos. Por lo que automatizar todo el sistema es necesario ya que se obtiene una mejor precisión que con un operario. Además, la automatización del proceso permite tener una máquina más fácil de reproducir, lo que genera una reducción de costos al momento de la producción en masa de la máquina(Sarmiento-Cabezas & Sanchez-Sepulveda, 2013).

Título: Implementación de un sistema de supervisión en la automatización de un puente grúa

- **Autor:** Francisco Javier Tamayo Chacón
- **País:** Colombia - Bogotá
- **Institución:** Universidad de los andes
- **Resumen:** El proyecto describe la implementación de un sistema de supervisión para un puente grúa, La metodología usada para el desarrollo del sistema comenzó con una investigación sobre los sistemas de supervisión, luego se desarrolló un sistema basado en

diferentes arquitecturas, que luego fue implementado en el software WinCC de Siemens que junto con el PLC realizan labores de control y supervisión(Tamayo-Chacon, 2005).

5.2 Marco teórico

5.2.1 Automatización

En la actualidad diferentes procesos industriales están regidos bajo un proceso automatizado, este consiste en un conjunto de elementos informáticos, mecánicos y electromecánicos que requieren una intervención mínima o casi nula del ser humano, esto con la intención de mejorar y optimizar el funcionamiento de una planta industrial.

A capacidad de hacer ajustes y la retroalimentación con la información que se le programa de tal manera que sea autosuficiente para desarrollar la tarea ordenada.

Algunas empresas que no cuentan con un sistema automatizado han considerado implementar la automatización a los diversos procesos dentro de las plantas productivas ya que esto puede permitir la detección y corrección de fallas en momentos precisos.



Figura 2. Proceso industrial automatizado

Fuente: (Glasfira-Diseñoweb, N.D.)

5.2.2 Floculación

La planta de tratamiento de agua potable del p \acute{o} rtico cuenta con una serie de fases que se aplican en un orden espec \acute{i} fico para que al final del proceso se obtenga el resultado esperado estos son: captaci \acute{o} n, desarenaci \acute{o} n, pre sedimentaci \acute{o} n, mezcla r \acute{a} pida, floculaci \acute{o} n, sedimentaci \acute{o} n, clarificaci \acute{o} n, filtraci \acute{o} n, desinfecci \acute{o} n, distribuci \acute{o} n, almacenamiento y control de calidad (Aguas Kpital Cucuta S.A ESP, n.d.).

Este proyecto se enfocará en la fase de floculaci \acute{o} n en la planta. Dicho proceso consiste en la agitaci \acute{o} n de la masa coagulada; este m \acute{e} todo se emplea para permitir el crecimiento y aglomeraci \acute{o} n de fl \acute{o} culos reci \acute{e} n formados con la finalidad de aumentar el tama \acute{n} o y peso de los mismos para que la sedimentaci \acute{o} n y posterior remoci \acute{o} n de fl \acute{o} culos presentes en el recurso sea m \acute{a} s f \acute{a} cil y efectiva. Estos fl \acute{o} culos son peque \acute{n} as masas con peso espec \acute{i} fico superior al del agua.

Dentro de la fase de floculaci \acute{o} n influyen factores como: tiempo de detenci \acute{o} n que est \acute{a} dada por la velocidad de aglomeraci \acute{o} n de las part \acute{i} culas se encuentra directamente relacionada con el tiempo de detenci \acute{o} n de las mismas. El gradiente de velocidad que es un factor que depende de la velocidad de aglomeraci \acute{o} n de las part \acute{i} culas objetivo del tratamiento y tiene un l \acute{i} mite m \acute{a} ximo permitido que evita el rompimiento del floc. La Concentraci \acute{o} n y naturaleza de las part \acute{i} culas ya que la velocidad como se genere el floc, es directamente proporcional tanto a la concentraci \acute{o} n de part \acute{i} culas presentes en el recurso a tratar como del tama \acute{n} o inicial de las mismas(FYN de Colombia ingenieria en agua, n.d.). Y finalmente el floc es un grumo de precipitado que sale de la soluci \acute{o} n durante el proceso|



Figura 3. Tanques del proceso de floculación en la planta de tratamiento del pósito.

Fuente: (Aguas Kpital Cúcuta S.A ESP, n.d.)

5.2.3 Equipos

Para automatizar el proceso de floculación dentro de la planta de tratamiento de agua debemos contar con algunos equipos que harán parte del sistema estos serían: El motor es una máquina eléctrica que transforma la energía eléctrica en energía mecánica y al juntarse con los reductores se convierten en sistemas formados por engranajes que hacen que los motores eléctricos funcionen a distintas velocidades.(Tercesa S.L, n.d.)



Figura 4. motor-reductor eléctrico

fuelle:(tercesa s.l, n.d.-b)

Manejar las RPM que debe mantener el sistema es necesario ya que estas dependen de la turbidez o grado de transparencia que pierde el agua al llegar a este punto del proceso, mantener

o variar la velocidad con que se muevan las paletas dependerá de la señal que envíe el sensor de turbidez sobre la calidad de agua según su nivel de turbidez.



Figura 5. Sonda de inmersión Solitax ts-line sc para medida de turbidez (0,001-4000 NTU).

Fuente: (Didácticas electrónicas, n.d.)

Esta señal será recibida por los variadores de frecuencia, estos son equipos diseñados para controlar la velocidad de rotación mediante el manejo de la frecuencia con que se deben mover el eje donde se encuentran las aspas que generan el movimiento dentro de los tanques de esta manera se podrá controlar si aumentar, disminuir o mantener las RPM que debe conservar el proceso de floculación.



Figura 6. Variador de frecuencia

Fuente: (Power electronics)

5.3 Marco legal

La planta de tratamiento del p \acute{o} rtico de Aguas Kpital debe cumplir ciertos requisitos en cuanto a su gesti \acute{o} n administrativa de calidad y de igual manera para implementar un sistema automatizado se deben tomar en cuenta ciertas normas. A continuaci \acute{o} n, se presentan dichas normas a tener en cuenta:

- NTC ISO/IEC 17025: “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibraci \acute{o} n” (NORMA T \acute{E} CNICA NTC-ISO/IEC COLOMBIANA 17025, 2005).

Fue dise \acute{n} ada para que la utilicen los laboratorios de ensayo y calibraci \acute{o} n cuando desarrollan los sistemas de gesti \acute{o} n para sus actividades de la calidad, administrativas y t \acute{e} cnicas. Al trabajar bajo los est \acute{a} ndares de esta Norma se reconoce su competencia t \acute{e} cnic y la validez de sus resultados, respondiendo a las exigencias de los organismos o entidades y dot \acute{a} ndose de credibilidad ante sus clientes.

- ISO 23570-1: 2005 Sistemas de automatizaci \acute{o} n industrial e integraci \acute{o} n. Instalaci \acute{o} n distribuida en aplicaciones industriales, sensores y actuadores (Organizaci \acute{o} n Internacional de Normalizaci \acute{o} n, n.d.).

Especifica la interconexi \acute{o} n de elementos en el sistema de control de m \acute{a} quinas herramientas y grandes piezas similares de automatizaci \acute{o} n industrial. Esta especificaci \acute{o} n incluye tipos de cables, tama \acute{n} os y colores de cubierta, tipos de conectores y asignaciones de contactos, y funciones de diagn \acute{o} stico apropiadas para los sensores y actuadores.

- ISO / TC 184: Sistemas de automatizaci \acute{o} n e integraci \acute{o} n (Organizaci \acute{o} n internacional de Normalizaci \acute{o} n, n.d.).

Estandarización en el campo de los sistemas de automatización y su integración para el diseño, abastecimiento, fabricación, producción y entrega, soporte, mantenimiento y eliminación de productos y sus servicios asociados. Las áreas de estandarización incluyen sistemas de información, sistemas de automatización y control y tecnologías de integración.

- Alcance ISA99 El comité ISA99 se ocupa de los sistemas de control y automatización industrial (Instituto Nacional de Ciberseguridad de España SA, n.d.).

El comité ISA99 aborda los sistemas de automatización y control industrial cuyo compromiso podría resultar en una o todas las siguientes situaciones:

- ✓ pérdida de confianza del público
- ✓ violación de los requisitos reglamentarios
- ✓ pérdida de información privada o confidencial
- ✓ pérdida económica
- ✓ impacto en la seguridad nacional.
- ✓ Poner en peligro la seguridad pública o de los empleados.
- Guía técnica colombiana GTC 218 Máquinas eléctricas rotatorias. selección de motores energéticamente eficientes que incluyen aplicaciones de velocidad variable (GUÍA TÉCNICA GTC COLOMBIANA, 2011).

La presente guía da las directrices técnicas para la aplicación de motores energéticamente eficientes en aplicaciones de velocidad constante y de velocidad variable. no cubre los aspectos de carácter puramente comercial.

6. Diseño Metodológico

La investigación se define como “conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno” (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista-Lucio, 2010).

Con base en lo anterior, se concibe que el tipo de investigación que se llevará a cabo será la investigación descriptiva tal y como lo explica Hernández Sampieri, R., en su libro en que describe la investigación descriptiva como “buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren...” Igualmente porque se trata de recoger la información de las variables de medición en el proceso de floculación como lo es la turbidez del agua y así determinar la velocidad que deben manejar las aspas dentro de los tanques (Hernández-Sampieri et al., 2010).

Para el desarrollo del proyecto se diseñará y simulará el proceso con la implementación de los equipos que permiten manejar y mantener la velocidad que permita cumplir con requisitos que este debe manejar.

A continuación, se presentarán los procesos que se realizarán para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

Objetivo 1: Identificar variables de control en el sistema de floculación en la planta.

Metodología: Se realiza el análisis del sistema actual, se rediseña y se agregan los equipos necesarios para automatizar el proceso. Dentro de cada tanque estará un juego de paletas, cada una con un motor-reductor conectado a un variador de frecuencia que permita su independencia

y adaptación según las condiciones de turbidez presentes, estas medidas serán tomadas por un turbidímetro instalado dentro de cada tanque.

Objetivo 2: Plantear un sistema de automatizado a partir de las variables de control identificadas en el proceso de floculación.

Metodología: Después de elegir las variables de control necesarias para implementar el proceso, se diseñará un esquemático del sistema de floculación actual, pero a su vez agregando los nuevos componentes que harán parte de el para visualizar como sería su distribución y acondicionamiento dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento.

Objetivo 3: Elaborar la simulación del sistema propuesto para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto.

Metodología: Con el diseño y distribución de los componentes dentro de la planta, procedemos a simular el sistema en un software que me permita precisar el resultado que se podría obtener con la implementación de este diseño al sistema de floculación, una vez este automatizado y pueda ser monitoreado mejorando los resultados del proceso.

Objetivo 4: Realizar la evaluación del proyecto basado la propuesta y análisis de costo/beneficio.

Metodología: Finalmente cotizar, presupuestar los costos y beneficios que tendría la implementación del sistema automatizado. La empresa podrá estudiar esta opción contando con un diseño, una simulación y los costos de los equipos necesarios para complementar y automatizar su sistema. Evaluar su pro y contra para finalmente decidir cambiar su técnica y que este proceso sea monitoreado y controlado durante su ejecución.

7. Resultados

7.1. Variables de control en el sistema de floculación en la planta.

La planta del pórtico de la empresa aguas Kpital tiene por finalidad tratar el agua de rio para potabilizarla y sea apta para el consumo humano, durante este proceso se realizaron múltiples mediciones, con la finalidad de determinar la calidad del agua.

Con el propósito de identificar las variables de control indicadas para el sistema fue necesario visualizar como está distribuida la planta. Esta cuenta con dos (2) plantas, cada una realiza análogamente el mismo proceso y funcionan en paralelo para surtir el área metropolitana de Cúcuta.

