

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

**TEMA:**

---

“SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE  
POTABILIZACIÓN EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA  
POTABLE (JAAP)”

---

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magíster  
en Automatización y Sistemas de Control

**Autor:** Ing. Wilmer Alfredo Conde Chicaiza

**Director:** Ing. Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD.

Ambato - Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg., e integrado por los señores Ingeniero Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg., Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez PhD, Ingeniero Carlos Diego Gordon Gallegos PhD., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: **“SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACION EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE (JAAP)”**, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Wilmer Alfredo Conde Chicaiza, para optar por el Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



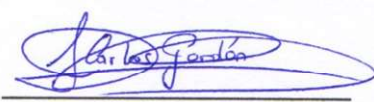
Ing. Elsa Pilar Urrutia Mg  
Presidenta del Tribunal



Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg.  
Miembro del Tribunal



Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD  
Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Diego Gordon Gallegos PhD  
Miembro del Tribunal

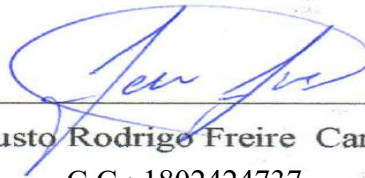
## AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: **“SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACION EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE (JAAP)”**, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Wilmer Alfredo Conde Chicaiza, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



---

Ingeniero Wilmer Alfredo Conde Chicaiza  
C.C.: 1716971112  
AUTOR



---

Ing. Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD  
C.C.: 1802424737  
DIRECTOR

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wilmer Alfredo Conde Chicaiza', is written over a horizontal line. The signature is highly stylized and somewhat illegible due to its cursive nature.

Ing. Wilmer Alfredo Conde Chicaiza

C.C.: 1716971112

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>PORTADA .....</b>	<b>i</b>
<b>A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR.....</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE TABALAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>xvi</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>4</b>
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1 Tema de Investigación .....	4
1.2 Planteamiento del Problema .....	4
1.2.1 Contextualización	4
1.2.2 Árbol del problema	8
1.2.3 Análisis Crítico	8
1.2.4 Prognosis	9
1.2.5 Formulación del Problema	10
1.2.6 Preguntas Directrices	10
1.2.7 Delimitación del Problema	10
1.3 Justificación .....	11
1.4 Objetivos .....	12

1.4.1	Objetivo General	12
1.4.2	Objetivo Específicos	12
<b>2</b>	<b>12</b>	
<b>CAPÍTULO II</b>		<b>13</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>		<b>13</b>
2.1	Antecedentes Investigativos	13
2.2	Fundamentación filosófica	16
2.3	Fundamentación Legal	16
2.4	Categorías Fundamentales	19
2.4.1	Categorías fundamentales de la Variable Independiente	22
2.4.2	Categorías fundamentales de la Variable Dependiente	37
2.5	Hipótesis	45
2.6	Señalización de las Variables	45
	Variable Independiente	45
<b>3</b>	<b>46</b>	
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>46</b>
METODOLOGÍA		46
3.1	Enfoque de la investigación	46
3.2	Modalidad básica de la investigación	46
3.2.1	Investigación Causal	46
3.2.2	Investigación de Campo	46
3.2.3	Investigación bibliográfica documental	47
3.3	Nivel o tipo de investigación	47
3.3.1	Investigación Exploratoria	47
3.4	Población y Muestra	47
3.4.1	Población	47
3.4.2	Muestra	49
3.5	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	51
3.5.1	Operacionalización de variable independiente	51
3.5.2	Operacionalización de variable dependiente	52
3.6	Plan de Recolección de la Información	53

3.6.1	Técnicas e instrumentos	53
3.6.2	Procesamiento y análisis de la información	54
<b>4</b>	<b>55</b>	
	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>55</b>
	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
4.1	Análisis de resultados .....	55
4.2	Verificación de la hipótesis.....	59
4.2.1	Formulación de la hipótesis	59
4.2.2	Nivel de Significación	59
4.2.3	Definición de la población	59
4.2.4	Elección de la prueba estadística	60
4.2.5	Zona de aceptación y rechazo	60
4.3	Calculo del CHI cuadrado.....	61
	Decisión	62
<b>5</b>	<b>CAPITULO V .....</b>	<b>63</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	63
5.2	RECOMENDACIONES.....	64
<b>6</b>	<b>66</b>	
	<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>66</b>
	<b>LA PROPUESTA.....</b>	<b>66</b>
6.1	DATOS INFORMATIVOS.....	66
6.1.1	TITULO	66
6.1.2	INSTITUCIÓN	66
6.1.3	BENEFICIARIOS	66
6.1.4	UBICACIÓN	66
6.1.5	EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE	66
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	67
6.3	JUSTIFICACIÓN .....	68
6.4	OBJETIVOS .....	69
6.4.1	Objetivo General	69
6.4.2	Objetivos Específicos	69

6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	69
6.5.1	Factibilidad Económica	70
6.5.2	Factibilidad Técnica	70
6.5.3	Factibilidad operativa	70
6.6	FUNDAMENTACIÓN.....	70
6.7	DEFINICIONES GENERALES.....	71
6.7.1	Sensor	71
6.7.2	Actuadores	71
6.7.3	WSN (Wireless sensor networks)	71
6.7.4	Controlador	71
6.7.5	Adquisición de datos	72
6.8	METODOLOGÍA.....	72
6.9	Equipos tecnológicos .....	73
6.9.1	Selección de equipos	74
6.9.2	Características y detalles de dispositivo de detección	74
6.9.3	Tarjeta de adquisición de datos	75
6.9.4	Software	79
6.9.5	Arquitectura de la propuesta	82
6.10	Diseño del sistema .....	84
6.10.1	Integración de sensores a NODE-RED	84
	Análisis del tráfico de datos	88
6.11	Estrategia de control .....	90
6.11.1	Sistema de inferencia	97
6.12	Desarrollo de la aplicación.....	98
6.12.1	Comunicación de DAQ a Raspberry Pi	99
6.12.2	Activación del actuador	100
6.13	Interfaz Grafica .....	101
6.14	Implementación del prototipo de monitorización y control en la JAAPSIQ.....	104
6.15	Procedimiento para las pruebas del sistema propuesto y el sistema actual. 105	
6.15.1	Pruebas de funcionamiento sin dosificar	106



6.15.2	Pruebas de funcionamiento dosificando	107
6.16	Comparación técnica y físicas de los sistemas. ....	109
6.17	Comprobación de la hipótesis del sistema de monitorización y control automático en la JAAP. ....	110
6.18	Análisis de los sistemas Tradicional manual VS. Sistema de monitorización y control Automático.....	111
6.19	Aplicación del chi cuadrado para la validación de la hipótesis de las pruebas de campo realizadas. ....	111
6.20	Recursos administrativos .....	114
6.20.1	Recursos económicos	114
6.20.2	Análisis para recuperación de capital invertido	115
6.21	Conclusiones .....	117
6.22	Recomendaciones. ....	119
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXO 1: Cuestionario dirigido a los dueños del proceso.....</b>	<b>128</b>
	<b>ANEXO 2: Programa de Interfaz gráfica Principal en Myopenlab .....</b>	<b>129</b>
	<b>ANEXO 3: Programa en adquisición de Datos Myopenlab .....</b>	<b>130</b>
	<b>ANEXO 3: Código de la interfaz gráfica de la planta.....</b>	<b>131</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.1:</b> Relación Causa - Efecto.....	8
<b>Figura N° 2.1:</b> Categorización del Problema.....	19
<b>Figura N° 2.2</b> Constelación de Ideas Variable Independiente .....	20
<b>Figura N° 2.3</b> Constelación de Ideas variable Dependiente .....	21
<b>Figura N° 2.4</b> Pirámide de la automatización .....	23
<b>Figura N° 2.5</b> Pirámide comunicación industrial.....	26
<b>Figura N° 2.6</b> Arquitectura IoT.....	27
<b>Figura N° 2.7:</b> Variables de un Sistema.....	29
<b>Figura N° 2.8:</b> Elementos de un sistema de control de lazo abierto .....	31
<b>Figura 2.9:</b> Sistema de control industrial de lazo cerrado.....	31
<b>Figura N° 2.10:</b> Diagrama de bloques de un sistema difuso.....	34
<b>Figura N° 2.11:</b> Inferencia de Mandani .....	37
<b>Figura N° 2.12:</b> Proceso de tratamiento de agua .....	40
<b>Figura N° 3.1:</b> Caudales concesionados en las JAAP.....	407
<b>Figura N° 4.1:</b> Grafica de zona de aceptación y rechazo.....	61
<b>Figura N° 6.1:</b> Descripción general del proyecto propuesto.....	73
<b>Figura N° 6.2</b> Arquitectura del proyecto.....	83
<b>Figura N°6.3:</b> Node RED.....	85
<b>Figura N°6.4:</b> Configuración Sensor de pH.....	86
<b>Figura N°6.5:</b> Código de adquisición de datos Node RED .....	86
<b>Figura N°6.6:</b> Dashboard de Node-RED .....	87
<b>Figura N°6.7:</b> Estructura de análisis de tráfico de datos.....	88

<b>Figura N°6.8:</b> Captura del tráfico en la trasmisión de datos de la red WSN .....	89
<b>Figura N°6.9:</b> Transmisión de paquetes.....	89
<b>Figura N° 6.10:</b> Proceso actual de dosificado.....	90
<b>Figura N° 6.11:</b> Estructura genérica de un controlador Fuzzy .....	91
<b>Figura N° 6.12:</b> Diagrama de bloques de control .....	92
<b>Figura N° 6.13:</b> Diagrama de bloques de control .....	94
<b>Figura N° 6.14:</b> Fusificación de la Turbiedad .....	95
<b>Figura N° 6.15:</b> Fusificación de pH.....	96
<b>Figura N° 6.16:</b> Fusificación de dosificación .....	97
<b>Figura N° 6.17:</b> Reglas de Control .....	97
<b>Figura N° 6.18:</b> Superficie de control Mandami (a) y respuesta de jFuzzy (b)...	98
<b>Figura N° 6.19:</b> Controlador fuzzy .....	99
<b>Figura N° 6.20:</b> Configuración módulo de comunicación serie y envió de datos. .....	99
<b>Figura N° 6.21:</b> Recepción de datos. ....	100
<b>Figura N° 6.22:</b> Interfaz Gráfica página principal .....	101
<b>Figura N° 6.23:</b> Interfaz Gráfica opción planta .....	102
<b>Figura N° 6.24:</b> Interfaz Gráfica opción Sensores.....	103
<b>Figura N° 6.25:</b> Interfaz Gráfica opción dosificación .....	103
<b>Figura N° 6.26:</b> Interfaz Gráfica opción Histórico .....	104
<b>Figura N° 6.27:</b> Instalación de dispositivos electrónicos.....	104
<b>Figura N° 6.28:</b> Pruebas de Sensores sin dosificación automática. ....	106
<b>Figura N° 6.29:</b> Pruebas de dosificación automática primera prueba. ....	107
<b>Figura N° 6.30:</b> Pruebas de dosificación automática segunda prueba.....	108

<b>Figura N° 6.31:</b> Pruebas de dosificación automática tercer prueba.....	109
<b>Figura N° 6.32:</b> Pruebas de dosificación automática.....	110
<b>Figura N° 6.33:</b> Establece zona de aceptación o rechazo .....	112
<b>Figura N° 6.34:</b> Mezcla de Coagulante.....	116

## INDICE DE TABALAS

<b>Tabla N° 2.1:</b> Parámetros básicos a ser vigilados y controlados en una planta potabilizadora.....	15
<b>Tabla N°2.1:</b> Tipos de desinfección.....	38
<b>Tabla N°3.1:</b> Fuente de abastecimiento de agua en las JAAP .....	48
<b>Tabla N°:3.2</b> Variable Independiente Monitorización y Control.....	51
<b>Tabla N° 3.3:</b> Variable Dependiente. Proceso de Potabilización.....	52
<b>Tabla N° 3.4:</b> Recolección de información.....	53
<b>Tabla N° 4.1</b> análisis e interpretación de cuestionario .....	55
<b>Tabla N° 4.2</b> Calculo generado para Chi-Cuadrado.....	61
<b>Tabla N° 6.1:</b> Parámetros a controlar.....	72
<b>Tabla N° 6.2:</b> Características de dispositivos de detección .....	74
<b>Tabla N° 6.3:</b> Comparativa de DAQ.....	76
<b>Tabla N° 6.4:</b> Raspberry pi comparado con otras SBC .....	78
<b>Tabla N° 6.5:</b> Comparación de protocolos de internet de las cosas (IoT) .....	80
<b>Tabla N°6.6:</b> Datos recolectados de bitácora del operador.....	92
<b>Tabla N° 6.7:</b> Variable de ingreso Caudal .....	93
<b>Tabla N° 6.8:</b> Variable estado de Turbiedad.....	94

<b>Tabla N° 6.9:</b> Variable estado de pH .....	95
<b>Tabla N° 6.10:</b> Variable salida Dosificación .....	96
<b>Tabla N°6.11:</b> Datos recolectados durante jornada de trabajo forma manual. ..	105
<b>Tabla N°6.12:</b> Diferencia de dosificación entre una habitual vs Automática....	111
<b>Tabla N°6.13:</b> Base para calcular frecuencias observadas y esperadas. ....	113
<b>Tabla N°6.14:</b> Calculo de Chi-Cuadrado .....	113
<b>Tabla N°6.15:</b> Presupuesto para ejecución del proyecto .....	115
<b>Tabla N°6.16:</b> Valor promedio de coagulante .....	115
<b>Tabla N°6.17:</b> Ahorro de coagulante en días .....	116
<b>Tabla N°6.18:</b> Inversión recuperada .....	117

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco ínfimamente a Dios por ser guía en mi camino, fortaleza en momentos difíciles y por la salud brindada en todo tiempo.*

*Irene mi esposa quien fue un pilar fundamental en esta travesía educativa con su paciencia y comprensión, y sobre todo mis hijos Mateo, Camila y David que son el motor de mi vida.*

*A mis padres quienes por su apoyo incondicional y ejemplo de trabajo constante.*

*Deseo expresar un profundo y muy sincero agradecimiento a Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad que abrió sus puertas y permitió ampliar mis conocimientos.*

*A todos nuestros distinguidos y dilectos maestros amigos y compañeros de maestría que compartieron sus conocimientos, experiencias, anécdotas en su trayectoria profesional en cada uno de los eventos realizados.*

*Ing. Fausto Freire PhD., por compartir sus conocimientos y experiencia para la elaboración del presente trabajo.*

*Wilmer Conde*

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo que fue desarrollado con mucho esfuerzo dedicación y perseverancia lo dedico con especial cariño a mis hijos que están preparándose le sirva como una muestra que es posible llegar a metas inalcanzables.*

*A mis padres quienes ante tantas adversidades con su amor y sacrificio me han enseñado muchos valores.*

*Wilmer Conde*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN,  
TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE  
POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL**

**TEMA:**

“SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE  
POTABILIZACIÓN EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA  
POTABLE (JAAP).”

**AUTOR:** Ing. Wilmer Alfredo Conde Chicaiza

**DIRECTOR:** Ing. Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD.

**FECHA:** Abril, 2019

**RESUMEN EJECUTIVO**

En la actualidad los constantes avances tecnológicos permiten desarrollar aplicaciones similares a las diseñadas para el ámbito industrial con dispositivos electrónicos económicos, conscientes de las diferencias que existe entre equipos industriales y enfocado en la necesidad de las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP), que no cuentan con equipos de medición y puedan verificar la calidad de agua debido a costos elevados de los equipos, por ello en el presente proyecto de titulación se analiza una alternativa de monitorización y control, donde se utiliza dispositivos electrónicos de bajo costo económico obteniendo como resultado valores aceptables de turbiedad, pH, caudal, que permite al operador diferenciar cuantitativamente las características importantes del agua para determinar la dosificación de coagulante.

Una vez identificadas las características del agua se utiliza una estrategia de control inteligente muy aplicada en sistemas similares conocida como Lógica



Difusa que permite extraer la información del experto y proporcionar apropiadamente el coagulante considerando la interrelación entre las características del agua en la primera etapa del sistema de tratamiento que es la coagulación – floculación, considera la etapa más importante del proceso de potabilización.

La recolección de datos de los diferentes sensores se realiza a través de dispositivos electrónicos que facilita la detección, procesamiento, comunicación y permite conformar una red de sensores inalámbricos (WSN), que facilita la adquisición y tratamiento de datos en tiempo real, por medio de plataformas de Internet de las Cosas IoT además que da facilidad de ubicación de los diferentes sensores en la planta potabilizadora y presenta una alta tasa de autonomía debido al uso eficiente de energía de los nodos.

Finalmente se procesa los datos recolectados en un software libre que permite aplicar la estrategia de control y realiza una interfaz gráfica de fácil utilización para el usuario final.

**Descriptores:** Juntas Administradoras de Agua Potable, potabilización, coagulación – floculación, control inteligente, coagulantes, Interfaz gráfica, software libre, WSN, comunicación, nodos, IoT.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN,**  
**TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE**  
**POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL**

**THEME:**

“SYSTEM OF MONITORING AND CONTROL FOR THE PROCESS OF  
POTABILIZATION IN THE ADMINISTRATIVE BOARDS OF DRINKING  
WATER (JAAP).”

**AUTHOR:** Ing. Wilmer Alfredo Conde Chicaiza

**DIRECTOR:** Ing. Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD.

**DATE:** Abril, 2019

**EXECUTIVE SUMMARY**

Nowadays the constant technological advances allow to develop applications similar to those designed for the industrial with economic electronic devices, aware of the differences that exist between industrial equipment and focused on the need of the Potable Water Management Boards (JAAP), which do not they have measurement equipment and can verify the quality of water due to high equipment costs, therefore in this titration project an alternative monitoring and control is analyzed, where electronic devices of low economic cost are used obtaining as a result values acceptable turbidity, pH, flow, which allows the operator quantitatively differentiate the important characteristics of water to determine the dosage of coagulant.

Once the characteristics of the water have been identified, an intelligent control strategy applied in similar systems known as Fuzzy Logic is used to extract the information from the expert and properly provide the coagulant considering the interrelation between the characteristics of the water in the first stage of the system.

treatment that is the coagulation - flocculation, considers the most important stage of the purification process.

The collection of data from the different sensors is done through electronic devices that facilitate detection, processing, communication and allows the creation of a wireless sensor network (WSN), which facilitates the acquisition and processing of data in real time, by means of IoT Internet of Things platforms that also facilitates the location of the different sensors in the water treatment plant and presents a high rate of autonomy due to the efficient use of energy from the nodes.

Finally, the collected data is processed in a free software that allows to apply the control strategy and makes a user-friendly graphic interface for the end user.

**Descriptors:** Potable Water Management, potabilization, coagulation - flocculation, intelligent control, coagulants, graphic interface, free software, communication, nodes, IoT.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la ubicación geográfica, el asentamiento desordenado de la población las empresas municipales locales no logran cubrir la demanda total de agua potable, especialmente en zonas rurales dando inicio a la agrupación de comunidades que buscan suplir la necesidad y forman las juntas Administradoras de Agua Potable (SENAGUA, 2016) que en nuestro país están regularizadas por la Secretaría del Agua (SECRETARÍA DEL AGUA, 2016, pág. 10), que es el ente encargado de asesorar, financiar y construir pequeñas plantas de tratamiento de agua, una vez construida la planta potabilizadora la directiva elegida en la JAAP administra, comercializa y distribuye transformándose en un ente autónomo no recibe recursos económicos del estado. Las plantas potabilizadoras no cuentan con instrumentos de medición que les permita verificar el estado del agua, peor aún un sistema de monitorización y control permanente en los subprocesos del sistema de potabilización como la dosificación de líquidos, el tanque de reserva, por los costos elevados de los equipos y el desconocimiento de alternativas.

Consiente de los avances tecnológicos Lagu, (Lagu & Deshmukh, 2015) propone la utilización de placas SBC como una alternativa para automatizar pequeñas plantas de tratamiento agua por su bajo costo económico y con el propósito de optimizar recursos, cubrir necesidades latentes en el entorno a simple vista pasan desapercibidos, como es el caso de las JAAP.

Se presenta una opción de monitorización y control que desarrolla un sistema que permite medir y visualizar las características principales del agua en las plantas de tratamiento como pH, caudal, turbiedad, características que inciden directamente en la primera etapa del sistema de tratamiento que es la coagulación – floculación que con la ayuda de agentes externos conocidos como coagulantes. Silvan & Canepa (Silvan & Canepa, 2012) refiere que el suministro adecuado del coagulante permite la agrupación masiva de partículas suspendidas en el agua que más adelante con la ayuda de filtros se retienen. La coagulación – floculación es considerada la etapa más importante del sistema de potabilización, al no ser efectiva esta etapa las siguientes serán afectadas, razón por la cual prefieren dosificar abundante coagulante sin considerar la interrelación entre las características del agua (Andía,

2000, pág. 16). Siendo necesario aumentar o disminuir la dosificación, de allí la importancia de aplicar un control de dosificación de coagulante con la ayuda de una estrategia de control inteligente que permite tomar decisiones sobre los cambios presentes, cuyo análisis se desarrolla con expertos del área.

El propósito de la investigación es dotar de una herramienta económica que ayude a los estratos vulnerables que por desconocimiento o situación económica no pueden acceder a cubrir las necesidades tecnológicas que permita optimizar los recursos, como es el caso del coagulante y el desbordamiento de agua del tanque de distribución en la Junta Administradora de Agua Potable San José de el Quinche (JAAPSJQ) y otras necesidades existentes en alrededor de 7000 JAAP (Secretaría del Agua, 2016, pág. 42) en Ecuador.

El contenido del presente trabajo está estructurado en los siguientes capítulos.

En el Capítulo I o “*Problema*”, se describe el problema que es objeto de investigación, conteniendo: Tema de investigación. El planteamiento de problemática real en las JAAP, justificación del trabajo realizado los objetivos a cumplir.

En el Capítulo II o “*Marco teórico*”, Se encuentra estructurado por: Antecedentes Investigativos, Fundamentación Filosófica, Fundamentación Legal, Categorías Fundamentales, Formulación de Hipótesis y Señalamiento de Variables de la hipótesis independiente y dependiente.

El Capítulo III o “*Metodología*” está conformado por el Enfoque Investigativo, Modalidad Básica de la Investigación, Nivel o tipo de Investigación, Población y Muestra, Operacionalización de Variables, Técnicas e Instrumentos, Plan de Recolección de Información y Plan de Procesamiento de la Información.

En el Capítulo IV o “*Marco teórico*”, Se encuentra estructurado por: Antecedentes Investigativos, Fundamentación Filosófica, Fundamentación Legal, Categorías Fundamentales, Formulación de Hipótesis y Señalamiento de Variables de la Hipótesis.

En el Capítulo IV o “*Análisis e interpretación de los resultados*”, se aplicará una encuesta al personal técnico y dirigentes de la JAAP. En base a las respuestas

obtenidas se analiza la validez de la hipótesis con la finalidad de plantear una propuesta que dé solución a los requerimientos o problemática encontrada en la JAAP.

En el Capítulo V o “Conclusiones y Recomendaciones” las conclusiones y recomendaciones son en base a la investigación de problema planteado.

En el Capítulo VI o “La Propuesta”, Se realiza la descripción, estrategia, implementación, pruebas y análisis de resultados obtenidos que contribuyeron a conseguir los objetivos generales y específicos, también se describe el desarrollo con sus respectivas pruebas que avalen su funcionamiento además se presenta el análisis comparativo de resultados obtenidos con el monitorización y control obteniendo una diferencia en el dosificado del coagulante de dosificado cuya plataforma se desarrolló en código abierto, de detalla las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se agregan las fuentes bibliográficas y los anexos del presente trabajo de investigación.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Tema de Investigación**

SISTEMA DE MONITORIZACION Y CONTROL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE (JAAP).

#### **1.2 Planteamiento del Problema**

##### **1.2.1 Contextualización**

El agua al ser un recurso de vital importancia para la vida, las empresas públicas encargadas del tratamiento del agua potable, no han logrado satisfacer la demanda de agua limpia, potabilizada apta para el consumo humano especialmente en las áreas vulnerables como son las áreas rurales a nivel mundial, así expone. (Bokoba, 2016)

Todavía hay más de 700 millones de personas que no tienen acceso a agua limpia y potable para llevar una vida sana. En la edición de 2016 del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo se estima que alrededor de 2.000 millones de personas necesitan tener acceso a unos servicios de saneamiento mejores y se indica que las niñas y las mujeres se encuentran especialmente desfavorecidas en ese sentido. Un gran número de países en desarrollo están situados en zonas de estrés por déficit hídrico y es probable que sean los más afectados por el cambio climático. Al mismo tiempo, la demanda de agua está aumentando de manera espectacular, particularmente en las economías emergentes, donde la agricultura, la industria y las ciudades se desarrollan con rapidez. (p.1)

En el Ecuador la Secretaría del Agua (SENAGUA), “a través de las demarcaciones hidrográficas o centros de atención ciudadano llevara a cabo la

asesoría, asistencia técnica o fortalecimientos a las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento” (SECRETARÍA DEL AGUA, 2016, pág. 10)

Las plantas potabilizadoras después de ser construidas por las organizaciones comunitarias del sector interesado, conforman una directiva y son encargados de la administración en la parte comercial y técnica, y se conforman las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) en las zonas rurales. (SENAGUA, 2016) lo afirma:

SENAGUA, consciente de su responsabilidad con las comunidades rurales donde se han formado las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento -JAAPyS-, que son las organizaciones comunitarias encargadas de la administración y operación de los sistemas de agua potable, y con la finalidad de que los miembros de estos entes comunitarios tengan un cabal conocimiento de sus funciones, ha creído conveniente recapitular leyes, reglamentos, disposiciones generales y anexos que regulen el funcionamiento de los mismos, tanto en la parte administrativa, comercial y técnica(p.1).

Las JAAPs “elaboran su Estatuto, adecuándolo a su realidad y dinámica propia, el mismo que será remitido a la Secretaría del agua para su aprobación” (SENAGUA, 2016, p. 1) además deben presentar informes a SENAGUA de sus actividades realizadas en el periodo de administración y son los directivos los que buscan mejorías para el proceso de potabilización en las plantas.

Si bien SENAGUA establece leyes y reglamentos para la administración comercial y técnica de las JAAPs no existe ente de regulación o control que supervise continuamente el proceso de las plantas potabilizadoras, tampoco las JAAPs disponen de los recursos económicos para dotar infraestructura tecnológica en la que se registre la calidad de agua que ingresa a la planta potabilizadora para el inicio del proceso de tratamiento como al finalizar el proceso de tratamiento donde se pueda determinar la calidad de agua para el consumo humano.

A pesar de ser más fragmentada e incompleta, el análisis de la información disponible sobre la calidad del agua y del servicio en el ámbito rural deja claro que esta situación es más crítica si cabe que en el área



urbana: cerca de la mitad de los sistemas comunitarios en el País no tendrían ningún tipo de desinfección del agua y la continuidad del servicio. Esto se da en muchos casos por debilidades técnicas para el manejo del proceso, falta de infraestructuras necesarias para su realización, o resistencia de los mismos usuarios al uso del cloro. (Secretaría del Agua, 2016, pág. 50).

Las gestiones de las JAAPs desplegadas en zonas rurales cubren, la deficiente capacidad de distribución de las empresas municipales locales de agua potable, debido a factores como la ubicación geográfica, el asentamiento desordenado y el continuo crecimiento de la población, complica aún más la distribución del agua de las empresas municipales, " estimándose la existencia de unas 7.000 juntas administradoras de agua potable (JAAPs) en todo el país" (Secretaría del Agua, 2016, pág. 42).

Las (JAAPs) a diferencia de las empresas públicas de agua potable trabaja de forma autónoma organizadas por la misma comunidad, dependiendo del número de integrantes y la realidad de cada JAAPs, al ser una entidad sin fines de lucro las mejoras de la infraestructura para el proceso de potabilización las realizan según al alcance de los recursos económicos que disponga la JAAPs. Tal es el caso de la JAAP San José de el Quinche que al registrarse como JAAPs, en la Secretaría del Agua inicio con 70 medidores, con el transcurrir del tiempo ha crecido la demanda registrándose 110, siendo evidente el incremento de usuarios.

El proceso de potabilización se inicia con la captación del agua de un manantial luego es transportada hacia la planta potabilizadora aproximadamente a 3 km para ser procesada y luego distribuida, alcanzando la red de distribución aproximadamente 6 km aguas abajo.