Cada una de ellas cuenta con una entrada (a donde llega el agua del rio), llamada cámara de quietamiento y una salida, esta a su vez conectada a una motobomba que envía el agua a través de la red de tuberías. Para identificar las variables de control indicadas para el sistema, fue necesario visualizar como están distribuidas las plantas y resaltar cada etapa del proceso de floculación antes de finalizar su recorrido. La figura 7 muestra el layout de la planta uno (1), esta inicialmente contaba con una distribución que no beneficiaba el sistema encargado del mezclado lento; desde el punto de inicio del recorrido del proceso hasta donde finaliza el mismo.

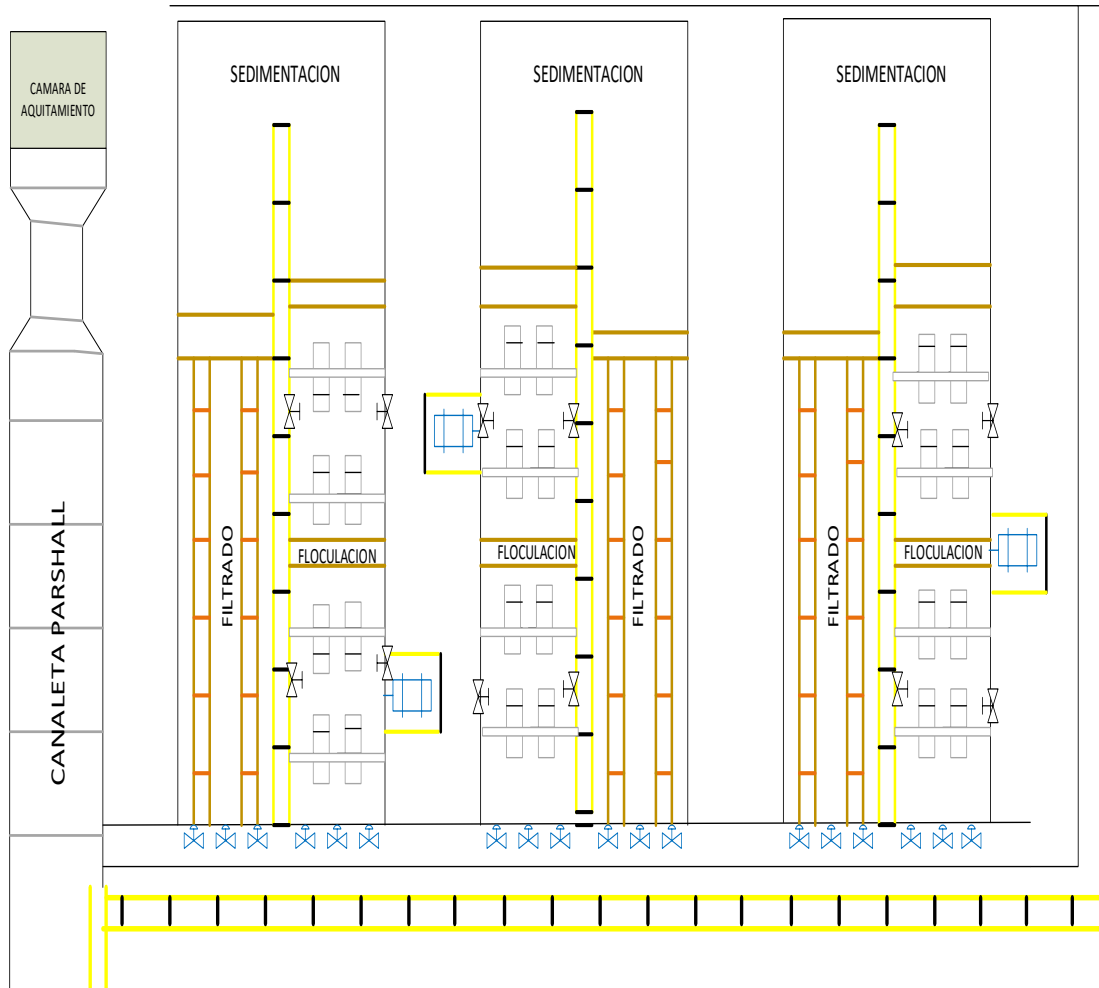


Figura 7. Layout inicial de planta uno

La distribución de planta uno (1), cuenta con tres (3) subsistemas conformados por dos (2) tanques cada uno, iniciando el recorrido desde la cámara de aquietamiento continuando su paso por la canaleta parshall donde a mitad de camino recibe la adición del químico (quimiflow) necesario para realizar el proceso, seguidamente inicia la marcha a floculación entrando a los tanques por tres (3) válvulas distribuidas a lo largo de cada tanque, la planta cuenta con un motor-reductor para cada subsistema, enlazados por cadenas y engranajes generan el movimiento de los juegos de paletas en cada tanque con el fin de generar el mezclado lento, finalmente el agua pasa por los sedimentadores y procede a ser filtrada antes de continuar su recorrido.

Actualmente la empresa realizo una serie de adecuaciones que permite mejorar la calidad del proceso, ahora planta uno (1) cuenta con la siguiente distribución: tres (3) subsistemas conformados por cuatro (4) tanques, cada tanque cuenta con dos paletas y dos motores-reductores conectados cada uno a un variador de frecuencia que permite el control de las RPM en los motores. Para analizar mejor observamos en la figura 8 muestra el layout actual de la planta uno (1) desde el punto donde el recorrido del proceso hasta donde finaliza el mismo.

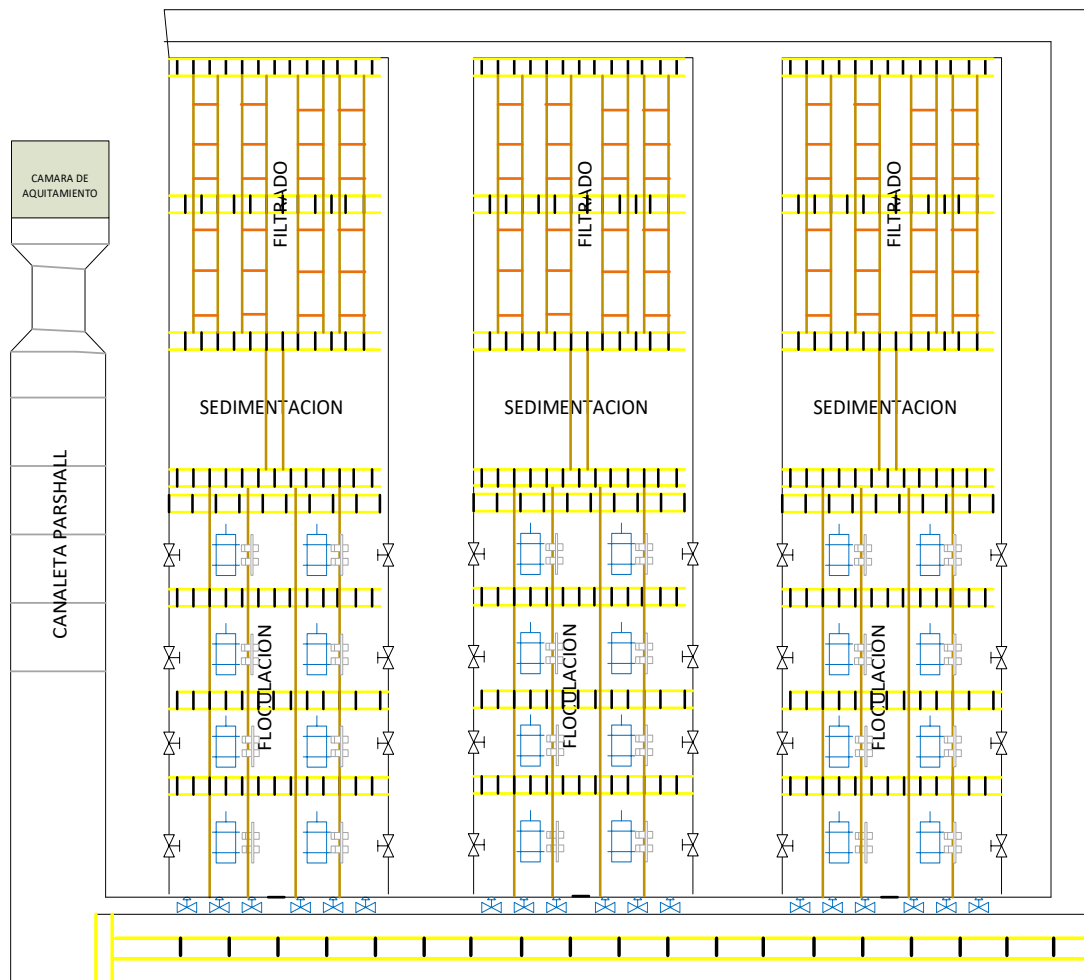


Figura 8. Layout actual de planta uno

La distribución de planta dos (2) actualmente es la misma de planta uno (1), cuenta con tres (3) subsistemas conformados por cuatro (4) tanques cada uno, iniciando el recorrido desde la

cámara de aquietamiento continuando su paso por la canaleta parshall donde a mitad de camino recibe la adición del químico (sulflow) necesario para realizar el proceso, seguidamente inicia la marcha a floculación entrando a los tanques por dos (2) válvulas distribuidas a lo largo de cada tanque, esta planta cuenta con dos (2) motor-reductor para cada tanque, encargados de generar el movimiento en cada una de las paletas en cada tanque con el fin de generar el mezclado lento, finalmente el agua pasa por los sedimentadores y proceder a ser filtrada antes de continuar su recorrido. En la entrada del sistema existirá siempre agua sin procesar, la cual puede venir con cualquier cantidad de contaminantes, la finalidad del proceso será el tratamiento de potabilización del agua. Las variables de control que afectan el proceso de floculación son:

- Turbidez: Medida de la claridad del agua, a mayor claridad menor lectura de turbidez, a menor claridad mayor lectura de turbidez.
- Temperatura y Ph: En el agua son variables que afectan el proceso de floculación haciendo variar el rendimiento del agente floculante.
- Tiempo de agitación y velocidad de agitación: Estas variables son propias del proceso de floculación, e inciden de manera directa en el rendimiento del agente floculante.

Si el agente floculante se aprovecha al máximo se obtiene mayor formación de coágulos grandes (floc) encargados de capturar todos los residuos y contaminantes del agua. En contraparte si el rendimiento es bajo, significa que el agua tendrá que pasar mayor tiempo en los tanques de floculación o en su defecto requerirá mayor cantidad de químicos, resultando mayor costo por metro cubico de agua potable.

7.1.1. Selección de las variables de control.

En la tabla 2 se pueden apreciar las variables seleccionadas para controlar el sistema.

TABLA 2. Variables de control

VARIABLE	VALOR DE MEDIDA	RANGO DE MEDIDA
Turbidez	Unidad de turbidez nefelométrica (NTU)	0.001 – 4000 NTU
Velocidad	Revoluciones por minuto (RPM)	0.1 -10 RPM

Se eligieron dos (2) variables para monitorear el proceso, la primera es la turbidez presente en los tanques encargados de la mezcla lenta medida a partir de NTU (Unidad de turbidez nefelométrica). La segunda variable a monitorear es los rpm con que se mantendrá el motor según la turbidez presente, esto afectará el movimiento en las aspas dentro de cada tanque, donde se realiza la mezcla lenta para generar los Flow (partículas desestabilizadas formadas por el proceso químico, estas se crean a partir de los movimientos dentro del tanque generado por las aspas con el fin de facilitar el filtrado).