Con el paso del tiempo se ha reformado la infraestructura de la planta de potabilización buscando minimizar el trabajo del operario y mejorar la calidad del agua asesorándose con especialistas del área, encontrando las mejores prácticas que son acogidas por los dirigentes y aplicadas por el operador.

Como es el caso de aplicar una técnica de potabilización distinta para la que fue diseñada la planta consideraciones que se presentan como la forma de suministrar el coagulante para el inicio del tratamiento, entregando la responsabilidad al operador

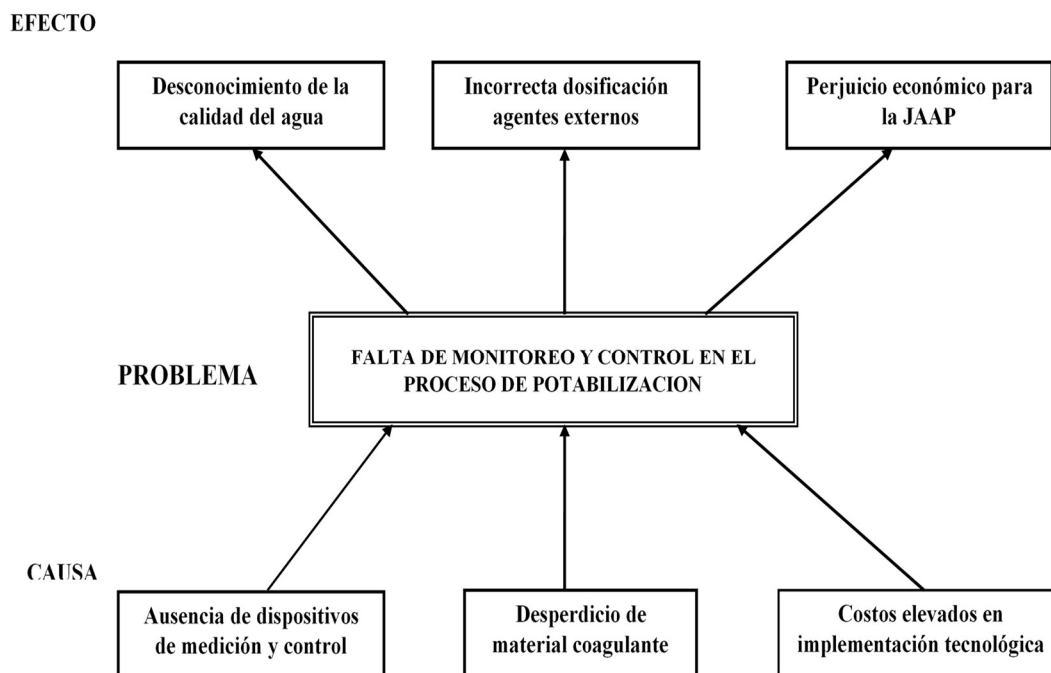
quien determina la cantidad de coagulante a suministrar en el proceso según su percepción visual ya que no cuenta con adecuados instrumentos de medida o indicadores que le permita diferenciar, la variación del caudal que ingresa a la planta, el nivel de turbiedad o pH que presenta el agua, tampoco dispone de seguridades o alarmas si se produce un daño de la tubería principal de ingreso del agua cruda a la planta, o factores externos que inciden en el proceso de potabilización del agua.

La carencia de los dispositivos tecnológicos que faciliten al operador visualizar los parámetros mencionados anteriormente impiden tomar acciones correctivas presentes en las diferentes características del agua, que incide directamente en la dosificación coagulante pasando desapercibido las características mencionadas, se puede dosificar en exageración o viceversa, produciéndose un desperdicio del coagulante reflejada en pérdidas económicas o dosificación insuficiente que afecta la calidad del agua.

De igual forma se desconoce las características del agua al finalizar el proceso de potabilización, como también no cuenta con alarmas o seguridades que bloqueen el proceso y alerten al operador de problemas generados por agentes externos en el proceso de tratamiento, el tiempo de respuesta es lento para realizar la reparación oportuna.

Para analizar el proceso de tratamiento de la planta potabilizadora se fundamentara en sistema de control inteligente que sea capaz de tomar decisiones similares al de una persona y se logre cubrir mayormente las necesidades presentes como es el caso primordial la dosificación coagulante que aligere las actividades del operador, que evite desperdicio del material, mejore la calidad del agua capaz de obtener valores de turbidez deseables conforme los parámetros recomendados como aptos para el consumo humano.

## 1.2.2 Árbol del problema



**Figura N°. 1.1:** Relación Causa - Efecto

**Elaborado por:** Wilmer Conde

## 1.2.3 Análisis Crítico

La ausencia de dispositivos de medición y control en las JAAP comunitarias, genera deficiencias al no determinar la cantidad de agua que procesa la planta potabilizadora, se desconoce la capacidad de la planta, la proyección de compras de insumos para el proceso de potabilización, como también no se ha determinado la calidad de agua que ingresa para el inicio del proceso, ya que las condiciones climatológicas cambiantes frecuentemente afecta los niveles de turbidez del agua, los mismos que inciden directamente en el proceso de potabilización.

El desperdicio de material coagulante surge al desconocer los parámetros básicos de calidad del agua como: turbiedad, caudal, pH, entre otros que deben ser medidos y monitoreados constantemente al ingreso de la planta de tratamiento, considerando que la cantidad de dosificación de coagulante es directamente proporcional a la cantidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento, el control y monitorización es realizado por la pericia del operador una o dos veces al día, sumándose a esto

factores climatológicos cambiantes que tiende a variar tanto en cantidad y calidad del agua al ingreso de la planta de tratamiento.

La falta de innovación tecnológica en las JAAP, es debido a los altos costos de implementación de los sistemas de monitorización y control automático diseñado para las industrias, que son implementados en empresas públicas y privadas de agua potable. En la actualidad existe dispositivos electrónicos para monitorización y control alterno de software y hardware de uso libre, que demanda mayor tiempo de investigación para desarrollar aplicaciones útiles que realicen similares tareas similares a equipos industriales a costos asequibles, cubriendo las necesidades tecnológicas básicas de las JAAP.

#### **1.2.4 Prognosis**

La falta de indicadores de medición de caudal al ingreso del proceso de potabilización impide definir hasta cuantos usuarios promedio puede abastecer la planta potabilizadora, además no se podría proyectar la compra de materiales necesario para el tratamiento del agua en un determinado tiempo, como también en la parte comercial es imposible contrastar la cantidad de agua procesada respecto a la cantidad de agua facturada.

La ausencia de sistema de monitorización y control automático al ingreso del proceso de potabilización impide determinar las condiciones del agua calidad o cantidad que ingresa al proceso de potabilización, por lo que se desconoce si la dosificación del coagulante es correcta, insuficiente o exagerada produciendo mala utilización del material coagulante, y sobre todo compromete la calidad del agua procesada que va a ser distribuida.

El desconocimiento de alternativas tecnológicas o el temor al cambio impide un proceso de innovación, realizar cambios y mejorar ciertos procesos en la industria en la oficina o en casa. Como es el caso del proceso de potabilización en las JAAP donde es necesario la aplicación de sistemas de control automático y monitorización que facilite el trabajo del operario y optimice la utilización de recursos en busca del mejoramiento de la potabilización del agua.

### 1.2.5 Formulación del Problema

¿Cómo incide el monitorización y control en el proceso de potabilización del agua en las JAAP?

### 1.2.6 Preguntas Directrices

- ¿Cuáles son los subprocesos que intervienen en el proceso de potabilización de la JAAP?
- ¿Cuáles son los subprocesos que requieren un sistema de control y monitorización en la planta potabilizadora de la JAAP?
- ¿Qué ventajas presenta el monitorización y control en el proceso de potabilización de la JAAP?

### 1.2.7 Delimitación del Problema

#### Delimitación del Contenido

- **Campo:** Automatización y Control
- **Área:** Electrónica
- **Línea de Investigación:** Automatización
- **Aspecto:** Sistema de control y automatización para proceso potabilización de agua

#### Delimitación Espacial

La presente investigación se realizará en la Planta de potabilizadora de Agua Ubicada en la Provincia de Pichincha, Cantón Quito Comunidad San José De El Quinche.

#### Delimitación Temporal

La presente investigación se realizará en el período de seis meses a partir de la aprobación la dirección de posgrado.

### 1.3 Justificación

En la actualidad existe diversas tecnologías que por medio de dispositivos electrónicos permite el monitorización y control en la industria, agricultura, salud energía y transporte, que son dispositivos de software y hardware con protocolos abiertos, como Lagu & Deshmukh (, 2015) en su investigación se refiere a un dispositivo de control, que se puede aplicar a pequeñas plantas de tratamiento de agua.

La trascendencia del proyecto se enfoca en la utilización adecuada de dispositivos electrónicos de medición como lo sostiene Ibrahim, Hakim, Asnawi, & Malik, (, 2016), que un microcontrolador y un sensor puede ser utilizado en diversos ámbitos, permitiendo recolectar, almacenar y procesar la información receptada alineándose a las necesidades de la planta potabilizadora, los costos de los dispositivos mencionados son más asequible pudiendo acomodarse al alcance económico de las JAAP, en comparación a los utilizados en procesos industriales o plantas de potabilización públicas, las mismas que disponen de suficiente recursos económicos para implementar sistemas sofisticados comerciales con licenciamiento, y que la implementación es muy costosa.

La investigación trata de presentar una alternativa de monitorización y la aplicación de control automático capaz de cubrir ciertas necesidades de una planta de potabilización en las JAAP, diseñando un prototipo para llevar un registro de las características importantes del agua factores que son de importancia para una adecuada potabilización y control después de finalizar el proceso.

La importancia de realizar mediciones de pocas características del agua, es una prioridad para muchas entidades, que favorecerá a determinar mínimos estándares y tomar acciones adecuadas en la potabilización ya que en la actualidad no dispone de ningún tipo de medición o referencia de forma permanente y al momento todo depende del criterio visual del operario, que lo realiza de forma manual y una vez al día.

La investigación es factible porque existe la colaboración de los directivos como del operador de la JAAP para el acceso libre a la planta potabilizadora y brindar la información necesaria e iniciar con las evaluaciones correspondientes. Con respecto

al material bibliográfico existen publicaciones de artículos científicos referentes a la utilización de dispositivos electrónicos de usos libre en diferentes aplicaciones que servirá como base para la investigación.

La propuesta favorece a los dirigentes de la JAAP obteniendo el registro los parámetros importantes agua procesada al día, además aliviana la carga de trabajo del operador encargado como también se proporciona una herramienta de medición que garantice una adecuada dosificación del polímero, y posteriormente garantiza la calidad de agua a los usuarios finales y se evitara el desperdicio del coagulante debido a la deficiente dosificación.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de monitorización y control para el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP)

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- Analizar los subprocesos que intervienen en el proceso de potabilización del agua en la JAAP.
- Determinar cuáles subprocesos requiere monitorización y control en el proceso de potabilización de la JAAP.
- Proponer un prototipo de sistema de monitorización y control para el proceso de potabilización de la JAAP.
- Realizar la validación de la monitorización y control del proceso de potabilización de la JAAP
- Establecer la diferencia entre el sistema actual y el sistema desarrollado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

Las continuas investigaciones buscan solucionar y brindar alternativas para facilitar el desempeño laboral y optimizar la manufactura de procesos asevera Baire, Melis, BrunoLodi, Fanti, & Mazzarella,( 2018), además con la capacidad e intervenir en la automatización de pequeñas plantas potabilizadoras como Lagu & Deshmukh ( 2015) refiere en su investigación en recursos de vital importancia como el agua.

Existe investigaciones con prototipos que utilizan software y hardware de uso libre que permite ejecutar las mismas tareas de control que los sistemas y dispositivos comerciales a costos asequibles como una alternativa de control inteligente y monitorización para pequeñas plantas potabilizadoras, como Lagu & Deshmukh (2015) afirma: *“Raspberry Pi” como una efectiva alternativa a los PLCs para la automatización de pequeños sistemas de tratamientos de agua. Raspberry Pi es una minicomputadora, el cual tiene una habilidad de controlar el sistema con ventajas como el bajo costo (p.532)*, además existe aplicaciones desarrolladas para la automatización de hogares como lo menciona Khedkar & Malwatkar ( 2016). por las características de desarrollo que dispone los dispositivos electrónicos se puede aseverar que son muy versátiles para el desarrollo científico.

El artículo de la revista *International Conference on Computer & Communication Engineering* presenta un prototipo que utiliza un micro controlador (Arduino Uno), que es similar al Raspberry Pi, la plataforma de configuración es libre y su hardware es de uso libre aplicado a un sistema de filtración automático, que puede ser utilizado en otros recursos hídricos para analizar la turbiedad del agua, como (Ibrahim et al., 2016) expone en su artículo: *“los sensores LDR junto al micro controlador pueden crear sistemas capaces de medir la turbiedad del agua no solo para tanques también sirven para otros recursos de agua, ejemplo: ríos, lagos, plantas de tratamiento, etc” (p.195)*. La utilización de los dispositivos, micro controladores o procesadores de código abierto permite a los investigadores



construir propios prototipos como también la automatización de procesos fomentando el desarrollo de la industria local.

En los últimos tiempos la tendencia del uso de dispositivos electrónicos de control de simples placas. “Se ha acrecentado a tal punto que existe software comercial como Matlab y LabView que han incluido librerías para trabajar con este tipo de placas” (Román-Herrera, Segura, Loza-Matovelle, & Dabirian, 2016).

Raju & Varma (2017) asegura que las aplicaciones ejecutables en las placas SBC por sus siglas (Single Board Computers) computadoras integradas con chip como raspberry y los controladores que integran el ESP8266 conocidos como NODE MCU son muy diversas como: control de robots, control de impresoras 3D, visión artificial como también la tendencia actual al Internet de las Cosas (IoT) con dispositivos de control tipo SBC que permite automatizar procesos con la aplicación de WSN por sus siglas en inglés (Wireless Sensors Network), red inalámbrica de sensores (Baire et al., 2018).

En la actualidad la comunicación a través del internet es un pilar fundamental para intercambiar información con dispositivos sensores, actuadores, como la recolección de datos e interconectarlos a través de IP (Protocolo de Internet) que es el protocolo clave utilizado que permite la consolidación a través de la red de redes capaz de manipular o monitorear gran cantidad de objetos o dispositivos a través del internet, a lo que se lo conoce como el internet de las cosas (IoT) “*Existen muchos retos para IoT y Automatización Industrial, por ejemplo Seguridad de datos y servicios, Confianza, integridad de datos, privacidad de información, escalabilidad e interoperabilidad Restricciones de dominio de la automatización*”(Merchant & Ahire, D.D., 2017).

Es evidente los diversos campos de aplicación que trasciende el (IoT) en el área médico, industrial, transporte, educación, minería, (K.Raghu Sita Rama Raju, 2017), conjuntamente con la utilización de protocolos orientados a la comunicación de sensores MQTT por sus siglas (Message Queue Telemetry Transport) enfocado en la conectividad máquina a máquina (M2M ), que facilita integración de las placas SBS en plataformas como Node-Red que permite la escalabilidad a otras aplicaciones del IoT como Cayenne, Blink, etc.(Chanthakit & Rattanapoka, 2018).

En el proceso de potabilización del agua, la etapa de remoción de la turbidez se considera el más importante. Asevera Guzmán, Villabona, Tejada, & García (2013) que, en esta etapa se dosifica coagulantes químicos o naturales, que ayuda a las partículas suspendidas se agrupan para luego ser eliminadas en otra etapa, se dice que el método de coagulación es el más utilizado lo afirma Flórez, (2011) que debido a su desempeño superior en la remoción de materia orgánica y partículas en suspensión.

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. (Andía, 2000, pág. 9)

La (Secretaría Nacional del Agua, 2015) establece parámetros relacionados con la calidad del agua potable en función de prioridades para su vigilancia y control, los datos se rigen a las normas (INEN 1108, 2014) en la fig. 2.1 se muestra los límites tolerables de cantidad y concentración de partículas que sin ser el adecuado para el consumo humano, no presenta peligro para la salud.

**Tabla N° 2.1:** *Parámetros básicos a ser vigilados y controlados en una planta potabilizadora.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Limite deseable</b>
Turbiedad	NTU	5
Cloro residual	mg/l	0,5
pH	Unidades	7,0-8,5

**Fuente:** *(Secretaría Nacional del Agua, 2015, p. 22)*

La Organización Mundial de la Salud (Organizacion Mundial de la salud, 2006) establece que el valor de la turbidez debe estar menos que 5 NTU por sus siglas en

Ingles (Nephelometric Turbidity Unit ) pero no ha propuesto ningún valor de referencia basados en efectos sobre la salud, sin embargo Marcó, Azario, & Metzler, ( 2004) enfatiza que la turbidez mediana debe ser menor que 0.1 NTU para que la desinfección sea eficaz. sostiene que la valoración de 5 UNT es muy alta por lo que sería un mayor riesgo aceptar la superación de ese límite, recomienda valores 0.5 UNT y la variación de 0.1 UNT ya son suficientes para elevar entre 10 y 50 veces la penetración de quistes de Giardia.

De lo investigado se puede afirmar que es importante vigilar y en lo posible controlar la dosificación del coagulante indistintamente del tipo que se esté suministrando, por su alto costo de adquisición, la dosificación ideal mejoraría los parámetros de turbiedad, optimizaría el proceso de potabilización, evitaría el desperdicio de polímero y sobre todo mejoraría la calidad del agua.

El control que se implemento es adaptativo en cierto modo que trata de imitar el comportamiento de la lógica humana, considerando la experiencia del operador en la dosificación ideal del coagulante se estableció reglas lingüísticas, con la ayuda de los dispositivos de medición se evaluó las características del agua, y se aplicó la Lógica Borrosa, además se consideró otras las necesidades presentes en el sistema de potabilización.

## **2.2 Fundamentación filosófica**

El enfoque de la investigación se ajusta al paradigma filosófico critico propositivo; es crítico porque analiza el problema desde una óptica real en la Junta Administrador de Agua Potable y propositivo por que se busca plantear una alternativa de solución factible a la problemática investigada.

## **2.3 Fundamentación Legal**

La investigación hace referencia a los parámetros que establece el INEN (INEN 1108, 2014). como límites tolerables de características del agua potable para consumo humano, así también los valores son aseverados por la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua, 2015), en un análisis para sistemas de abastecimiento de agua potable en la zona Rural, además se tomara en cuenta las

normas internas de seguridad de la Universidad Técnica de Ambato como también las normativas de propiedad intelectual.

Se sustenta en las siguientes leyes detallada a continuación:

- **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

**Art. 318.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

- **LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (LORHUyA)**

**Art. 18 literal i).** -Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua, “Otorgar personería jurídica a las Juntas Administradoras de Agua Potable y a las Juntas de Riego y Drenaje”.

**Art. 43.-** “Las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento, son organizaciones comunitarias sin fines de lucro que tienen la finalidad de prestar servicios públicos de agua potable en las comunidades rurales”.

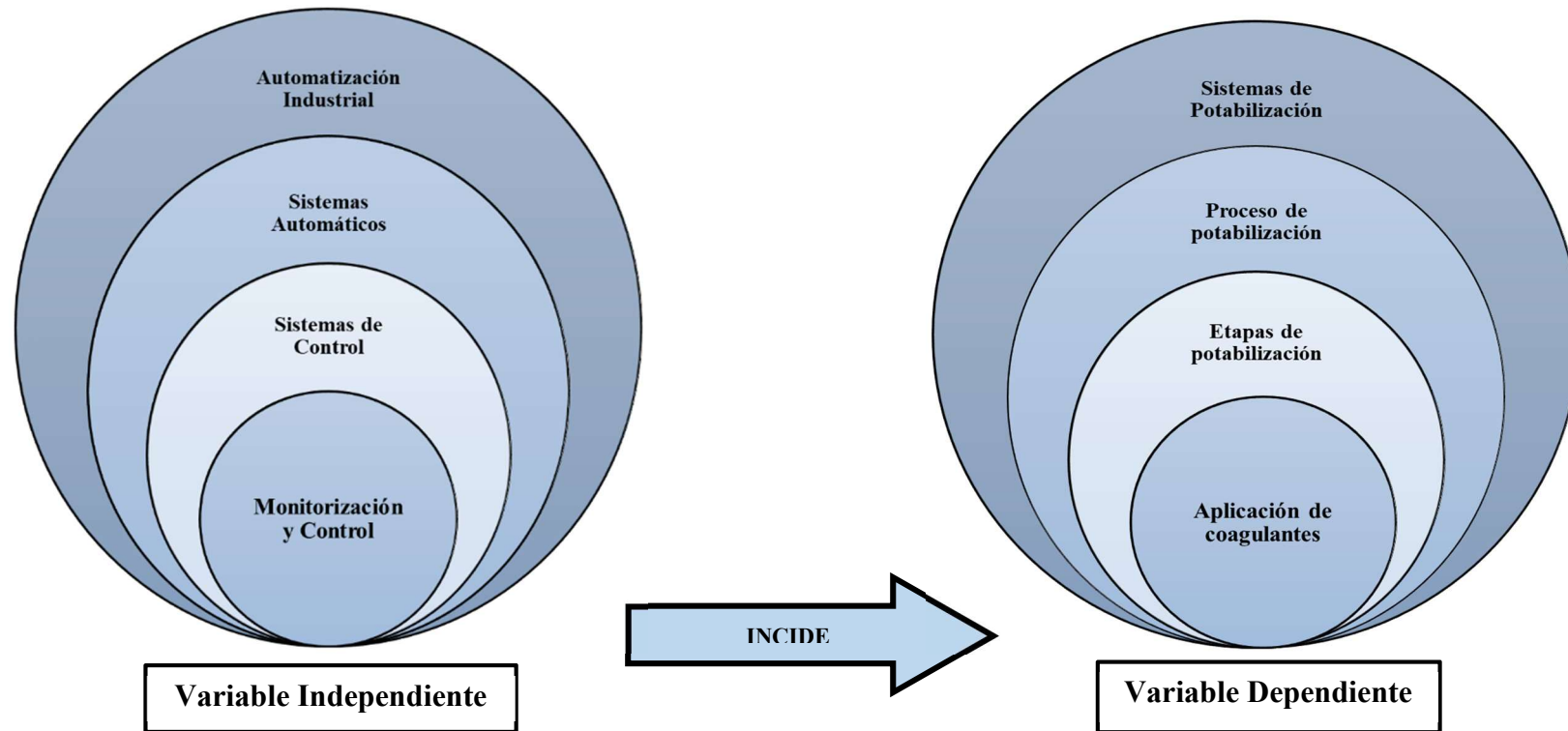
**Art. 47.-** “Las Juntas de Riego, son organizaciones comunitarias sin fines de lucro que tienen por finalidad la prestación del servicio de riego y drenaje,

bajo criterios de eficiencia económica, calidad en la prestación del servicio y equidad en la distribución del agua...”

- **DECRETO EJECUTIVO N° 5, DE 30 DE MAYO DE 2013**

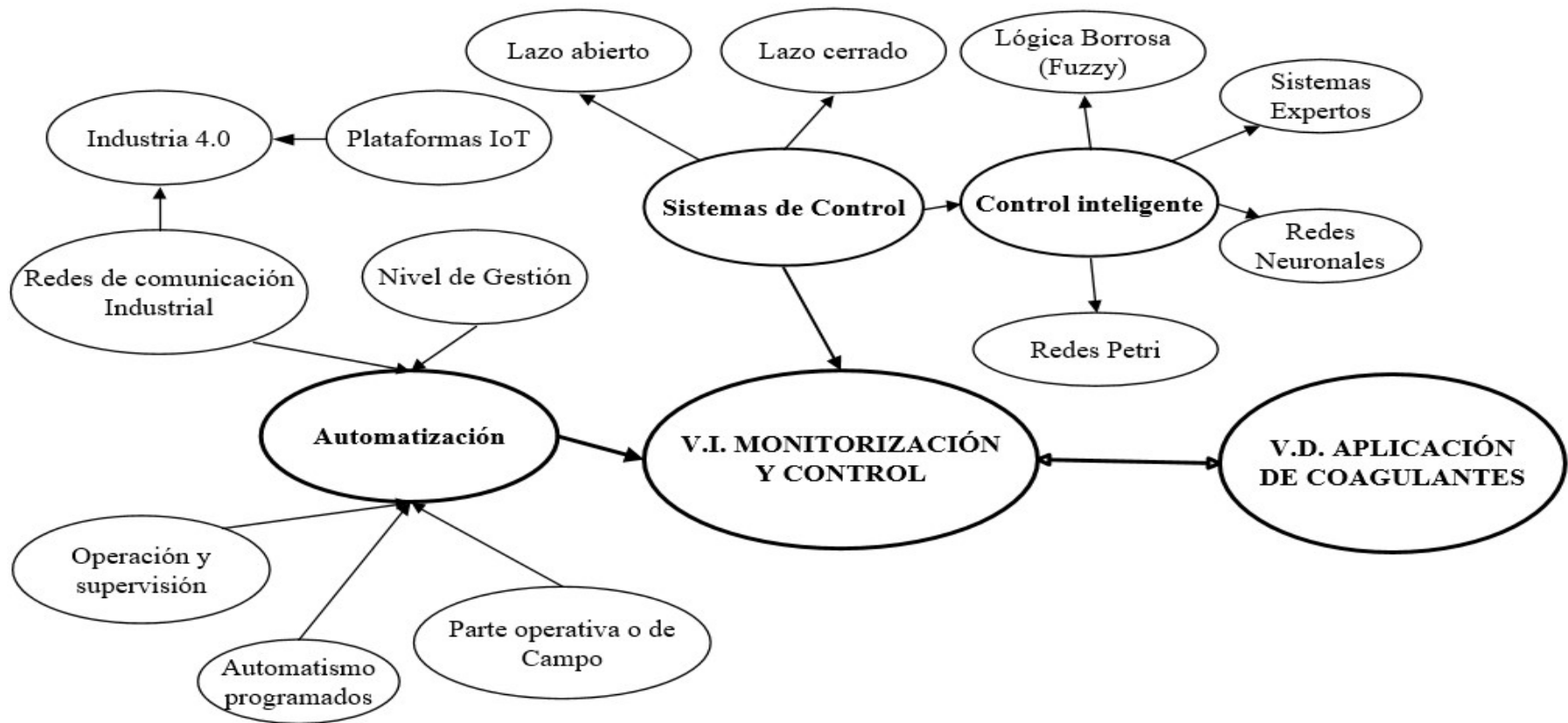
A fin de lograr el uso eficiente y la distribución equitativa del agua, los cambios propuestos en la matriz productiva, la efectiva planificación, regulación, control y gestión integrada de los recursos hídricos, el apoyo a las comunidades y a los Gobiernos Autónomos Descentralizados en temas relacionados con la gestión del agua se transfirió a la Secretaría del Agua y mediante Decreto No. 5 de 30 de mayo de 2013, todas las competencias, atribuciones, responsabilidades, funciones, delegaciones, representaciones, proyectos y programas que en materia de agua potable y saneamiento ejerce el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (SECRETARÍA DEL AGUA, 2016)