El propósito fue tener un proceso de floculación independiente para cada uno de los tanques presentes en la planta, ya que la finalidad del proceso es que el agua salga con la mayor cantidad de partículas aglomeradas para que se depositen en el fondo de los sedimentadores y al llegar al primer punto de filtrado el agua llegue con menos grumos con esto se reducirán los costos en gastos de mantenimiento por desgaste de los filtros y al momento de ser necesario un mantenimiento preventivo o correctivo bien sea a las aspas o a los motor-reductores la independencia que se presenta en cada tanque permitirá a los demás seguir su proceso sin verse afectados.

7.2. Sistema automatizado a partir de las variables de control identificadas en el proceso de floculación.

7.2.1. Toma de datos al proceso de floculación.

Una vez fueron seleccionadas las variables para controlar se planteó el nuevo sistema de floculación de la planta de tratamiento de agua. Este sistema trabajará en cadena y permitirá el constante monitoreo del operador desde la sala de máquinas.

El sistema inicia en los tanques en los que se presenta el proceso de mezcla lenta donde se encontrara instalado un sensor de turbidez (turbidímetro) conectado a un computador encargado de la recepción de la información captada y generara la señal de turbidez presente en cada uno de los tanques donde se realiza el proceso, esta data será enviada desde el computador a cada variador conectado a cada motor-reductor con el fin de aumentar o disminuir las rpm que generar el movimiento de las aspas según sea el nivel de turbidez presente en el momento.

Para variar los rpm en cada uno de los motor-reductores se planteó una tabla de datos que permita estudiar los cambios en la turbidez del agua según sea su temperatura y la velocidad con que se está movimiento las aspas dentro de cada uno de los tanques. Si el nivel de turbidez con que llega el agua a la toma principal de la planta es alto se hace necesario aplicar mayor cantidad de químico mientras se traslada desde la cámara de quietamiento por la canaleta parshall hasta cada uno de los tanques, de esta misma manera los rpm varían puesto que deben generar el movimiento en las aspas presentes en cada tanque con el fin de unir las partículas que deben ser eliminadas antes de llegar al primer punto de filtrado, para este momento la velocidad con que se moverán las aspas no debe ser muy alta ya que puede ocasionar el rompimiento de los Flow y posteriormente el proceso de filtrado no será el más adecuado y adicional a esto evitar un mayor desgaste en los filtros; en caso contrario si la turbidez con que llega al punto de mezcla lenta es más baja la cantidad de químico disminuye pero la velocidad con que se mueven las aspas debe

ser mayor para lograr unir las partículas presentes que deben ser eliminadas en el punto inicial de filtrado.

La tabla 3 presenta la toma de datos al sistema en la planta uno (1).

Tabla 3. Registro de datos para la planta 1

FECHA	°C	TURBIDEZ TOMA PRINCIPAL	TURBIDEZ SISTEMA 1			TURBIDEZ SISTEMA 2			TURBIDEZ SISTEMA 3					
23/08/2019	23.8	35.7 NTU	36.8	30.1	29.5	3.73	36.1	33.2	30.8	26.3	40.2	31.4	33.4	3.13
28/08/2019	27	27.2 NTU	27.4	23	21.1	3.81	26.7	23.8	21.2	2.43	27.8	25.1	17.8	2.57
30/08/2019	20.8	31.7 NTU	32.6	29.8	28	6.22	31.6	29	26.6	3.06	30.8	28.7	24.4	2.59
4/09/2019	23.6	26.5 NTU	26.9	25.5	23.5	2.75	26.4	26.6	20.2	1.56	24.8	26.3	22.6	1.99
6/09/2019	27.8	27.8 NTU	20.0	13.5	24.3	2.78	27	18.8	23.6	2.58	28.3	27.7	26.9	3.17
9/09/2019	23	15.2 NTU	13.8	14.1	14.8	3.16	13.6	14.9	12.3	2.12	13.9	14.7	12	2.72
14/09/2019	24.6	28.6 NTU	28.3	25	24.8	2	27.6	27.9	26	3.07	27.4	26.8	25.4	2.89
18/09/2019	26	709 NTU	402	9.37	359	4.43	473	7.9	345	2.06	400	13.4	243	3.5
22/09/2019	21.5	320 NTU	315	7.85	302	4.25	310	8.3	280	3.58	308	25.4	290	4.01
26/09/2019	23.3	131 NTU	124	122	79.8	4.32	125	105	114	3.34	130	91.3	111	3.36
27/09/2019	23.2	35.9 NTU	35.8	32.1	29.5	4.73	35.2	33.1	32.9	3.73	36.1	33.1	29.5	2.73
30/09/2019	25	26.2 NTU	26.4	25	24.1	3.91	26	25.4	26.1	3.91	25.2	25.4	24.1	3.81
2/10/2019	21.9	38.4 NTU	38.6	37.8	35	6.22	38.1	37.4	37.4	4.22	38.2	37.4	35	5.42
4/10/2019	24	24.5 NTU	24.9	25.5	23.5	2.75	24.5	25.3	24.8	4.75	23.4	27.5	23.5	3.51
7/10/2019	26.2	29.8 NTU	29.0	27.5	27.3	2.85	29.2	27.2	26.3	3.85	28.5	24.5	27.3	2.72
9/10/2019	22	33.2 NTU	33.8	33.1	32.8	3.26	33.5	33.9	33.8	2.26	32.9	31.1	32.8	3.36
14/10/2019	23.8	29.6 NTU	29.3	28.6	27.8	2.01	29.1	27.4	29.8	3.01	30.4	27.6	27.8	2.28
16/10/2019	24.9	59.1 NTU	58	57.7	54	4.23	56	59.3	55.4	5.23	56.4	56.7	54	3.98
18/10/2019	25	225 NTU	228	220	225	3.25	225	227	224	3.01	221	227	225	3.36
21/10/2019	24	328 NTU	330	336	331	5.20	333	339	331	4.20	328	334	331	3.80

En la Tabla 3, se encuentra la fecha y temperatura presente en la cámara de aquietamiento, ya que este es el punto inicial del proceso, también los datos registrados en la tabla hacen referencia a la medida de turbidez presente en la cámara de aquietamiento, en la entrada, en los tanques y en la salida de cada sección de la planta uno (1). La finalidad fue verificar el comportamiento de la turbidez según las RPM que en estos tanques es de 4.5 RPM por segundo establecidas para todos los motores encargados del movimiento de las paletas presentes dentro de cada uno de los tanques de la planta uno (1). En la tabla 4 se registran las mediciones realizadas en la planta dos (2).

Tabla 4. Registro de datos para la planta 2

FECHA	°C	TURBIDEZ		TURBIDEZ SISTEMA 1					TURBIDEZ SISTEMA 2					
		TOMA PRINCIPAL												
23/08/2019	22.3	38.6 NTU	38.8	37.6	38.3	34.8	36.5	1.29	X	X	X	X	X	X
28/08/2019	26.7	35.5 NTU	36.7	30.2	24.5	26.7	23.5	1.97	X	X	X	X	X	X
30/08/2019	22.5	33.4 NTU	32.5	28.4	30.3	27.1	28.1	1.76	X	X	X	X	X	X
4/09/2019	22.5	27.5 NTU	28.1	28.9	26.7	25	23.8	1.19	X	X	X	X	X	X
6/09/2019	26.9	31.3 NTU	28.5	27.4	28.1	28.4	27.9	2.67	X	X	X	X	X	X
9/09/2019	22.8	14.4 NTU	13.7	12.2	13.9	12.9	12.7	1.27	X	X	X	X	X	X
14/09/2019	24.3	28.5 NTU	28	27.5	27.3	25.9	25.3	2.38	X	X	X	X	X	X
18/09/2019	25.5	493 NTU	367	415	461	408	501	4.08	X	X	X	X	X	X
22/09/2019	21	328.4 NTU	313	319	324	305	297	2.98	X	X	X	X	X	X
26/09/2019	24.9	137 NTU	129	130	125	133	130	2.16	118	123	127	123	120	3.61
27/09/2019	23.2	35.7 NTU	35.6	35.8	31.1	28.5	28.2	3.73	36.6	35.8	31.1	28.5	28.2	1.73
30/09/2019	25	26.5 NTU	26.2	26.4	26.1	22.1	22.8	4.91	24.2	26.4	26.1	22.1	22.8	2.84
2/10/2019	21.9	38.2 NTU	38.4	38.7	36.8	35	34.9	2.22	37.4	38.7	36.8	35	34.9	3.24
4/10/2019	24	24.8 NTU	24.7	24.2	22.5	21.5	22	3.75	25.7	24.2	22.5	21.5	22	2.73

FECHA	°C	TURBIDEZ	TURBIDEZ SISTEMA 1						TURBIDEZ SISTEMA 2					
		TOMA PRINCIPAL												
7/10/2019	26.2	29.7 NTU	29.2	29.1	27.5	27.8	27.2	1.85	28.2	29.1	27.5	27.8	27.2	2.48
9/10/2019	22	33.4 NTU	33.9	33.7	31.1	30.8	31	2.26	34.9	33.7	31.1	30.8	31	3.01
14/10/2019	23.8	29.1 NTU	29.5	29.1	27.6	26.8	26.2	3.01	28.5	29.1	27.6	26.8	26.2	1.95
16/10/2019	24.9	59.5 NTU	60	59	54.7	52	51.8	3.23	62	59	54.7	52	51.8	2.68
18/10/2019	25	227 NTU	229	228	221	228	225	2.25	227	228	221	228	225	3.19
21/10/2019	24	325 NTU	331	330	331	337	327	4.20	332	330	331	337	327	3.48

En la Tabla 4, se encuentra la fecha y temperatura presente en la cámara de aquietamiento, ya que este es el punto inicial del proceso, también los datos registrados en la tabla hacen referencia a la medida de turbidez presente en la cámara de aquietamiento, en la entrada, en los tanques y en la salida de cada sección de la planta dos (2). La finalidad fue verificar el comportamiento de la turbidez según las RPM establecidas para todos los motores encargados del movimiento de las paletas presentes dentro de cada uno de los tanques de la planta dos (2).

Para la planta uno (1) se mantuvo un valor igual en las RPM de todos los motores del sistema de esta, pero en la planta dos (2) se varió las RPM en los motores de cada sección, con la finalidad de comparar el comportamiento de la planta uno (1) respecto a la planta dos (2).

En las tablas 5 y 6, se exponen los valores de los RPM.

Tabla 5. Velocidades en los motores de la sección uno en la planta 2

MOTOR	VELOCIDAD DEL MOTOR	RPM
MR1 – MR2	1296 m/s	3.23
MR3 – MR4	1307 m/s	3.33

Tabla 6. Velocidades en los motores de la sección dos en la planta 2

MOTOR	VELOCIDAD DEL MOTOR	RPM
MR5 – MR6	1155 m/s	2.22
MR7 – MR8	900 m/s	1.50

Estos datos fueron tomados de los motores en planta dos (2) con la intención de observar el comportamiento en los niveles de turbidez variando la velocidad para cada uno de los motores presentes en cada tanque.

7.2.2. Sistema de control del proceso de floculación

Actualmente en la planta de tratamiento de agua del pórtico existen dos tipos de tanques de sistemas de floculación, planta uno (1) cuenta con tres (3) subsistemas y cada uno de ellos tiene diez (10) floculadores, por otro lado, planta dos (2) cuenta con tres (3) subsistemas cada uno tiene ocho (8) floculadores, cada uno de ellos comandado por un tablero centralizado alimentado con una acometida trifásica a 440 voltios AC.

Para el funcionamiento de cada uno de los subsistemas es necesario un tablero de control que permita la supervisión de los componentes, cada tablero cuenta en su interior con:

7.2.2.1. Cableado de control: Es el encargado de llevar las instrucciones indicadas por el usuario hacia cada uno de los elementos que realizan interfaz entre control/potencia. Los niveles de tensión en el cableado de control son a 220 Voltios AC y son suministrados por un transformador reductor interno.