## 2.4 Categorías Fundamentales

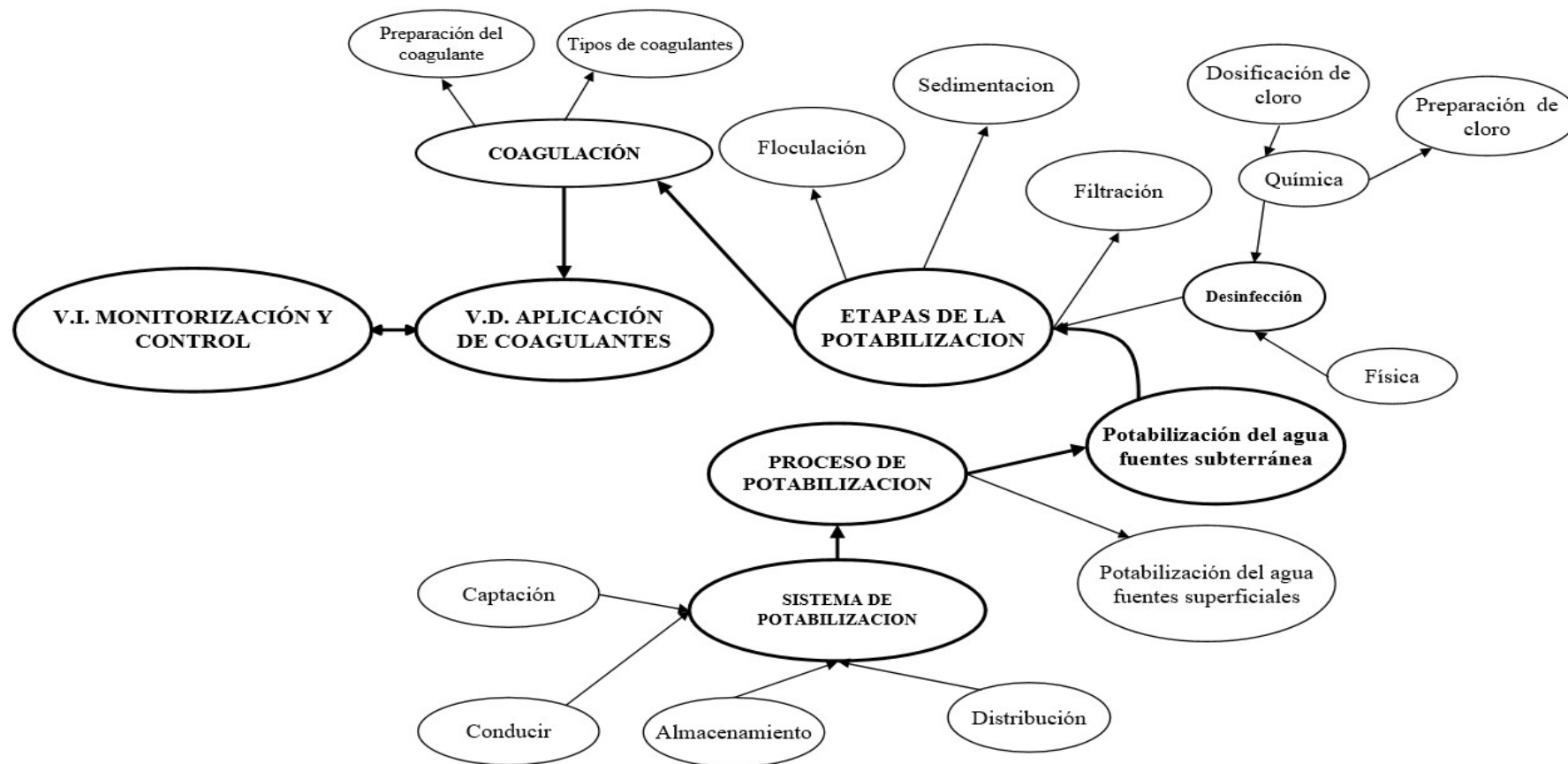


**Figura N° 2.1:** Categorización del Problema

*Elaborado por: Wilmer Conde*



**Figura N° 2.2** Constelación de Ideas Variable Independiente  
 Elaborado por: Wilmer Conde



**Figura N° 2.3** Constelación de Ideas variable Dependiente  
**Elaborado por:** Wilmer Conde



## **2.4.1 Categorías fundamentales de la Variable Independiente**

### **2.4.1.1 Automatización Industrial**

La automatización se desprende de AUTOMÁTICA definida como ciencia y tecnología. “Que trata de métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física y mental previamente programada”. (Salt Llobregat, Cuenca Lacruz, Casanova Calvo, & Correcher Salvador, 2016 pág. 17). Con la finalidad de implementar en una máquina, planta, sistema o proceso.

La automatización puede ser de diversa naturaleza mejorando la calidad de vida, tal es el caso que en la actualidad pasa desapercibido formando parte de lo cotidiano, las mismas que contienen aplicaciones de técnicas propias de ciencia y tecnología.

La automatización persigue los siguientes objetivos:

- Realizar operaciones difíciles de controlar de forma manual o intelectual.
- Optimizar los tiempos de fabricación, generando productos más homogéneos.
- Liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres.
- Mejorar la calidad del producto y reducir los tiempos de fabricación evitando errores operativos.
- Hacer más flexible el sistema productivo (Aplicación de recetas).
- Integrar la gestión y producción.
- Alta flexibilidad puede ser programados para realizar todo tipo de tareas.

Los objetivos descritos son algunos requisitos indispensables en la actualidad, para mantener la competitividad en los diferentes procesos productivos de la industria que cubren las siguientes tecnologías:

- Máquinas y herramientas automatizadas Tornos CNC
- Sistemas automatizados de montaje o ensamblaje
- Robots industriales, manejo de materiales, visión artificial Control de calidad, almacenamiento y recuperación
- Sistemas automáticos de transporte y transferencia de materiales

- Automatización electrónica de sistemas oleo neumáticos controlados por PLC de procesos industriales y agroindustriales.

#### 2.4.1.2 Pirámide de la automatización industrial

Es una forma de representar las distintas áreas de la automatización en la industria que engloba la combinación de los diferentes sistemas como, supervisión control y adquisición de datos o Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), los sistemas de control distribuidos o Distributed Control System (DCS) como también los controladores lógicos programables o Programmable Logic Controllers (PLCs) (Ulloa, Calvo, Etxeberria-Agiriano, & González-Nalda, 2015). Se la define como Manufactura Integrada por Computadora o modelo CIM, que busca la integración e interrelación de todas las áreas de una empresa, y tiene una disposición jerárquica que se detalla los niveles en la Figura N° 2.4.



**Figura N° 2.4** Pirámide de la automatización  
**Fuente:** (Augusto, 2019)

La jerarquía del modelo CIM está definida según la información que intercambia en una Industria inmediatamente se detalla los niveles.

## **Nivel de Gestión**

Es un nivel dedicado a gestionar, controlar y planificar la producción, análisis de mercado, clientes, compras y ventas, aplicando sistemas como MES (Manufacturing Execution System) controla y supervisa la producción total de una industria, y en niveles superiores sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) que es un sistema empresarial que controla los recursos de la industria.

## **Operación y supervisión**

Es la parte de interacción del humano con el proceso, admite la monitorización y la supervisión sin necesidad de asumir riesgos frente al proceso o la máquina con la ayuda del Interfaz Persona-Máquina (HMI por sus siglas en Inglés human-machine interface) panel de control diseñado para conseguir una comunicación interactiva entre operador y proceso/máquina, con la función de transmitir ordenes, visualizar gráficamente los resultados y obtener una situación del proceso/máquina en tiempo real. “Para el diseño del panel de mando se utilizan conceptos que aparecen en la normativa de seguridad en máquinas, así como especificaciones ergonómicas y el conjunto de situaciones a tratar mediante la guía GEMMA”.(Ponsa & Granollers, 2014, pág. 9) en la actualidad existe variedad de paneles HMI que se ciñen a la normativa GEMMA (Guía de Estudios de modos de marcha y paro). Con los HMI se puede conformar un sistema más robusto como un sistema de supervisión control y adquisición de datos conocido como SCADA (por sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition)

El sistema SCADA permite ilustrar de forma gráfica los procesos productivos en una pantalla y se puede crear alarmas y advertencias en tiempo real. Pérez-López ( 2015) lo afirma: “un SCADA es un sistema de control que integra las tareas de detección y diagnóstico de fallas, como una actividad previa que permite incorporar de manera natural el control de fallas” (p.5). de un proceso de la industria o la industria completa, puede estar remotamente desplazados del proceso o fabrica a distancias considerables, gracias a la estandarización de la comunicación con los dispositivos de campo industrial hasta formas de comunicaciones más modernas.

### **Automatismos programados o control**

El objetivo de este nivel es controlar los procesos por medio de algoritmos programados en controladores lógicos programables PLCs, ordenadores industriales, sistemas embebidos que está compuesto por software y hardware, todos presentan características similares como memoria para almacenamiento y procesamiento de la información, con el fin de controlar entradas y salidas digitales o analógicas.

Los dispositivos de control tienen sus diferencias y limitaciones en cuanto a memoria o cantidad de entradas y salidas analógicas o digitales, según la necesidad de aplicación industrial o prototipo. Los dispositivos de este nivel utilizarán los datos proporcionados del nivel de campo y debe tener la capacidad de transmitir la información importante del proceso, para la correspondiente monitorización y comunicación con los niveles superiores de la automatización, (Centro de Ciberseguridad Industrial, 2019).

Los automatismos programados permiten gran flexibilidad para realizar modificaciones y sobre todo ocupan poco espacio.

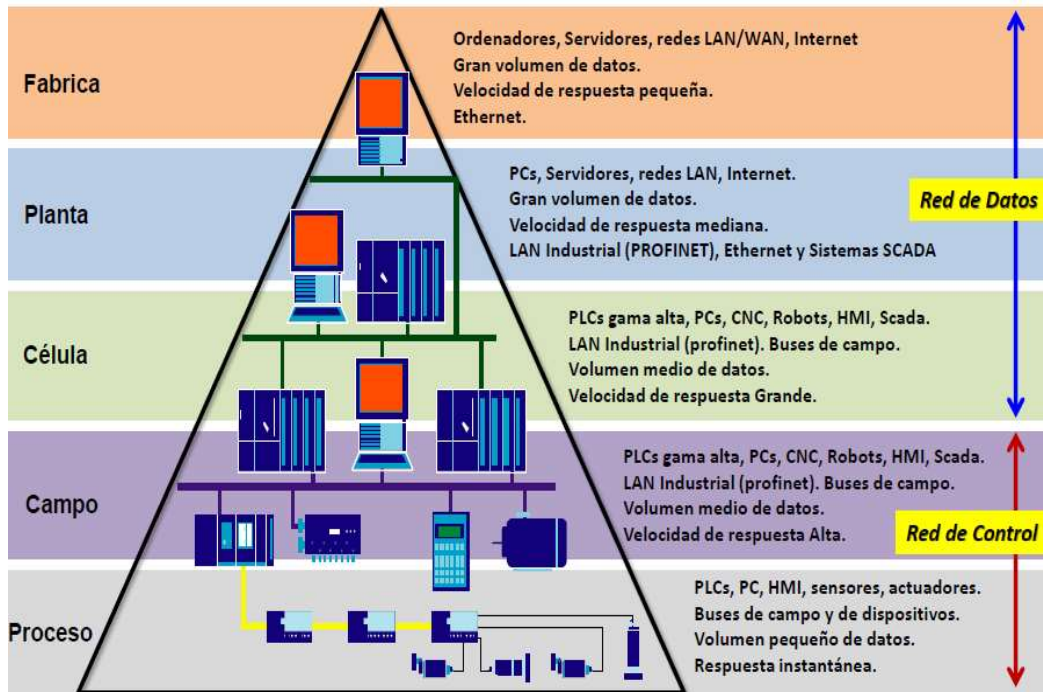
### **Parte operativa o de campo**

Determinada como planta o proceso, que es la secuencia u orden de un conjunto de actividades mutuamente relacionadas donde se producen cambios físicos o químicos de la materia. Constituida por los instrumentos que permiten medir las características o parámetros del proceso, pueden ser elementos como accionamientos de motores, compresores, válvulas, por otra parte, los sensores pueden ser de proximidad, de caudal, velocidad, presencia, nivel, la comunicación constante es importante entre el nivel de campo y el nivel de control para una adecuada monitorización de la máquina o proceso (Cesar Augusto, 2018).

### **Redes de comunicación Industrial**

La comunicación entre equipos y dispositivos de control en la automatización industrial, es primordial para proporcionar un flujo adecuado de la información hacia los diferentes niveles, que actualmente existe varios protocolos en las redes

de comunicación industrial, que se enlista según la jerarquía de la pirámide CIM, que se diferencian por sus características de conectividad.

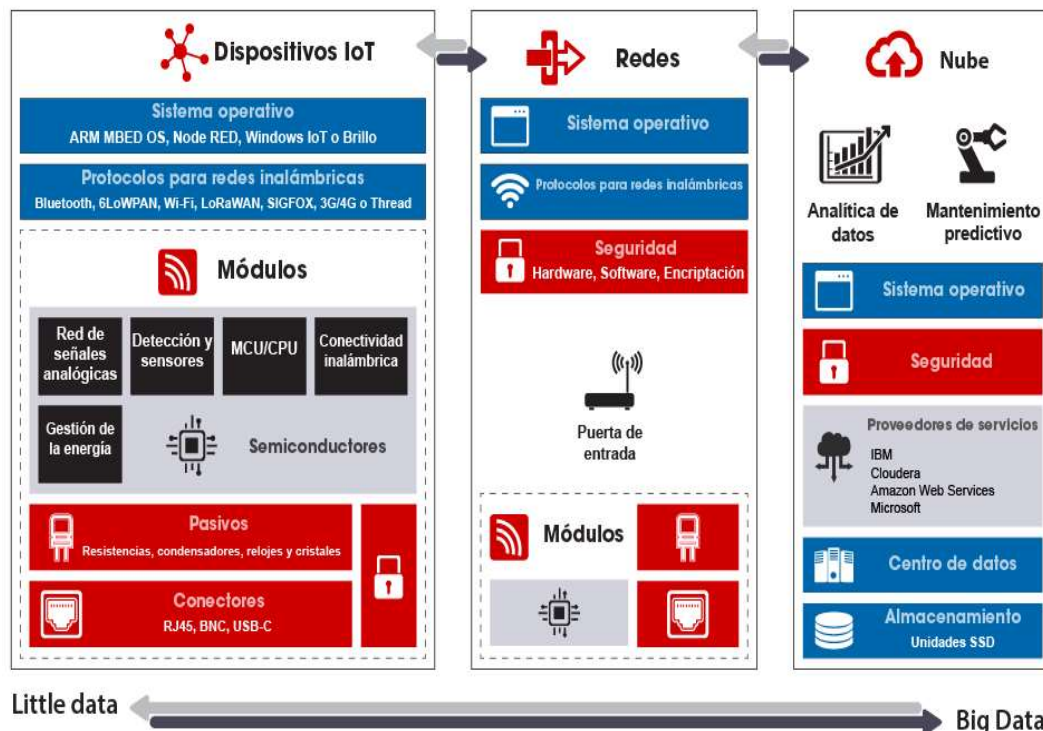


**Figura N° 2.5** Pirámide comunicación industrial  
**Fuente:** (Torres, 2019)

En la figura 2.5 se detalla los diferentes protocolos para la comunicación utilizados en la industria, desde el nivel de campo hasta el nivel de gestión, con el fin de disponer del control total, administrar y supervisar los procesos, el flujo de la información se agrupa a medida que sube de nivel, transmite en el orden de los Megabytes y puede durar minutos u horas, mientras que en las redes de bajo nivel en el orden de micro segundos o milisegundos, transmite en el orden de los bits o bytes.

Es importante destacar que la introducción de tecnologías digitales en la industria, está en camino apuntando hacia la industria 4.0 incorporando tecnologías como: el Big Data y el análisis de datos , Cloud Computing, sistemas de ciberseguridad, la robótica, IoT, sistemas de simulación y de prototipos, tecnologías de Realidad Aumentada e Integración de los procesos entre otros(«SCADA y la Industria 4.0», 2018).

De las tecnologías inmersas en la industria 4.0, el IoT o Internet Of Things se considera un elemento clave para la introducción en la industria, ya que el IoT permite la integración de objetos a través de dispositivos electrónicos al internet para recolectar y procesar la información, que está definida por una arquitectura, que se muestra en la figura N° 2.6.



**Figura N° 2.6** Arquitectura IoT

**Fuente:** («Internet de las Cosas | RS Components», 2019)

- **Dispositivos IoT;** dispositivos electrónicos que tiene la capacidad de conectarse por cable o de forma inalámbrica a una red pequeña o grande, que recaban información de sensores, actuadores o motores ubicándose en el nivel de campo.
- **Redes:** son puentes o puertas de enlace que permite la conectividad de los dispositivos IoT con la nube, cumpliendo la función de router.
- **Nube:** denominado como un centro de datos que se alojan en servidores remotos que almacenan y consolidan la información con seguridad.

Con la aparición de nuevas tecnologías en la industria es necesario nuevos lenguajes y protocolos que se adapten al Internet Industrial de las Cosas IIoT, para lo cual es necesario destacar protocolos más comunes utilizados, que serán

aplicados como mejor se adapte a las necesidades de los socios tecnológicos cada uno tiene sus pros y sus contras, (Aron Semle, 2016) de los que puede mencionar los siguientes:

- OPC UA (OLE for Process Control, Unified Architecture )
- HTTP (REST/JSON) (Hypertext Transfer Protocol)
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)
- CoAP (Constrained Application Protocol)
- DDS (Data Distribution Service)
- AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

### **Plataformas IoT**

Se define como una plataforma al software que permite la conectividad del hardware abriendo puntos de acceso a través de las redes, y permite el desarrollo de aplicación capaz de llegar al usuario final, sostiene Cárdenas ( 2016), y es necesario destacar ciertas características.

- **Conectividad y normalización:** con diferentes protocolos y diferentes formatos de datos en una interfaz de software garantiza la precisa transmisión de datos y la interacción con todos los dispositivos.(Cárdenas, 2016)
- **La gestión de dispositivos:** asegura que los dispositivos electrónicos se encuentren conectados y funcionando correctamente. (Cárdenas, 2016)
- **Base de datos:** almacenamiento escalable de datos del dispositivo basados en la nube a un nuevo nivel en términos de volumen de datos, variedad, velocidad y veracidad. (Cárdenas, 2016)
- **Procesamiento y gestión de la acción:** aporta datos basados en reglas de acción de evento-disparadores que permitan la ejecución de las acciones «inteligentes» basados en datos específicos del sensor. (Cárdenas, 2016)
- **Analítica:** Lleva a cabo una serie de análisis complejo de la agrupación de datos básicos y de aprendizaje automático.

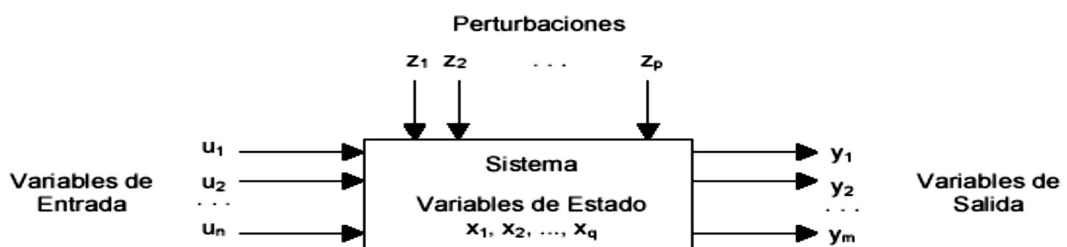
- **Visualización:** permite a los seres humanos observar las tendencias de cuadros de mando de visualización de datos, representadas a través de gráficos.
- **Herramientas adicionales:** la IoT permiten a los desarrolladores de prototipos, probar y comercializar para visualizar, gestionar y controlar los dispositivos conectados. (Cárdenas, 2016)

Si bien las plataformas IoT están en expansión no todas son compatibles, depende del protocolo de comunicación para la petición y recepción de datos, a continuación, se menciona brevemente por ser muy extensa las plataformas informáticas y en la nube.

- **Plataformas Informáticas:** se destacan JSON, Node-JS, Node Red, entre otras
- **Plataformas en la Nube:** Cayenne, Freeboard.io, Ubidots, Blink, entre otras

### 2.4.1.3 Sistemas de Control

El sistema de control es una interconexión de componentes que permite determinar acciones necesarias que produzcan efectos deseado. (Gaviño, 2010) lo afirma: “El vínculo entrada y salida es una relación de causa y efecto con el sistema por lo que el proceso por controlar (también denominado planta) relaciona la salida con la entrada” (p.2). Donde intervienen parámetros cuantificables como son variables de entrada, variables de salida y perturbaciones.



**Figura N° 2.7:** Variables de un Sistema  
**Fuente:** (Quiroga, 2008)

A continuación, se menciona definiciones que intervienen en un sistema de control:



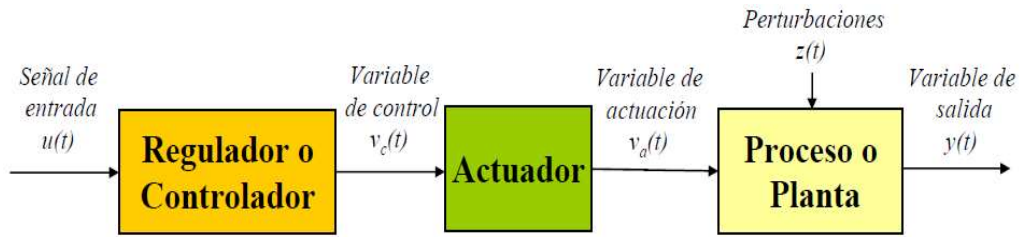
- **Sistema** o proceso Es un conjunto de operaciones o equipos donde se produce cambios físicos o químicos.
- **Entradas** variables manipuladas que se ajustan para lograr modificar el valor de la variable controlada.
- **Salidas** o variables controladas, resultados que se esperan de la planta o sistema.
- **Perturbación** variable o señal no predecible en el sistema afecta adversamente el valor de la salida, señales no manipulables
- **Set point** (valor de consigna) es el valor al que se desea llevar la variable controlada
- **Realimentación** Operación que permite la comparación de lo previsto y lo obtenido considerando alguna medida de incertidumbre derivadas de diferentes causas de error o perturbaciones presentes en el sistema de control.
- **Controlador** gestiona el valor de la salida de control a partir de la entrada de referencia

Es importante destacar los criterios bajo los cuales se aplica un sistema de control automático que son: se establezca el sistema ante perturbaciones, permite que el sistema evolucione con el tiempo además de modificar las consignas, alcance un comportamiento dinámico óptimo en referencia al índice de calidad, logre que el sistema compensado sea robusto, se adapte a cambios en el sistema, y sobre todo aprenda de los eventos que puedan suscitarse en el sistema.

El sistema de control puede emplear información de la planta a fin de elaborar estrategias de supervisión y control, que pueden determinar las formas de realizar el control las mismas que pueden ser:

- Sistemas de control de lazo abierto
- Sistemas de control de lazo cerrado o realimentados

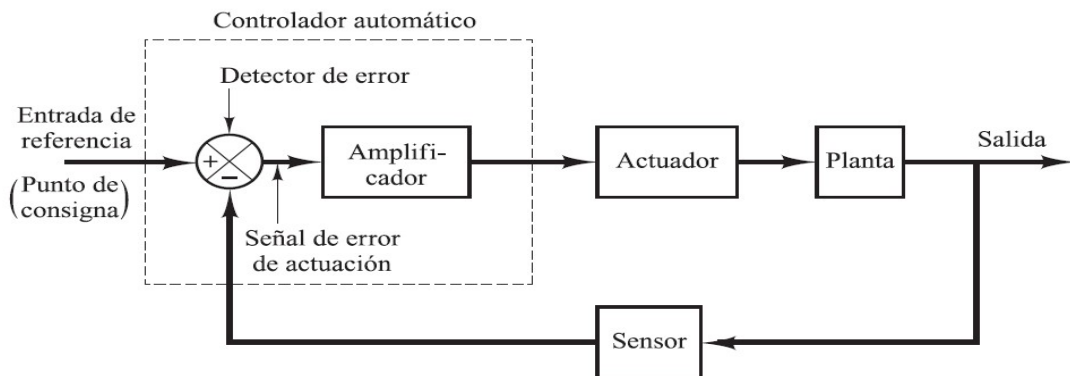
### **Sistema de control de lazo abierto**



**Figura N° 2.8:** Elementos de un sistema de control de lazo abierto  
**Fuente:** (Quiroga, 2008)

Se caracteriza porque no se realiza mediciones de la variable a controlar el proceso circula en una sola dirección desde el sistema de control al proceso. “Un sistema industrial de lazo abierto el error se identifica de manera empírica en la mayoría de las aplicaciones, a través de los sentidos de un operador” (Tello, 2013, p. 28). Como se puede observar en la figura 2.8. los sistemas de control de lazo abierto están compuestos únicamente por el regulador o controlador, la planta, la entrada de referencia al controlador, la señal de control de la planta y la salida controlada.

### Sistema de control de lazo cerrado o realimentados



**Figura 2.9:** Sistema de control industrial de lazo cerrado  
**Fuente:** (Ogata, 2010)

El sistema de control con realimentación utiliza un sensor que detecta la respuesta real obtenida y se compara con la entrada de referencia para corregir el error, la acción de control del sistema depende de la salida de la planta. (Kuo) afirma:“ la señal controlada y debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y salida a través del sistema para corregir el error ”

#### **2.4.1.4 Clasificación de los controladores industriales**

Los controladores industriales, se clasifican según su acción de control, como:

- Controladores on-off
- Controlador proporcional
- Controlador integral
- Controlador proporcional-integral
- Controlador proporcional-derivativo
- Controlador proporcional-integral-derivativo

Para determinar el controlador a utilizar influye factores como la naturaleza de la planta, las condiciones de operación, además consideraciones como seguridad, costo, disponibilidad, fiabilidad, precisión, peso y tamaño.

#### **2.4.1.5 Control Inteligente**

Permite aplicar metodologías de control en actividades realizada comúnmente por los humanos. El control inteligente se define cuando automáticamente puede obtener “un objetivo de alto nivel cuando sus componentes, objetivos de control, modelos de la planta y leyes de control no están completamente definidos, tanto porque no son conocidos en el momento del diseño como porque cambian de forma inesperada” (Santos, 2011, pág. 3). Es un controlador que dispone de alternativas de las cuales puede tomar decisiones de forma autónoma, adaptativo y en cierto modo con aprendizaje.

Entre las estrategias de control inteligente se destacan:

- Redes Petri

- Sistemas Expertos
- Redes Neuronales
- Lógica Borrosa (Fuzzy)

### **Redes Petri.**

Utiliza métodos gráficos formal y abstracto para describir y analizar el flujo de información, donde se puede representar condiciones y eventos, utiliza la representación algebraica, como también se aplica un lenguaje de lógica. Es así que Santos ( 2011) manifiesta que: “La aproximación es tan abstracta que ha resultado poco atractiva para propósitos de control, pero sin embargo muy útil en el campo del modelado.”(p. 4).

### **Sistemas Expertos**

Se basa en el conocimiento humano capturado en programas de computador que permiten entender, formular y resolver problemas específicos, muy útil en la toma de decisiones Santos ( 2011) afirma que: “es normalmente muy lenta en sistemas complejos de alta velocidad, presentando además una capacidad de aprendizaje muy limitada ya que carecen de una importante característica de la inteligencia humana: la habilidad para aprender de la experiencia.”(p. 4 )

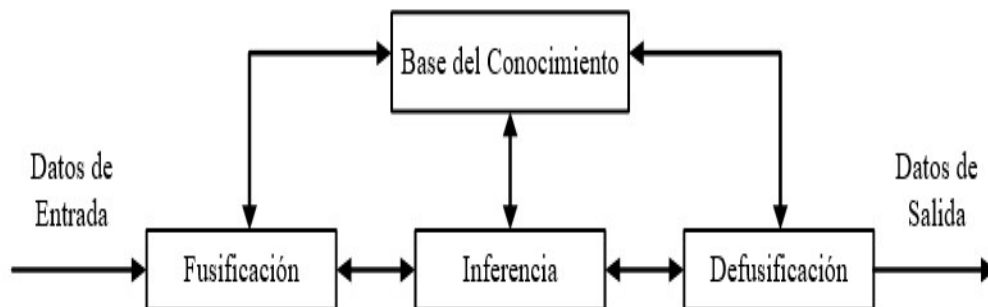
### **Redes Neuronales**

El nombre red neuronal viene dado por su analogía entre el cerebro humano y un computador donde la metodología emula el aprendizaje humano.

“Se ha definido una red neuronal como un sistema compuesto por muchos elementos de procesamiento (neuronas) que operan en paralelo, cuya función es determinada por la estructura de la red, las conexiones y el procesamiento realizado por los elementos computacionales o nodos. Las redes neuronales pueden aprender de datos de entrenamiento, y en realidad son aproximaciones de funciones matemáticas”.(Santos, 2011, pág. 5)

Se caracterizan por ser potentes herramientas de sistemas inteligentes de control que actualmente es objeto de continuas investigaciones y desarrollos.

### **Lógica Borrosa (FUZZY)**



**Figura N° 2.10:** Diagrama de bloques de un sistema difuso  
**Fuente:**(Angulo-Sogamoso, Gil-Sierra, & Salcedo-Parra, 2017)

La Lógica Fuzzy se basa en información o reglas descritas en forma lingüísticas que trata de imitar el comportamiento de la lógica humana, para emular la acción de control manual en un proceso por un experto humano. “Son una generalización de la lógica clásica y contienen objetos que pertenecen de forma imprecisa o gradual al conjunto. El grado de pertenencia viene definido por una función de pertenencia, que usualmente toma valores entre 0 y 1.”(Santos, 2011, pág. 4). Considerada como una lógica multivaluada, facilita la toma de decisiones razonables en ambientes con incertidumbre, partiendo de datos imprecisos.