7.2.2.2. Elementos de protección: En caso de una eventualidad deben existir elementos que protejan los dispositivos electrónicos en su interior, estos son fusibles rápidos, breakers y totalizador, quienes al sobrepasar cierto umbral de corriente desconectan los circuitos correspondientes, garantizando que no se dañe los componentes sensibles.

7.2.3. Componentes de control en el proceso de floculación.

Para el diseño del sistema automatizado se seleccionaron con base a las variables de control los siguientes componentes: variadores de frecuencia (SD300742F Power Electronic) y turbidímetros (Solitax ts-line sc Turbidity), estos asegurarán mantener el rango de operación la calidad, manteniendo esta solicitud.

7.2.3.1. Variadores de frecuencia SD300742F

Seleccionados por la diversidad de protocolos de comunicación y gran cantidad de prestaciones que pueden tener, razón por la cual se adaptan fácilmente los requerimientos del cliente. Estos actualmente están siendo comandados de forma análoga, es decir, por medio de conductores y elementos tales como potenciómetros que permiten las revoluciones deseadas, sin embargo, estos variadores de frecuencia pueden ser programados de manera remota utilizando distintos protocolos de comunicación estos son:

7.2.3.1.1. Interfaz de comunicación.

Los protocolos de comunicación que maneja el variador de frecuencia SD300742F será transmitido a través de la interfaz Modbus/pe-bus rs485, adicionalmente instalando tarjetas de

control extras (Consultar manual de programación, (“Power Electronics SD300742F Manuals,” n.d.)), en la tabla 7 se observan los protocolos de comunicación.

Tabla 7. Protocolos de comunicación

Código	Descripción
SD3CO	Módulo de comunicaciones CANOpen
SD3PB	Módulo de comunicaciones Profibus-DP
SD3ETH	Módulo de comunicaciones Ethernet I/P – Modbus TCP
SD3ETC	Módulo de comunicaciones EtherCAT
SD3PN	Módulo de comunicación Profinet

Con esto se logra que estos variadores se puedan instalar en ambientes donde el funcionamiento y la selección de RPM será netamente analógico, en ambientes híbridos donde pueden ser programados localmente y reprogramados remotamente como en empresas e industrias altamente tecnificadas donde todo su control se realiza en una estación remota.

Esta estación remota puede ser representada por cualquier sistema electrónico capaz de comandar los variadores de frecuencia de forma supervisada o automática, este sistema electrónico puede tener en su núcleo una tarjeta de desarrollo con un microcontrolador/microprocesador, un dispositivo lógico programable (PLC), un computador actuando como servidor o un microcomputador.

7.2.3.2. Turbidímetro Solitax ts-line sc Turbidity

Maneja un rango de 0.001-4000 NTU, permitiendo una amplia escala de valores al momento de hacer la medición para generar la variación que amerite cada sistema, todo esto será

monitoreado desde el cuarto de control al cual llegara la información transmitida desde un computador encargado de recibir los datos del turbidímetro para transmitirla al variador encargado de hacer las variaciones a los rpm para aumentar o disminuir la velocidad en los motores.

7.2.4. Resumen general del sistema

En la figura 9 se muestra la interconexión de los módulos mencionados y se obtiene un diagrama general del sistema automatizado; en primera instancia se muestra todas las posibles combinaciones.

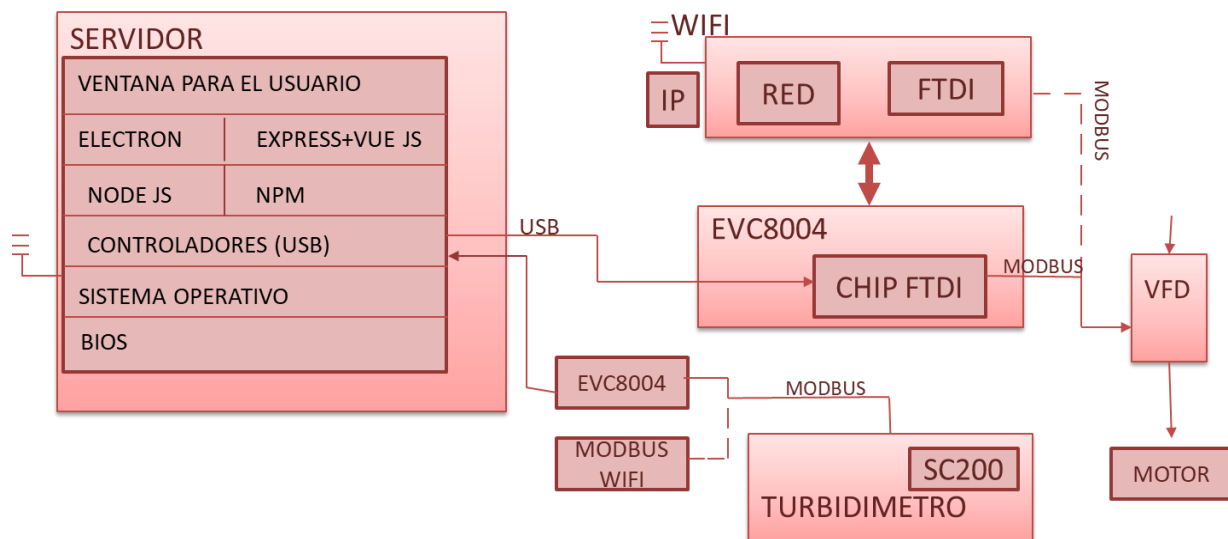


Figura 9. Diagrama de bloques general del sistema

7.2.5. Selección de la estación remota

La selección más adecuada de la estación remota, debe permitir simular de manera local, garantizar una cantidad mínima de mantenimiento y una confiabilidad en la respuesta del sistema. Teniendo en cuenta estos criterios cumplen en su orden:

- Computador de escritorio.
- Arduino/Microcontrolador.
- Raspberry Pi /Microprocesador.
- PLC.

Para seleccionar nuestra estación remota se presenta un cuadro comparativo figura 10 donde se aprecian los pro y contras de cada sistema electrónico capaz de realizar este papel:

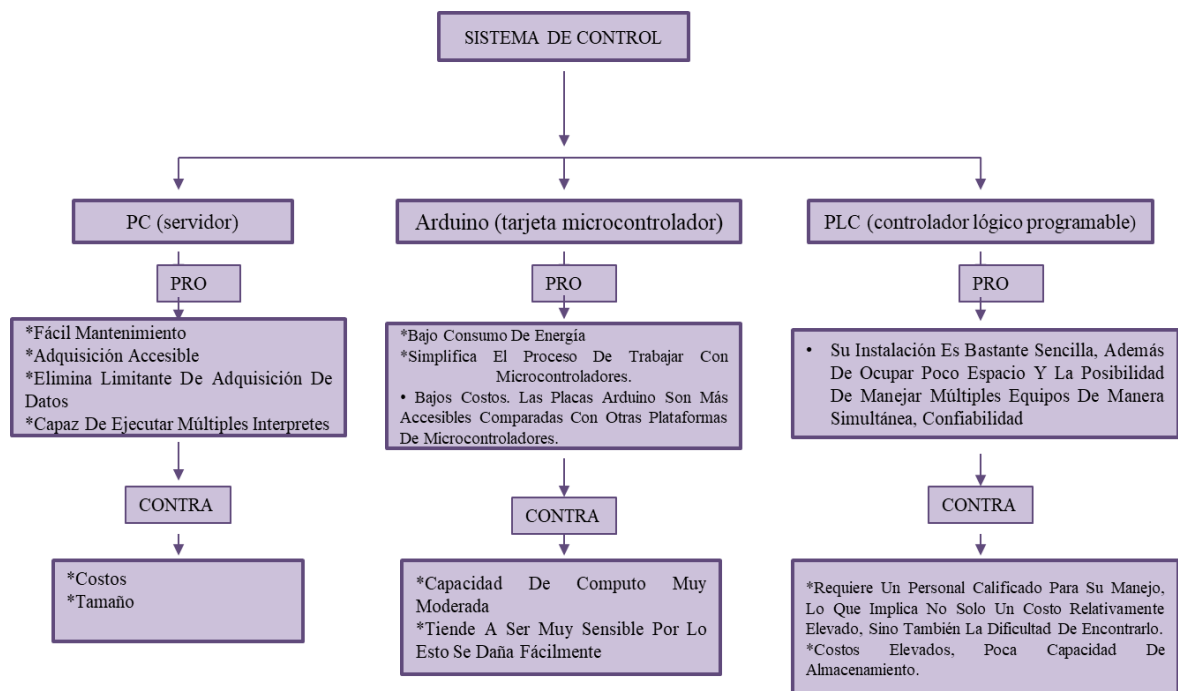


Figura 10. Cuadro comparativo para selección de estación remota

Siendo el computador de escritorio la herramienta más confiable; su sistema operativo será Windows 10 al cual se le instalará el intérprete encargado de leer el código fuente programado para generar la interfaz de usuario y permitir comunicarles las señales a los equipos.

. Los computadores son capaces de ejecutar en su sistema operativo múltiples intérpretes y pueden ser programados en infinidad de lenguajes de programación tales como Python, Node JS, Ruby On Rails, C, C++, Assembler.

Al usar un computador y crear un programa de computadora se elimina la limitante de adquisición. Además de ello en el computador se puede simular los valores de entrada de los sensores y su respectiva salida, logrando evaluar el sistema automatizado. La figura 11 ilustra el diagrama de conexión de los componentes de control.

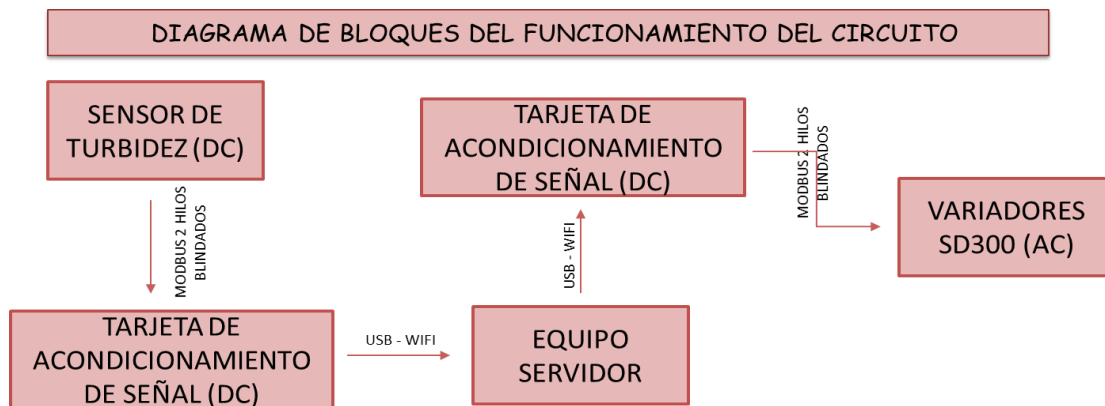


Figura 11. Diagrama de bloques del funcionamiento del circuito

7.2.6. Sistema de respaldo

Para el respaldo del sistema se contará con un servidor replica. Ambos servidores tendrán conexión a los sensores de turbidez y los variadores de frecuencia por medio de una tarjeta de acondicionamiento de señal independiente para cada uno de estos dispositivos electrónicos (turbidímetros y variadores) de todo el sistema de floculación.

Con base a las especificaciones técnicas de la tarjeta de acondicionamiento de señal, su conexión puede ser por transmisión vía modbus o red Wifi. Tomando en cuenta la inestabilidad

que puede presentar en cualquier momento una red Wifi, se sugiere como opción principal que la transmisión de data entre servidores (principal y replica) y tarjetas sea vía modbus.

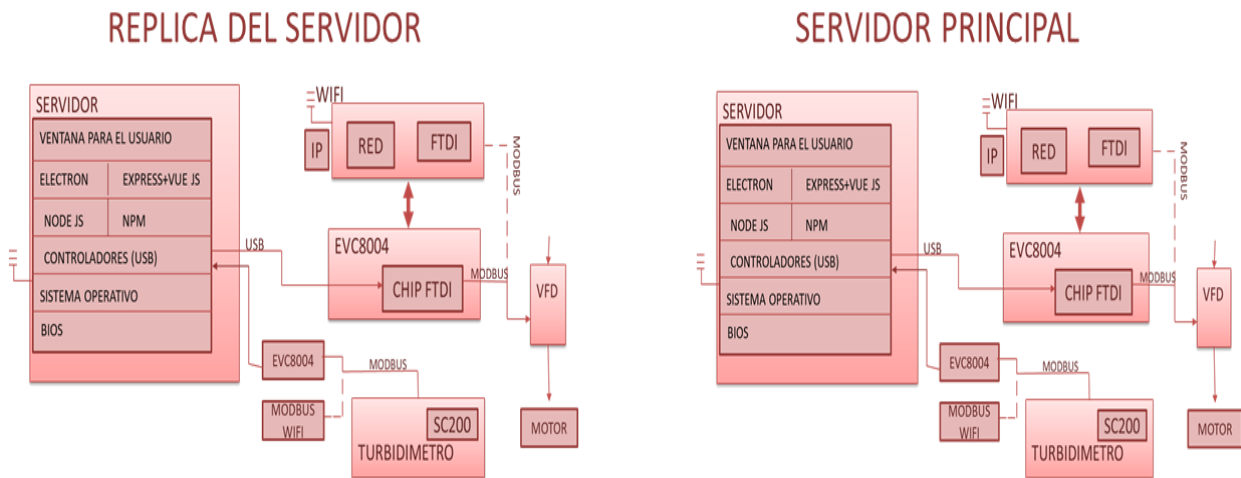


Figura 12. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de respaldo.

Adicionalmente se presenta una opción para obtener una copia de seguridad correspondiente a la data registrada en el sistema de floculación si la empresa así lo requiere. Este constaría de un servidor adicional con conexión a internet; donde se requerirá instalar el software Vmware o Hyper-v (encargados de la generación de copias de seguridad).

Conjuntamente la empresa deberá contar con un dominio propio que genere una dirección IP, que permitirá el monitoreo de la data registrada en el servidor principal; esta data se actualizará cada hora. Para acceder a esta información desde el tercer servidor el funcionario contará con un usuario y contraseña que limitará el ingreso solo al personal autorizado.

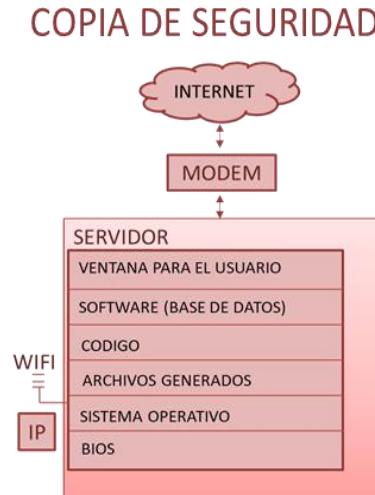


Figura 13. Diagrama Servidor copia de seguridad

7.3. Simulación del sistema propuesto para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto.

En la tabla 8 se aprecia los dos valores de referencia que fueron seleccionados para realizar esta prueba.

Tabla 8. Valores de prueba turbidez/rpm

VARIABLE	MEDIDA INICIAL	MEDIDA FINAL
Turbidez	0 NTU	2000 NTU
RPM	10 RPM	10 RPM

Con estos valores de medida se elaboró una gráfica Turbidez vs RPM, agregando una línea de tendencia y mediante una regresión lineal calculada usando el software de Excel se le ha extraído la ecuación característica. En la figura 12 se presenta el comportamiento de las variables para obtener la ecuación característica.

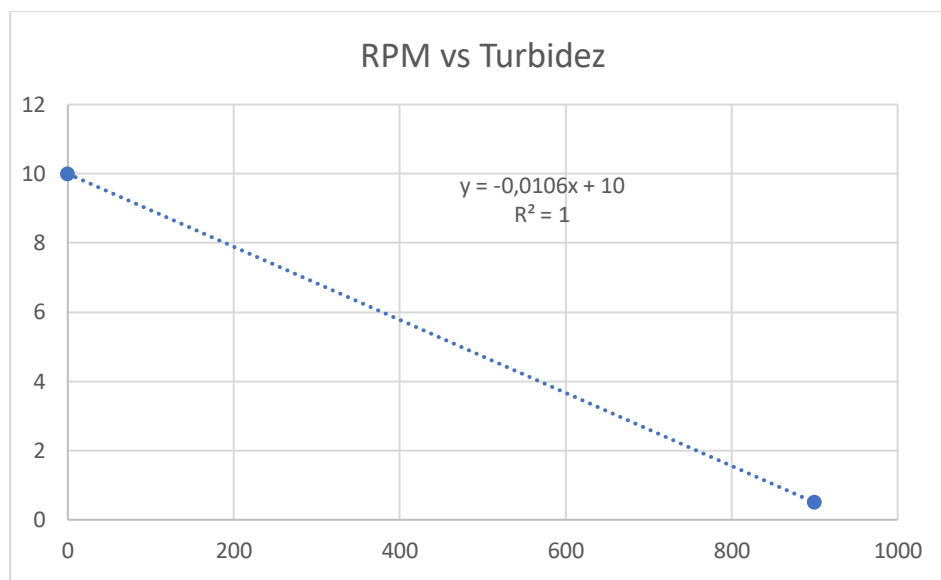


Figura 14. Gráfica en dos dimensiones Turbidez vs RPM

Luego de obtener la ecuación característica se simuló una turbidez que este en un rango de 0 a 2000 NTU y se tabuló para adquirir las RPM que el sistema debe aplicar a los floculadores, de igual manera se agrega una tercera columna con el fin de indicar la acción que tomara el sistema, dado que NO existen físicamente revoluciones por minuto negativas, en estos puntos la acción es mantener el último parámetro y alertar al operario para tomar acciones de variación química; la tabla resultante de simulación Turbidez/RPM se encuentra en el anexo 1.

Teniendo en cuenta que el sistema propuesto se ejecutara sobre un computador Windows, se presentan dos posibles opciones para elaborar un sistema que permita la regulación de las variables de control. El primero de ellos será con LabView el cual es un software propietario, y el segundo de ellos será con el empleo de un intérprete de JavaScript llamado NodeJs, para demostrar que es posible realizar un diseño confiable con sistemas SCADA licenciados como con un software libre.

7.3.1. Simulación en LabVIEW

Programa reconocido por su flexibilidad y adaptabilidad en entornos industriales. Para visualizar mejor la estrategia propuesta de modificar el sistema de floculación de la planta, se realiza el diagrama esquemático planteado en el software de LabVIEW con opción de permitir la variación de los RPM para influir en la variación de la velocidad de los motores encargados del movimiento de las paletas, presentes en cada uno de los tanques, ya que para mejorar el proceso es necesario tener el valor de medida de turbidez en tiempo real de cada tanque.

Con el diseño y distribución de los componentes dentro de las plantas, se simula el sistema en un software que permita precisar el resultado que se obtiene con la implementación del sistema automatizado del proceso de floculación.

En la figura 15 se ilustra una perilla giratoria que permite representar la variación de la turbidez, medida registrada por el turbidímetro en cada tanque con un rango de 0-4000 NTU, al lado opuesto está el tacómetro que indica la variación de las RPM que serán aplicadas a los motores para generar el movimiento en las aspas de cada tanque correspondiente en cada una de las plantas.

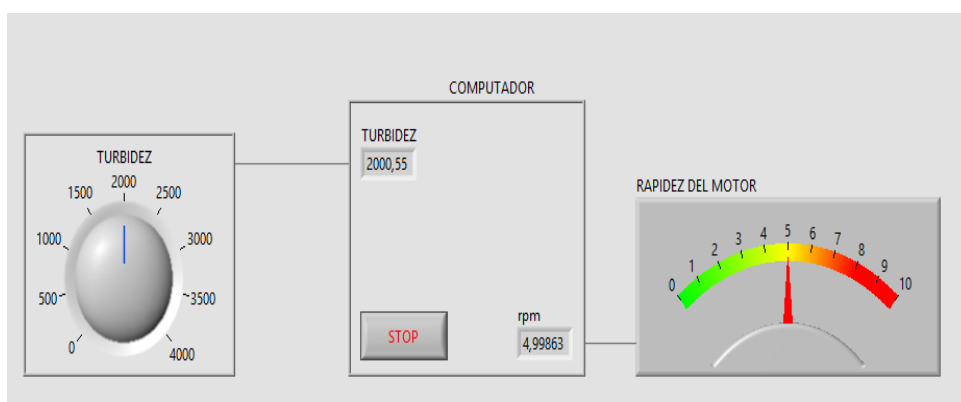


Figura 15. Front Panel (Esquema del proceso en labview)

En la figura 16 se muestra el diagrama de bloques que permite visualizar las variaciones que se presentaran en el sistema al momento de recibir algún cambio en el nivel de turbidez, ya que

una variable debe responder a la otra, pero no en un mismo sentido sino contrario, por lo que al subir la turbidez deben disminuir las RPM.

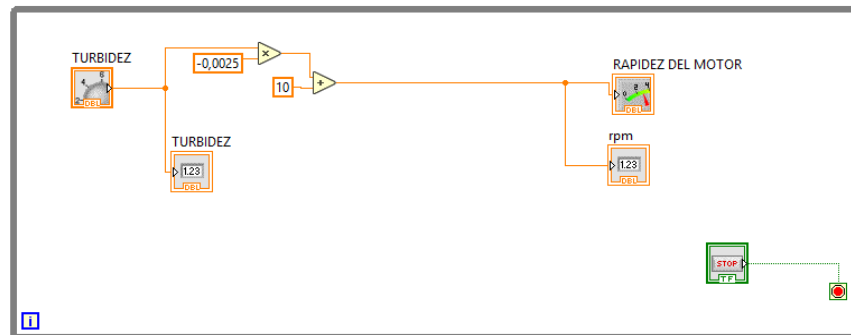


Figura 16. Block Diagram (Diagrama de bloques del esquema del proceso en labview)

7.3.2. Desarrollo y simulación del algoritmo en JavaScript (NodeJs)

NodeJs es un intérprete de JavaScript para Windows, el cual posee en su núcleo todas las librerías y funciones base para desarrollar una aplicación que puede ser de tipo escritorio como de tipo web. En la actualidad NodeJs tiene una gran cantidad de desarrolladores quienes día tras día alimentan su plataforma mediante la creación y actualización de librerías, esta información se puede observar en la figura 17 al visitar la web (“expreso - npm,” n.d.) del gestor de paquetes de NodeJs.

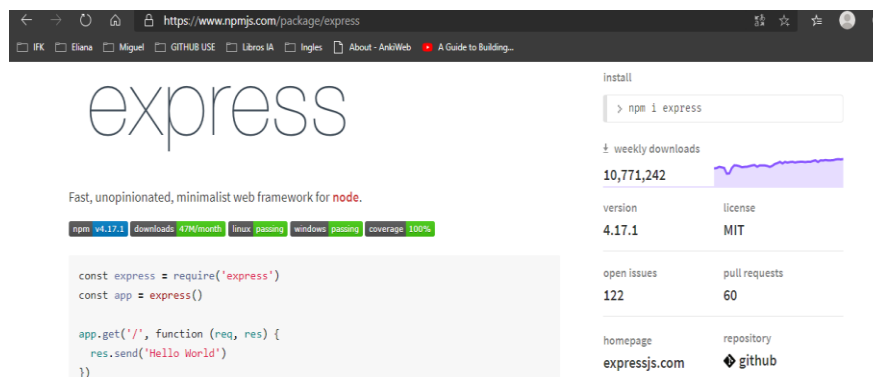


Figura 17. Página web del gestor de paquetes NodeJs

Fuente. (“expreso - npm,” n.d.)