En la Figura N° 2.10 se representa la lógica borrosa en un diagrama de bloques, en la que se describe aspectos importantes a considerar como son variables de entrada, salida, sistema de inferencia difuso (SID).

### **Fusificación**

Es una etapa en la que se convierte valores numéricos de la entrada a conjuntos borrosos en la salida del bloque donde. “Se calculan los valores de verdad para cada una de las entradas ”(Matute & Suárez, 2017).

### **Base del conocimiento**

Son datos determinadas por expertos en la forma SI-ENTONCES en términos difusos conocidas como. “reglas lingüísticas del control y la manipulación de la información difusa referente a las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.” (García et al., 2017, pág. 74).

### **Defusificación**

Convierte el conjunto borroso obtenido de la inferencia a un valor numérico. Así lo afirma García (2017) “las variables difusas obtenidas del sistema de inferencia son convertidas en variables de reales de salida”(p. 74)

### **Inferencia**

Es un sistema de reglas SI-ENTONCES en términos difusos que modula sobre las variables de entrada a través de las funciones de pertenencia tratando de simular el razonamiento humano, se mueve la variable dentro del rango establecido. Conocido también como “Mapeadores universales no lineales que, sin embargo, requieren operaciones intermedias lineales”(Matute & Suárez, 2017. pág. 128). Los métodos de inferencia borrosa más utilizado son: Mandani y Takagi-Sugeno, el funcionamiento de los métodos difusos es similar.

“La principal diferencia radica en la forma como se establecen las reglas. Una regla de la base de reglas o de la base de conocimiento cuenta con dos partes, el antecedente (definido por un IF) y el consecuente (definido por un THEN). En el caso del sistema Mandani están basadas por expresiones lingüísticas propiamente; y en el sistema Sugeno solo el antecedente posee con una base lingüística y el consecuente se basa en una función de la entrada que tenga el sistema en un momento dado” (Angulo-Sogamoso, Gil-Sierra, & Salcedo-Parra, 2017, pág. 216).

### **Método de inferencia**

Consiste en procesar la información de las reglas de control si, entonces, detalladas anteriormente para obtener la dosificación deseada, se expresa a través de la siguiente expresión matemática.

$$\begin{array}{l} x \text{ es } A' \\ \text{si } x \text{ es } A_1, \text{ entonces } y \text{ es } B_1' \\ \text{si } x \text{ es } A_2, \text{ entonces } y \text{ es } B_2' \\ \quad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ \hline y \text{ es } B' \end{array} \qquad [2.1]$$

Donde:

$x$  es  $A'$ : error de entrada

$y$  es  $B'$ : resultado

Al aplicar el método de inferencia de Mandani se utiliza la siguiente simplificación para cada regla de control.

$$\begin{array}{l} \mu_{B'1}(y) = \mu_{A1}(x_0) \wedge \mu_{B1}(y) \\ \mu_{B'2}(y) = \mu_{A2}(x_0) \wedge \mu_{B2}(y) \\ \vdots \\ \hline \mu_{B'}(y) = \mu_{B'1}(y) \vee \mu_{B'2}(y) \vee \dots \end{array} \quad [2.2]$$

Para evaluar la función de membrecía de  $\mu_{B'1}(y)$  es extraer el mínimo entre el valor de Fusificación  $\mu_{A1}(x_0)$  con la función de membrecía de  $\mu_{B1}(y)$ , quedándose con los consecuentes mínimos de cada regla luego es necesario unir los valores máximos de las funciones de membrecía resultantes obteniendo un conjunto de valores  $y$  es  $B'$ .

### Defusificador

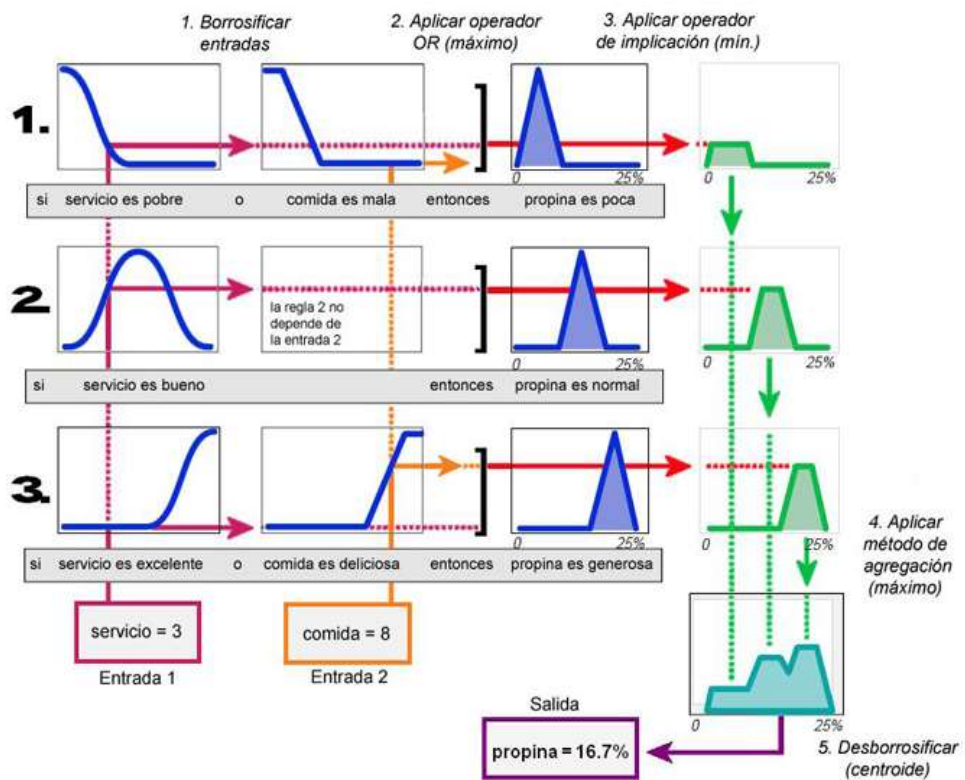
Para obtener un resultado certero del conjunto difuso el software o aplicación selecciona el conjunto difuso, que tiene mayor grado de pertenencia de todas las reglas para realizar la Defusificación, existe varios métodos para la Defusificación que son:

- Centroide
- Bisectriz
- Máximo Central (MOM)
- Máximo más pequeño (SOM)
- Máximo más grande(LOM)

De los métodos de Defusificación detallados, el más común y ampliamente utilizado es el centroide también llamado centro de gravedad singleton que se calcula con la siguiente ecuación.

$$y_0 = \frac{\sum y\mu(y)}{\sum \mu(y)} \quad [10]$$

Donde  $y_0$  corresponde a un único valor de salida obtenida del controlador fuzzy, a continuación en la figura N° 2.11. se presenta un resumen simplificado de los pasos necesarios para obtener el resultado final aplicando la inferencia de Mandani.



**Figura N° 2.11:** Inferencia de Mandani

**Fuente:** (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos, 2019)

## 2.4.2 Categorías fundamentales de la Variable Dependiente

### 2.4.2.1 Sistema de potabilización

El agua un recurso de vital importancia para la vida que se usa y rehúsa constantemente, que no se puede determinar la calidad del agua simplemente mirándola. "Puede aparecer clara en un vaso y contener tóxicos químicos, o



patógenos víricos o bacterianos, causantes de enfermedades” (Rodríguez & Alfonso, 2007,pág. 5).Es reciclada por el camino del ciclo hidrológico, de allí la necesidad de tratar de mejorar la calidad del agua con los sistemas de potabilización.

El sistema de potabilización consiste en la combinación de una serie de procesos y operaciones necesarias para que remuevan los compuestos considerados como contaminantes del agua para consumo humano, de lo que se considera los siguientes procesos:

- Captar
- Conducir
- Unidad De Tratamiento
- Almacenar
- Distribuir

### **Captación**

Se acumula o deriva de una fuente superficial (ríos, lagos), subterránea (pozos, manantiales) hacia la unidad de tratamiento

### **Conducción**

Conductos necesarios para el transporte del agua desde la captación hasta la unidad de tratamiento.

### **Unidad de tratamiento**

Es el lugar donde el agua cruda. “ Es sometida a diversos procesos con el objeto de eliminar los microorganismos y los contaminantes físicos y químicos hasta los límites aceptables que estipulan las normas”(Chulluncuy-Camacho, 2011, pág. 15).

*Tabla N°2.2: Tipos de desinfección*

<b>TIPO DE DESINFECCIÓN</b>		
	CALOR	
<b>FÍSICO</b>	COAGULACIÓN	Estos procesos no realizan la desinfección del agua, ya que no
	FLOCULACIÓN	

---

SEDIMENTACIÓN	eliminan los patógenos, pero son de gran importancia ya que aumentan la eficacia desinfectante.
FILTRACIÓN	
MICROFILTRACION	
ULTRAFILTRACIÓN	
OSMOSIS INVERSA	
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	
<b>QUÍMICA</b>	Hipoclorito sódico
	Hipoclorito cálcico
	Cloro gaseoso
	Dióxido cloro
	Cloraminas
	Hidrolisis
	OZONO
	PERMANGANATO POTÁSICO
	PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

---

**Fuente:** *(Consejería de Sanidad, 2009)*

### **Almacenamiento**

Es un tanque cerrado “destinado a mantener una cantidad de agua suficiente para cubrir las variaciones horarias de consumo” (SENAGUA, 2013, p. 33)

### **Distribución**

Conductos que permite llevar el agua tratada a los consumidores en general antes de distribuir el agua a la red de abastecimiento es necesario realizar un proceso de desinfección que puede realizarse mediante procesos físicos o químicos, existe gran cantidad de métodos como los que se puede revisar en la figura 2.11, para determinar el tipo de desinfección a utilizar es necesario conocer la fuente de suministro superficial o subterráneo.

### 2.4.2.2 Proceso de tratamiento



**Figura N° 2.12:** Proceso de tratamiento de agua

*Fuente:* (skynov, 2017)

Una vez realizado la captación y la conducción, continua el proceso de potabilización que contiene subprocesos que son diseñados conforme las características del agua a tratar. “Fuente superficial siempre necesita un tratamiento más o menos completo, en cambio las exigencias para el agua subterránea dependen fundamentalmente de su composición química.”(Orellana, 2005 pág. 16). En la figura 2.1 se distingue los diferentes subprocesos del proceso de potabilización.

Entre los principales subprocesos de una planta de tratamiento más o menos completa se tiene:

- Coagulación – Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección.

**Coagulación – Floculación.** - Son procesos utilizados en la mayoría de las plantas de tratamiento de agua, consiste en la mezcla del agua con productos químicos al inicio del proceso de potabilización como se observa en la figura 2.12 la etapa más importante, que permite la clarificación del agua.

**Coagulación.-** El objetivo principal es “anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración.” (OMS, 2002, p. 421). Con la mezcla rápida de químicos con el agua al ingreso de la planta potabilizadora “ya sea hidráulica o mecánica, debe garantizar la dispersión rápida y homogénea,(...) los cuales deben ser aplicados de acuerdo con las dosis mínimas optimas determinadas por el ensayo de jarras” (EMAAP-Q, 2007, pág. 137).

**Floculación.** - Es un proceso que comprende una agitación lenta. “Este agitado del agua induce que las partículas choquen entre sí y se aglutinen para formar agregados o “flóculos” de mayor peso y tamaño, que facilitan su sedimentación” (Consejería de Sanidad, 2009, p. 22)

**Sedimentación** es el proceso en el que se produce el asentamiento de los materiales en suspensión (flóculos) por acción de la gravedad. “Se eliminan parte de los microorganismos y la materia orgánica que le sirve de alimento, aumentando la eficiencia del tratamiento al aumentar el tiempo de retención del agua en el sedimentador.” (Consejería de Sanidad, 2009, pág. 23)

**Filtración** es el proceso en el cual, el agua sedimentada pasa a través de materiales porosos, (arena y grava) capaces de retener o remover algunas impurezas. “las partículas retenidas bloquean las superficies y reducen el caudal del agua a través del filtro, por ello se debe limpiar periódicamente” (Consejería de Sanidad, 2009, pág. 24)

**Desinfección** se define al proceso de eliminar microorganismos que pueden causar enfermedades con la aplicación de cloro, el más común empleado en plantas de tratamiento públicas. “El cloro es un desinfectante más efectivo para las bacterias y los virus porque el efecto residual de la desinfección puede y debe durar hasta el grifo del consumidor” (Consejería de Sanidad, 2009, p. 33). La aplicación puede ser de forma sólida líquida o gaseosa y en forma pura o combinada.

### **Coagulante**

Es una sustancia utilizada en las plantas de tratamiento para la clarificación del agua en el proceso conocido como coagulación-floculación, donde utilizan

“Agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %), ... son sales metálicas tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato ferroso.” (Silvan & Canepa, 2012, pág. 230). Además de otros coagulantes como, Policloruros de aluminio (PAC's), Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Sulfato Férrico, Polielectrolitos, como ayudantes de floculación. Son utilizados en las plantas de tratamiento de agua para el consumo humano, como también para la devolución al medio ambiente.

**Factores que influyen en la coagulación.** - Es importante considerar factores que inciden en optimizar el proceso de coagulación. “La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.” (Andía, 2000, pág. 16).

- pH
- Turbiedad
- Sales disueltas
- Temperatura del agua
- Dosis de coagulante.
- Aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla
- Tipo de coagulantes

**pH.** - Se define a la concentración de iones de hidrogeno en soluciones a base de agua, lo que permite determinar la alcalinidad y acidez de una solución. Es una variable importante a considerar en la coagulación, para cada agua a tratar y tipo de coagulante. “si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante, ... Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades” (Andía, 2000, pág. 17)

**Turbiedad.-** Se refiere al grado de transparencia que presenta el agua causada por la presencia de materia suspendida. (EMAAP-Q, 2007) lo afirma: “Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión” (p. 90). Representada por UTN Unidades Nefelometrías de turbidez, la

turbiedad presente en el agua superficial. “debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 um. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo.” (Andía, 2000, p. 19). En las aguas superficiales es común la variación de la turbiedad factor de importancia para la coagulación considerando las siguientes predicciones. (Andía, 2000) afirma:

- 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 se debe adicionar la cantidad de coagulante 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 muy 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 presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero anicónico. (En la Planta de la Atarjea, se realiza este último, en época de alta turbiedad).
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados. (p. 19)

**Sales disueltas.** - Las sales disueltas contenidas dentro del agua tienen función estructural y funciones de regulación del pH, influye en el tiempo requerido para la floculación.