Esto refleja que NodeJs se encuentra en una fase de crecimiento acelerado, debido a las constantes actualizaciones del motor de JavaScript, además de ello NodeJs se preocupa por garantizar la seguridad de las aplicaciones realizando auditorías a las librerías instaladas usando el gestor de paquetes.

Para usar NodeJs primero se debe, instalar en el computador el intérprete NodeJs y se recomienda tenerlo guardado en la variable Path para que se pueda invocar desde cualquier parte del programa. En la figura 18 se observa el intérprete de comando simplemente usando la palabra reservada “Node”.

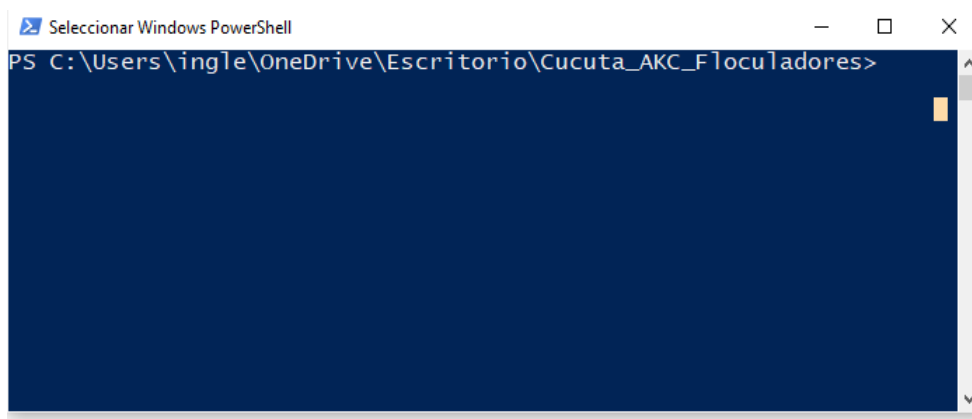
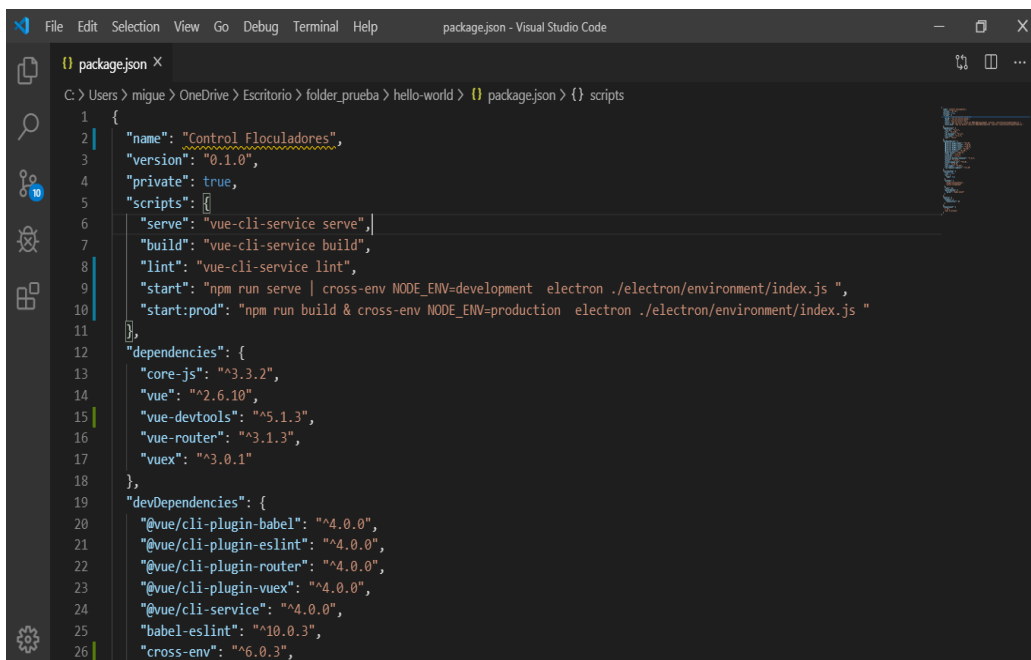


Figura 18. Intérprete NodeJs

Con la instalación del interprete NodeJs, automáticamente se instalará el manejador de paquetes NPM donde se podrán adicionar a la automatización del sistema todos los complementos necesarios para el funcionamiento del software.

En la figura 19 se observa la consola NPM además de ser el manejador de paquetes, también será el encargado de generar el proyecto, usando el comando “npm init”, la consola NPM creara

en la carpeta un archivo de formato JSON, el cual va a contener: nombre del proyecto, autor, repositorio, tipo de licencia y paquetes instalados. En la figura 16 se observa la consola NPM.



```

1 {
2   "name": "Control Floculadores",
3   "version": "0.1.0",
4   "private": true,
5   "scripts": {
6     "serve": "vue-cli-service serve",
7     "build": "vue-cli-service build",
8     "lint": "vue-cli-service lint",
9     "start": "npm run serve | cross-env NODE_ENV=development electron ./electron/environment/index.js ",
10    "start:prod": "npm run build & cross-env NODE_ENV=production electron ./electron/environment/index.js "
11  },
12  "dependencies": {
13    "core-js": "^3.3.2",
14    "vue": "^2.6.10",
15    "vue-devtools": "^5.1.3",
16    "vue-router": "^3.1.3",
17    "vuex": "^3.0.1"
18  },
19  "devDependencies": {
20    "@vue/cli-plugin-babel": "^4.0.0",
21    "@vue/cli-plugin-eslint": "^4.0.0",
22    "@vue/cli-plugin-router": "^4.0.0",
23    "@vue/cli-plugin-vuex": "^4.0.0",
24    "@vue/cli-service": "^4.0.0",
25    "babel-eslint": "^10.0.3",
26    "cross-env": "^6.0.3",

```

Figura 19. Consola npm

Seguidamente con el comando “npm install <nombre del paquete> -S” se continua con la instalación de las librerías, complementando el proyecto; habilitando nuevas funciones para el desarrollador, logrando así cumplir con los objetivos del proyecto. En la consola se utilizó:

- NodeJs como intérprete del lenguaje JavaScript.
- NPM como manejador de paquetes de Node.
- Librerías web como Vue, Vue cli, Electron.

Vue Js es un marco de trabajo muy usado para el desarrollo front end (Aspecto grafico de la aplicación), es decir, interfaz de usuario. Tiene como característica ser accesible, versátil, escalable, reactivo, optimo y con una comunidad muy amplia (Mas de 130 personas

contribuyendo – Referencia: (“vuejs · GitHub,” n.d.), posee licencia de código abierto MIT, lo cual define su uso libre sin reconocer ningún costo a su fabricante.

VueJs como un servidor productivo, tiene la característica de compilar el código fuente, optimizándolo y convirtiéndolo en ilegible, evitando el robo de código que puede ocurrir al hacer proyectos que tienen núcleo JavaScript.

Vue se complementa con todo un ecosistema, el cual se compone de:

- Vue – Router
- Vuex
- Servicios externos
- Test unitarios

Realiza el manejo de rutas, archivos de media y video, se complementa para llegar a ser un gran marco de trabajo con todo lo que se requiere para hacer el front end de una aplicación.

ElectronJs es también una librería, que da la posibilidad de convertir un proyecto web de NodeJs en una aplicación de escritorio completamente funcional, esto se obtiene al generar un navegador web incrustado oculto en una ventana de escritorio.

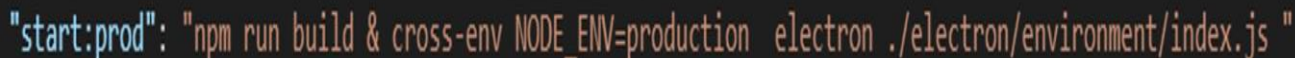
Para labores de desarrollo se requiere que en paralelo se ejecute la compilación por parte de VueJs y la creación de la ventana de programa de computadora con navegador incrustado por parte de Electron, por esta razón en la figura 20 se observa la línea donde se aplica el conector “|” del package.json la selección.

```
"start": "npm run serve | cross-env NODE_ENV=development electron ./electron/environment/index.js ",
```

Figura 20.. Línea de comando, uso de conector “|”

Al usar el conector “|” entre ambos comandos Node asumirá que debe ejecutar las dos tareas en paralelo, esta funcionalidad explota todo el potencial de procesadores multinúcleo, los cuales en un hilo de procesamiento pueden compilar y al mismo tiempo lanzar la ventana.

Por otra parte, en un ambiente productivo, no se busca estar compilando puesto que no van a existir cambios en el código fuente, pero si mantener la ventana de escritorio, por lo que se ejecuta es en serie las tareas. En la figura 21 se observa la aplicación del conector &.



```
"start:prod": "npm run build & cross-env NODE_ENV=production electron ./electron/environment/index.js "
```

Figura 21. Línea de comando, uso del conector “&”

El conector “&” permite que las dos tareas se ejecuten secuencialmente, garantizando que primero compile el proyecto y luego lance la ventana en el entorno Windows.

A partir de ahora comienza el desarrollo del aplicativo, específicamente la parte WEB, Electron se hará cargo de convertir el proyecto web en un aplicativo de escritorio portable.

Para definir el aspecto grafico de la aplicación se ha importado la plantilla StartAdmin, esta ha sido empleada por poseer estilos, fuentes, colores pre-definidos los cuales simplifican la tarea y consigue ahorrar tiempo de desarrollo, la instalación se hace descargando la plantilla de la página web oficial StartAdmin (“star-admin,” n.d.), se obtiene dividida en archivos .css (hojas de estilo), archivos .JS (archivos de código JavaScript) realizan las acciones animadas de la página y los archivos de extensión HTML donde se demuestra su uso básico.

Una vez descargada la plantilla se agrega al folder Public para acceder desde cualquier parte del aplicativo. En la figura 22 aparece la ventana del comando Public, folder abierto al público donde están los archivos que comparten múltiples partes del aplicativo.

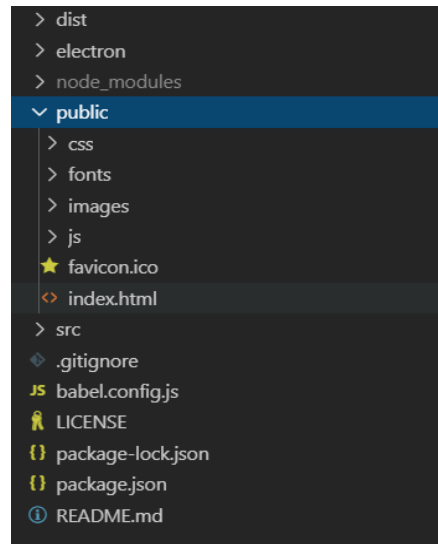


Figura 22. Estructura del folder public del proyecto

Acción seguida en el proyecto vueJS se importan los estilos, animaciones para que con ello la plantilla se pueda usar a lo largo del proyecto, lo cual se va a realizar en el template que tiene formato de extensión HTML, esto será compilado por babel quien convierte todo el código en una version comprensible para el navegador que utiliza el motor de electronJS.

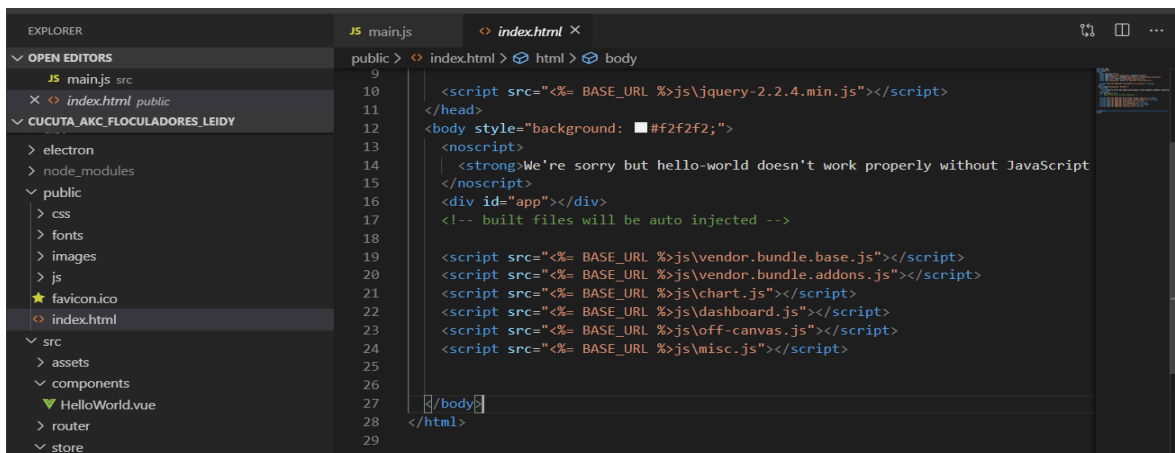


Figura 23. Template index.html. Código base para todas las páginas del website

Finalmente, en la figura 24 se observa la realización de toda la configuración específica del proyecto, en esta parte se dispondrá el título de la aplicación, la pantalla principal con subtítulo,

botones de navegación, botones de simulación (Mas o menos turbidez, mayor o menor RPM, etc.)

```

1 <template>
2 <div class="container-fluid">
3 <div class="content-wrapper">
4 <div class="page-header row">
5 <div class="col-12">
6 <h3 class="page-title">Floculador 1,2 - Tanque 1 - Planta 1</h3>
7 </div>
8 </div>
9 </div>
10 </div>
11 <div class="row">
12 <div class="col-md-6 grid-margin stretch-card">
13 <div class="col-md-12 grid-margin">
14 <div class="card">
15 <h4 class="card-title card-title mb-0 mt-3">
16 Turbidez (NTU)
17 </h4>
18 <div class="card-body">
19 <div class="form-group">
20 <div class="input-group">
21 <div class="input-group-prepend cursor-pointer" @click="minNTU">
22 <span class="input-group-text"></span>
23 </div>
24 <input type="text" class="form-control text-center" v-model="NTU" readonly>
25 <div class="input-group-append cursor-pointer">
26 <span class="input-group-text" @click="maxNTU"></span>
27 </div>
28 </div>
29 </div>
30 </div>
31 </div>
32 </div>
33 </div>
34 <div class="col-md-6 grid-margin stretch-card">
35 <div class="col-md-12 grid-margin">
36 <div class="card">
37 <h4 class="card-title card-title mb-0 mt-3">
38 RPM
39 </h4>
40

```

Figura 24. Código fuente html y x-template vue.js

La figura 25 corresponde al sistema de control NodeJs, una vez terminado el código fuente, el software con el cual se simula el sistema propuesto es el siguiente:

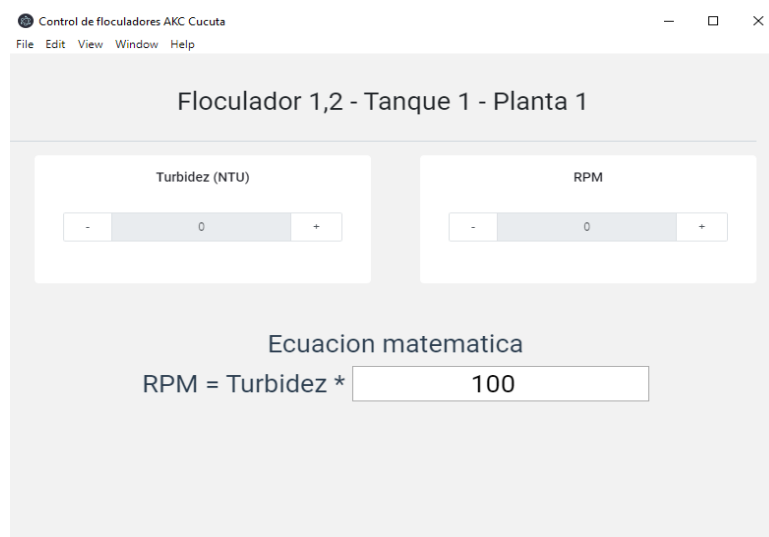


Figura 25. Vista del sistema de control realizado en nodejs

El sistema propuesto expone que para cada tanque existirá un turbidímetro, con dos (2) paletas cada una con un motor para realizar el movimiento del agua. Además, el sistema propuesto simula el proceso de automatización empleando como base una ecuación, resultado de una regresión lineal (figura 23), ya que al existir un cambio en la turbidez inmediatamente el sistema enviara una orden al variador de aumentar o disminuir las RPM dependiendo de la situación, de igual forma si en el motor hay variación de las RPM, el sistema realiza la operación inversa y ajusta el valor de turbidez. Esta característica se ha simulado con el objetivo que una sub-tarea realice el monitoreo inverso, comprobando que los rangos de operación que adopte el sistema de forma automática o manual sean las correctas según las condiciones presentes, en caso contrario alertara al operario.

Con el objetivo de presentar una simulación global, del aspecto del sistema automatizado que tendrán los tableros (figura 26), ejecutado en paralelo el control RPM/Turbidez se obtiene:

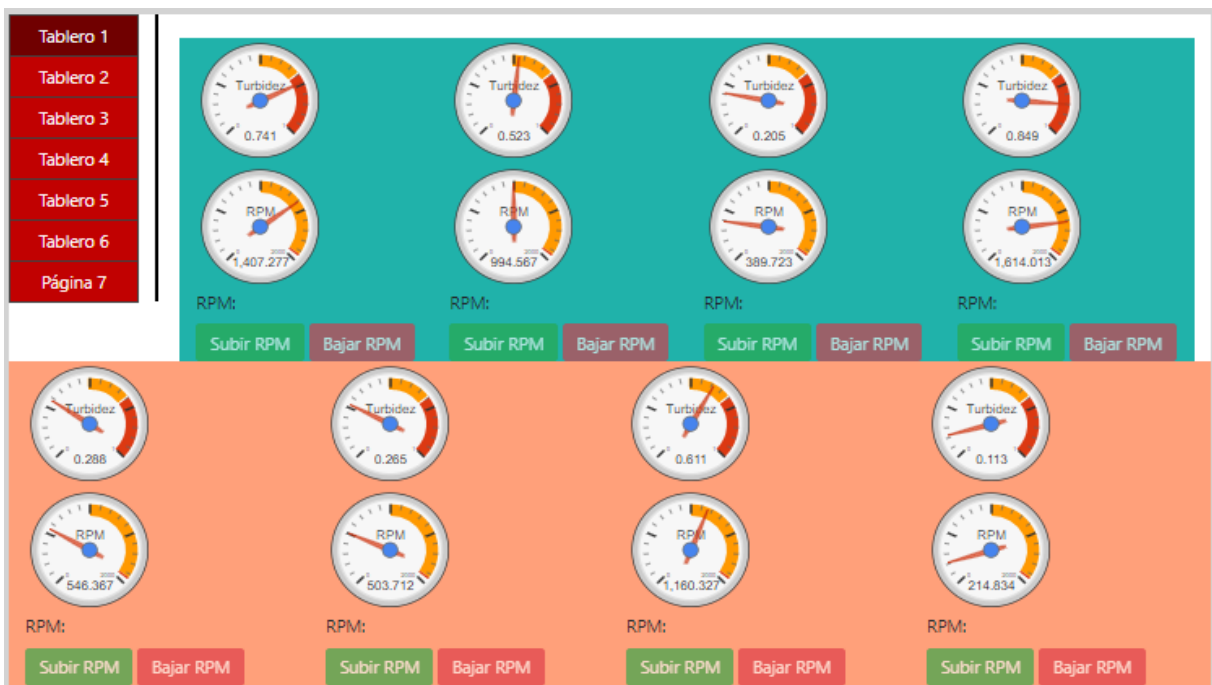


Figura 26. Vista global del software

De esta vista global se puede llegar a una vista específica de cada par de motores, haciendo clic en cada uno de las parejas de floculadores que conforman los grupos de 8/10 floculadores.

7.4 Evaluación del proyecto basado la propuesta y análisis de costo/beneficio.

7.4.1 Costos/beneficio

Para el análisis costo/beneficio, fue preciso cotizar los precios de los componentes necesarios para mejorar el proceso de floculación. En la actualidad la empresa cuenta con los variadores de frecuencia (SD300742F Power electronics) previamente seleccionados respecto a los beneficios que brinda al sistema. Cotización ver anexo 2.

7.4.2 Especificaciones técnicas Computador (estación remota)

El computador es pieza fundamental del sistema, será el encargado de tener en su sistema operativo instalado el software que hemos desarrollado y estará en constante comunicación con los variadores de frecuencia SD300742F a través del protocolo MODBUS, se puede considerar un computador de gama media que posea al menos:

- 4 GB RAM o más.
- 120 GB de disco duro SSD o superior.
- 1 TByte de disco duro estándar HDD.
- Pantalla HD o FHD, con frecuencia de refresco 60Hz.
- Fuente de poder de 120 Watt o inferior.
- Fuente UPS

7.4.3 Sistema de Conexiones.

Por norma eléctrica, todo conductor que se encuentre en ambiente industrial húmedo deberá ir en su respectiva canaleta para que proteja el cableado de las inclemencias del entorno, este cableado será el que conectara tanto a los variadores de frecuencia como a los turbidímetros uno a uno y finalmente conectara con el computador.

El computador y la fuente UPS estarán instalados sobre una mesa firme o un soporte de tipo repisa cerca al tablero de control, donde se monitorean los registros de turbidez y RPM. El operador tendrá la oportunidad de realizar ajustes de ser necesarios. El sitio deberá contar con una ventilación que garantice la operatividad del equipo y además debe contar con conexiones a una red.

8. Conclusiones

- Al implementar la automatización del proceso de floculación, se identifican y controlan las principales variables del sistema: turbidez y las RPM correspondientes a los motores-reductores de las paletas correspondientes a cada tanque.
- Con base en la medición de la variable de turbidez, se propone automatizar el sistema por medio de sensores de turbidez, tarjetas de acondicionamiento de señal, un servidor, chip FTDI y variadores de frecuencia; obteniendo una reducción de la precisión de un $\pm 2\%$ (Equipo manual HACH 2100N) a una precisión con calibración $<1\%$ del valor medido ± 0.01 NTU (sensor de turbidez Solitax ts-line sc Hach SC200).
- El desarrollo del software a través de NodeJs y Electron trae como beneficio el no requerir pago ya que su licenciamiento es opensource, este permitirá controlar y monitorear el funcionamiento del proceso de floculación desde una aplicación de escritorio o incluso desde la web.
- El beneficio que se obtiene inicialmente ejecutando el proyecto sería la reducción en costo enfocado en la disminución del consumo de químicos obteniendo a favor un mejor tiempo de respuesta a la inestabilidad de las variables del proceso de floculación.
- El sistema automático propuesto pretende ajustarse en tiempo real al proceso de floculación que ocurre al interior de la planta, sin embargo, hasta que el proceso de dosificación no se automatice no va a ser totalmente optimo y por ende va a existir un límite en el cual el sistema no encuentra que acción realizar más que mantener su estado actual y alertar al operario.

9. Recomendaciones

- Almacenar periódicamente los valores de turbidez, RPM e inicios de sesión del sistema, a finalidad que en los próximos años se pueda desarrollar un sistema optimo basado en el historial de registro de las variables de control.
- En el momento de implementar capacitar el personal operador, dejar manuales técnicos y de usuario los procedimientos de instalación, configuración, puesta en marcha, apagado, apagado de emergencia, actualización, reinstalación con los cuales se cubren todas las posibles situaciones.
- Después de implementado el sistema hacer pruebas controladas en las cuales se simule falla de conductores, falla de protocolos de comunicación, perdida de electricidad y colapso del sistema operativo, a fin de comprobar el tiempo de respuesta del equipo de ingenieros de la planta.
- Durante y después de la instalación llevar bitácoras, en donde el operario/técnico/supervisor/ingeniero redacten todas las eventualidades y/o sugerencias que tengan respecto al software, este manual será consultado por los ingenieros de software a finalidad de determinar cuáles son los puntos críticos que deben ser prioridad en el desarrollo de una nueva versión.
- Implementar una metodología de desarrollo Agile, donde al final de cada semana laboral se determine la matriz DOFA del sistema actual y se tomen las decisiones requeridas para que semana a semana el sistema se adapte a las necesidades cambiantes de la planta consiguiendo ser ejemplo para toda la ciudad de mejoramiento continuo.

Referencias bibliográficas

- Aguas kpital cucuta s.a esp. (n.d.). Plantas de tratamiento. Retrieved march 26, 2019, from <http://akc.com.co/akcword/plantas-de-tratamiento/>
- Alvarado-bolaños, m. (2006). Diseño e implementación de la automatización de un sistema de aire acondicionado. (instituto tecnológico de costa rica. Escuela de ingeniería electrónica.). Retrieved from <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/471>
- Burbano-valencia, a. A. (2015). Automatización de la planta piloto intercambiador de calor del laboratorio de automatización y procesos industriales de la universidad javeriana cali.
- Harper, gilberto enríquez. Manual de instalaciones electromecánicas en casas y edificios. Hidráulicas, sanitarias, aire acondicionado, gas, eléctricas y alumbrado. México. Editorial limusa. 2000. Retrieved from <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/4014>
- Expreso - npm. (n.d.). Retrieved november 18, 2019, from <https://www.npmjs.com/package/express>
- Farro-gomez, h. W., & esquerre-gil, e. A. (2016). Diseño de un sistema de supervisión y control para la planta de tratamiento de agua en la empresa ucp backus & johnston s.a.a planta motupe (universidad nacional pedro ruiz gallo). Retrieved from <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/unprg/987/bc-tes-5796.pdf?sequence=1>
- Fyn de colombia ingenieria en agua. (n.d.). Coagulation y floculation: definicion, tipos y factores. Retrieved march 26, 2019, from https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/coagulation-floculation-definicion/#que_es_la_floculation
- Glasfira-diseñoweb, i. (n.d.). Automatización industrial. Retrieved march 26, 2019, from <http://glasfira.com/automatizacion-industrial>

- Gomez-lopez, s. (2013). Automatización de una planta de tratamiento de agua para la empresa deinpro global (universidad de los andes). Retrieved from <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19579/u670908.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Guía técnica gtc colombiana. (2011). Guía técnica gtc colombiana 218 máquinas eléctricas rotatorias. Selección de motores energéticamente eficientes que incluyen aplicaciones de velocidad variable. Guía de aplicación e: rotating electrical machines. Selection of energy-efficient motors including variable speed applications. Application correspondencia: esta norma es idéntica (idt) por traducción de la. Retrieved from <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/gtc218.pdf>
- Hernández-sampieri, r., fernández-collado, c., & baptista-lucio, p. (2010). Metodología de la investigación, 5ta ed. Retrieved from www.freelibros.com
- Instituto nacional de ciberseguridad de españa sa. (n.d.). Iec 62443: evolución de la isa 99 | incibe-cert. Retrieved march 26, 2019, from <https://www.incibe-cert.es/blog/iec62443-evolucion-isa99>
- Norma técnica ntc-iso/iec colombiana 17025. (2005). Norma técnica ntc-iso/iec colombiana 17025 requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración e: general requirements for the competence of testing and calibration laboratories correspondencia. Retrieved from https://www.invima.gov.co/images/pdf/red-nal-laboratorios/resoluciones/ntc-iso-iec_17025-2005.pdf
- Organizacion internacional de normalizacion. (n.d.). Iso / tc 184 - sistemas de automatización e integración. Retrieved march 26, 2019, from <https://www.iso.org/committee/54110.html>
- Organizacion internacional de normalizacion. (n.d.). Iso 23570-1:2005 - industrial automation

systems and integration -- distributed installation in industrial applications -- part 1: sensors and actuators. Retrieved march 26, 2019, from <https://www.iso.org/standard/39926.html>

Pedraza-leguizamón, a. R. (2007). Automatización del sistema de comunicación entre equipos de proceso y llenado uht/uat (larga vida) en la planta de producción algarra s.a. 117. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/16090>

Power electronics sd300742f manuals. (n.d.). Retrieved november 18, 2019, from <https://www.manualslib.com/products/power-electronics-sd300742f-9024107.html>

Robertson-rojas, i. D. (2006). Automatización de un termohigrografo mecánico. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16485/00781362.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Romero-escovar, d. M. (2009). Propuesta de automatización de los procesos de verificación y despachos en una empresa panificadora. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7303/tesis301.pdf?sequence=1>

Sarmiento-cabezas, i. D., & sanchez-sepulveda, r. (2013). Automatización de máquina de cavitación hidrodinámica (universidad de los andes). Retrieved from <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19603/u670971.pdf?sequence=1>
&isallowed=yStar-admin. (n.d.). Retrieved november 18, 2019, from <https://www.bootstrapdash.com/demo/star-admin-vue/>

Tamayo-chacon, f. J. (2005). Implementación de un sistema de supervisión en la automatización de un puente grúa (universidad de los andes). Retrieved from <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23007/u276896.pdf?sequence=1>
&isallowed=yTercesa s.l. (n.d.). Motorreductores y reductores de velocidad mecánicos. Retrieved march 26, 2019, from <https://tercesa.com/noticias/que-es-un-motorreductor/>

Vuejs · github. (n.d.). Retrieved november 18, 2019, from <https://github.com/vuejs>

Anexos

Anexo 1. lista de simulación turbidez/rpm

Turbidez	RPM	Accion
0	10	Actualizar las RPM
50	9.47	Actualizar las RPM
100	8.94	Actualizar las RPM
150	8.41	Actualizar las RPM
200	7.88	Actualizar las RPM
250	7.35	Actualizar las RPM
300	6.82	Actualizar las RPM
350	6.29	Actualizar las RPM
400	5.76	Actualizar las RPM
450	5.23	Actualizar las RPM
500	4.7	Actualizar las RPM
550	4.17	Actualizar las RPM
600	3.64	Actualizar las RPM
650	3.11	Actualizar las RPM
700	2.58	Actualizar las RPM
750	2.05	Actualizar las RPM
800	1.52	Actualizar las RPM
850	0.99	Actualizar las RPM
900	0.46	Actualizar las RPM
950	-0.07	Mantener RPM y Alertar
1000	-0.6	Mantener RPM y Alertar

1050	-1.13	Mantener RPM y Alertar
1100	-1.66	Mantener RPM y Alertar
1150	-2.19	Mantener RPM y Alertar
1200	-2.72	Mantener RPM y Alertar
1250	-3.25	Mantener RPM y Alertar
1300	-3.78	Mantener RPM y Alertar
1350	-4.31	Mantener RPM y Alertar
1400	-4.84	Mantener RPM y Alertar
1450	-5.37	Mantener RPM y Alertar
1500	-5.9	Mantener RPM y Alertar
1550	-6.43	Mantener RPM y Alertar
1600	-6.96	Mantener RPM y Alertar
1650	-7.49	Mantener RPM y Alertar
1700	-8.02	Mantener RPM y Alertar
1750	-8.55	Mantener RPM y Alertar
1800	-9.08	Mantener RPM y Alertar

Anexo 2 Cotización



Be Right™

Oficinas principales:
 Hach Colombia S.A.S.
 NIT: 860.000.100-9
 Calle 60 A No. 5-77
 Bogotá - Colombia
 Tel. +57 1 2351574
 Tel. +57 1 2351554
 Info.co@hach.com
 www.co.hach.com

Bogotá D.C., Julio 30 de 2019

Señores:

AGUAS KPITAL SA ESP

Atn. Ing. Leydi Johanna Botello C.

Cúcuta N.S.

REF. PROPUESTA N° KPITAL-30072019

En atención a su amable solicitud, tenemos el gusto de cotizar lo siguiente:

REFERENCIA	Descripción del equipo	MARCA	CAN	ENTREGA	V. UNITARIO (DOLARES)	V. PARCIAL (DOLARES)
LXV423.99.00100	Sonda de inmersión Solitax ts-line sc para medida de turbidez (0,001-4000 NTU) y de sólidos en suspensión (0,001-50 g/L), con rasqueta, de acero inoxidable -Longitud de cable: 10 m -Rango de temperatura de operación: 0 - 40 °C -Rango de presión: 6 bar or 60 m (87 psi) Instalación tipo inmersión canal abierto/unidad abierta	HACH	1	45 DIAS	\$ 6.397,00	\$ 6.397,00
LZY714.99.53120	Kit de montaje con pértiga de acero inoxidable para los sensores Solitax sc y TSS sc	HACH	1	45 DIAS	\$ 728,00	\$ 728,00
LXV404.99.00552	Controlador universal SC200: de 100 a 240 V CA con dos entradas digitales para sensor y dos salidas de 4 a 20 Ma	HACH	1	45 DIAS	\$ 2.687,00	\$ 2.687,00

LXV445.99.20112	Turbidímetro láser de rango bajo TU5300 sc con sensor de caudal, versión EPA -Rango: 0,002 NTU-700 NTU -Incluye: Cable Length: 1.6 m (5.25 ft) Turbidímetro que requiere una muestra y tiene un drenaje para hacer la medición	HACH	1	45 DIAS	\$ 2.889,00	\$ 2.889,00
LZY907.97.00002	Kit de mantenimiento para el turbidímetro láser TU5300 sc y TU5400 sc Incluye: Calibration lid with user manual, lint-free cloths, wire maintenance rack, vial cleaning tool, vial compartment cleaning tool, replacement automatic cleaning module wiper, 20 NTU sealed vial Stabcal Standard, 600 NTU sealed vial Stabcal Standard, <0.1 NTU secondary Standard glass rod, vial removal tool	HACH	1	45 DIAS	\$ 1.596,00	\$ 1.596,00
LXV404.99.00552	Controlador universal SC200: de 100 a 240 V CA con dos entradas digitales para sensor y dos salidas de 4 a 20 mA	HACH	1	45 DIAS	\$ 2.687,00	\$ 2.687,00
SUBTOTAL \$						\$ 16.984,00
IVA 19%						\$ 3.226,96
TOTAL \$						\$ 20.210,96

CONDICIONES COMERCIALES

FORMA DE PAGO : CONDICION CLIENTE CONTADO
TIEMPO DE ENTREGA : 30 – 45 DIAS FECHA O.C.
VALIDEZ OFERTA : 30 DIAS FECHA COTIZACIÓN

Atentamente,

JORGE A. GUTIERREZ
 JORGE A. GUTIERREZ P
 Asesor comercial