**Dosificación de coagulante.-** La aplicación del coagulante tiene una influencia directa en la eficiencia de la coagulación (Andía, 2000) asevera:

- 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.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. (p. 20)

**Aplicación de los coagulantes.** - Es la manera como el coagulante se adiciona al agua cruda. “La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.” (Andía, 2000, p. 20). Otro factor a considerar es proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable del sistema de dosificación y para obtener una mejor mezcla el coagulante se disperse en su totalidad en la masa de agua cruda.

**Tipos de mezcla.** - La agitación que se produce durante la adición del coagulante determina la concentración del coagulante asegurando la mezcla uniforme para que se produzca la reacción química esperada. El proceso se desarrolla en dos fases: La primera fase. “La mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar” (Andía, 2000, p. 18) y en la segunda fase se refiere a una mezcla lenta y tiene por objeto la formación de los flóculos.

**Tipo de coagulantes.** - Los compuestos químicos derivados del aluminio, de hierro, cal y diversos polímeros que se utilizan en el proceso de potabilización del agua son varios, de los cuales el más destacado son los policloruros de aluminio muy conocido como (PACs).

Los policloruros de aluminio consisten de una serie de compuestos con propiedades diferentes que aseguran su buen rendimiento en diversas aplicaciones y condiciones de operación, las características típicas de los PACs pueden ser Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable( 2007) asevera: Contenido de Aluminio: 4 a 12.5 % Basicidad: 17 a 83 % (se

recomienda mayor de 35%) Aditivos: Sulfato, sílice, calcio, polímeros orgánicos, etc. Forma de fabricación: Diferente grado de polimerización. (p. 113)

La característica detallada facilita la creación de diferentes policloruros de aluminio que pueden adaptarse a las necesidades de las aguas superficiales variando los rendimientos y condiciones diferentes de actuar, obteniendo mejoras en el proceso de coagulación como Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable (2007) afirma:

- Eficiencia de remoción de partículas
- Disminución en la producción de lodos
- Disminución de aluminio residual
- Funcionamiento en un amplio intervalo de pH
- Disminución en el consumo de alcalinidad
- Rendimiento en agua fría
- Rendimiento de los filtros (p. 113)

Generalmente el proceso dosificación se realiza con bombas que dosifican el coagulante por goteo que va en función del caudal y el cálculo, el ajuste del goteo lo realiza el operador de la planta potabilizadora, sin considerar la variación del caudal o de la turbiedad como del pH.

## **2.5 Hipótesis**

**H1:** El sistema de monitorización y control permite la mejora del proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).

**H0:** El sistema de monitorización y control no permite mejora del proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).

## **2.6 Señalización de las Variables**

### **Variable Independiente**

Monitorización y Control

### **Variable Dependiente**

Proceso de Potabilización



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

Para el desarrollo de la investigación se aplicará el enfoque cuantitativo porque se recolectará la información estadística para establecer patrones de comportamiento de la cantidad y calidad del agua, donde se analiza las teorías de control que permita mejorar el proceso de potabilización y el enfoque cualitativo porque se recolectará información verbal del funcionamiento de ciertas etapas del proceso potabilización durante y después de la investigación.

#### **3.2 Modalidad básica de la investigación**

##### **3.2.1 Investigación Causal**

La investigación es causal, porque se inicia de un análisis de la relación causa-efecto del proceso de potabilización identificando las variables como variable independiente o causa factores que serán manipulados para causar efectos y la variable dependiente o efecto factores que serán medidos para comparar los cambios. Namakfoosh (2005) lo afirma: “Se espera que una variable independiente produzca ciertos cambios en las variable dependiente, así como la dirección o magnitud especificada por la teoría”(p.90).

##### **3.2.2 Investigación de Campo**

La investigación también será de campo, porque el investigador acude al lugar donde se desarrolla el proceso de potabilización, para recolectar la información confortada con la realidad, y su correspondiente análisis, seguidamente presentar los resultados obtenidos, además se recaba información apoyada con herramientas técnicas necesarias en la observación de campo.

### 3.2.3 Investigación bibliográfica documental

La investigación además se caracteriza bibliográfico documental, porque se respalda técnica y científicamente de información recabada de fuentes bibliográficas actualizadas y especializadas enfocadas a la realidad, como son libros, artículos publicados, tesis, manuales como también de documentos confiables como revistas, sistemas computacionales. Enriqueciendo el Marco Teórico y fortalezca y beneficie la conclusión del proyecto.

### 3.3 Nivel o tipo de investigación

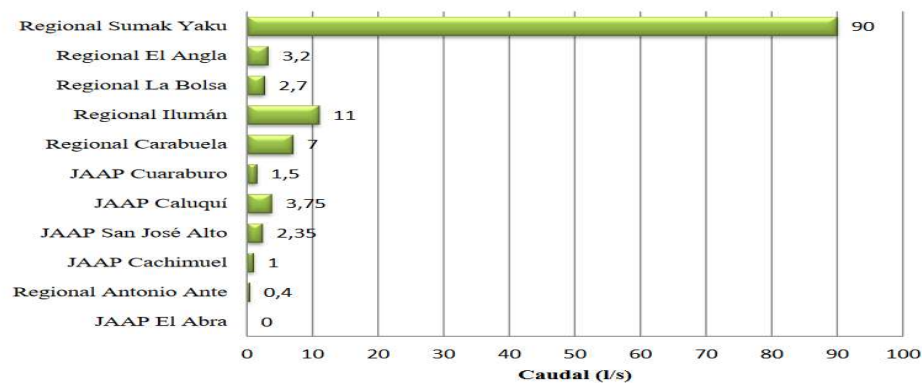
#### 3.3.1 Investigación Exploratoria

La investigación se caracteriza exploratoria puesto que se pretende acondicionar un dispositivo genérico de control, para optimizar un proceso de potabilización en la JAAP en la que se presentara varios escenarios de los que serán necesarios indagar su factibilidad, realizando las correspondientes pruebas, calibraciones de los dispositivos para un adecuado funcionamiento del sistema de control.

### 3.4 Población y Muestra

#### 3.4.1 Población

Para determinar la población se fundamentó en características comunes existentes en otras JAAP como se presenta en la figura N° 3.1 el caudal concedido en las JAAP de la Sierra Norte del país, que la mayor cantidad de juntas no supera los 7 L/s.



**Fig. N°: 3.1:** Caudales concesionados en las JAAP  
**Fuente:** (Espinosa, 2015)

En la Tabla N° 3.1 se detalla el tipo de abastecimiento presente siendo 6 JAAP se atribuye a una fuente de abastecimiento de manantiales y 6 fuente de abastecimiento superficial de los páramos, que aún no son contaminadas por agentes externos siendo características que definen el tipo de sistema de potabilización.

**Tabla N°3.1: Fuente de abastecimiento de agua en las JAAP**

Junta regional/ JAAP	Aguas subterráneas		Aguas superficiales			otros, especifique
	Vertientes	Pozos	Acequia	Rio	Paramo	
Junta Regional Ibarra/ JAAP El Abra	X	-	-	-	-	
Junta Regional Antonio Ante	-	-	-	-	X	
Junta Regional San Rafael/JAAP Cachimuel	-	-	-	-	X	
Junta Regional Tabacundo/ JAAP San José Alto	-	-	-	-	X	
Junta Regional Mojanda Yanahurco/Caluqui	X	-	-	-	-	
Junta Regional Eugenio Espejo/JAAP Cuaraburo	-	-	X	-	X	
Junta Regional Carabuela	X	-	-	-	-	Una vertiente aun no es aprovechada
Junta Regional Iluman	X	-	-	-	-	
Junta Regional la Bolsa	X	-	-	-	-	
Junta Regional El Angla	-	-	-	-	X	
Junta Regional Sumak Yaku	X	-	-	-	X	

**Fuente:** (Espinosa, 2015)

Para el caso de estudio se visitó 7 Juntas de similares características que cuya fuente de abastecimiento son aguas subterráneas extraídas de vertientes naturales

como también el caudal de entrada, y sobre todo el procedimiento de potabilización, en el sector de Olmedo, Tabacundo, El Quinche, Checa, Ascazubi, cusubamba, Monteserin, siendo entrevistados los operadores y administrativos mediante una encuesta cuya estructura se encuentra en el Anexo 1 para valorar la importancia de la problemática presente y encontrar posibles mejoras que se puedan realizar aplicando la automatización en el proceso de potabilización.

### **3.4.2 Muestra**

Por considerar que el universo a ser investigado es minúsculo se trabaja con la totalidad de la población sin que sea necesario extraer una muestra representativa para el caso de los involucrados en el proceso de potabilización.

Para tomar una muestra representativa de la turbiedad se procederá como sugiere Benito & Merino,(2002) sobre la representatividad de la muestra, considerando como muestra instantánea y al tratarse de un manantial no requiere que adopte medidas especiales.

La frecuencia de muestreo será del tipo de muestra localizada que es la muestra instantánea y compuesta que permite conocer las condiciones del agua durante el tiempo que dure la toma de muestra en base a las condiciones que recomienda.



### 3.5 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

#### 3.5.1 Operacionalización de variable independiente

*Tabla N°:3.2 Variable Independiente Monitorización y Control*

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El monitorización y control permite visualizar y actuar sobre las variables asociadas al proceso en tiempo real, además se puede almacenar información importante del proceso.	Monitorización	Sensores, controlador, actuador	¿La junta JAAP dispone de equipos tecnológicos en el proceso de potabilización?	Encuesta con cuestionario dirigida a los operadores de las plantas potabilizadoras, y dirigentes de la JAAP
	Variables asociadas al proceso	pH, turbiedad caudal	¿Con que equipos de medición del agua cuenta la JAAP?	
	Información	Histórica	¿La dosificación de coagulante se ajusta a las condiciones cambiantes del proceso? ¿Cree usted que recopilar la información de variables importantes mejore el proceso de potabilización en la JAAP?	Observación, visita realizada en las JAAP.
	Control	Manual Automático	¿Cómo regula la dosificación de coagulante?	

Elaborado por. Wilmer Conde

### 3.5.2 Operacionalización de variable dependiente

*Tabla N° 3.3: Variable Dependiente. Proceso de Potabilización*

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La potabilización del agua consiste en la eliminación de partículas suspendidas e impurezas con la aplicación de floculantes seguido de la filtración y desinfección.	Proceso de Potabilización	Coagulación-Floculación, sedimentación, filtración y desinfección	¿Considera usted que la etapa de Coagulación -floculación en el proceso de potabilización del agua es el más importante?	Encuesta con cuestionario dirigida a los operadores de las plantas potabilizadoras, y dirigentes de la JAAP
	Partículas suspendidas	Existen estudios que recomienda niveles de turbiedad entre 0.5 UNT (Unidad nefelométricas de turbidez)  Niveles deseables de pH (7 – 8.5)	¿La JAAP dispone de registro de variaciones diarias como pH, Turbiedad y caudal del agua?  ¿Cree usted que la adición correcta de coagulante a través de un sistema control automático mejore el proceso de potabilización?	Entrevista a Técnico en el área de potabilización.
	Turbiedad, pH,	Calidad	¿La dosificación actual permite cumplir con las normas mínimas de calidad de agua?	

Elaborado por. Wilmer Conde

La operacionalización de variables al ser un instrumento investigativo presenta su variable Independiente en la tabla 3.2 y Variable Dependiente en la tabla 3.1, que permite someter a juicio de expertos en perspectiva de llegar a esencia del objeto de estudio. Mientras que la confiabilidad de los mismos se determina por la aplicación de una prueba piloto ante su desarrollo definitivo para corregir errores y pulir los mismos.

### 3.6 Plan de Recolección de la Información

#### 3.6.1 Técnicas e instrumentos

##### Encuesta

La metodología fue dirigida al personal operativo de la planta potabilizadora, preguntas que permiten adquirir información precisa de las necesidades de la planta:

*Tabla N° 3.4: Recolección de información*

<b>Plan de recolección de la información</b>		
<b>N°</b>	<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
1	¿Para qué?	Enfocarse en las necesidades reales de las plantas potabilizadoras en la JAAP
2	¿De qué personas u objetos?	Personal directamente relacionado en el proceso de potabilización y administración de coagulante en las JAAP
3	¿Sobre qué aspectos?	Mejorar la dosificación
4	¿Con que?	Con dispositivos electrónicos de uso libre y costo asequible.
5	¿Quien?	Ing. Wilmer Conde
6	¿Cuando?	Octubre de 2018
7	¿Donde?	En la Junta Administradora de Agua Potable



8	¿Cuántas veces?	Dos veces
9	¿Qué técnicas de recolección?	Observación, Encuesta, medición de turbiedad, pH.
10	¿Con que?	Cuestionario, Entrevista, Fichas Técnicas, instrumento de medición Turbiedad, (pH)
11	¿En qué situación?	En la Planta potabilizadora

**Elaborado por.** Wilmer Conde

### **Bibliográfica.**

Se realizó la revisión de artículos científicos, Textos, manuales, blogs especializados que se relacionan con el tema de estudio.

### **Entrevista.**

Se mantuvo una entrevista personal y vía telefónica con el Ing. José Solano Experto en plantas de tratamiento, quien manifestó que la problemática en las plantas potabilizadoras de JAAP, que la construcción de muchas plantas esta sobre los 20 años, que al modificarlas empíricamente con el pasar de los años no consideran algunos factores, que generan inconvenientes, manifestó que el monitorización y control de las características del agua en las JAAP ayudara mucho, ya que él tiene claro que son equipos muy costosos y son utilizados en lugares que ha visitado como es, Empresas Municipales de Agua Potable en Loja, Ambato entre otras.

### **3.6.2 Procesamiento y análisis de la información**

Para el procesamiento y análisis de la información se inicia de la siguiente manera:

- Cuadro según la variable de hipótesis
- Recopilación de la información a través de encuesta realizada
- Revisión crítica de la información recogida
- Análisis estadístico de la información para la presentación de resultados
- Determinación de conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de resultados

Para iniciar con el análisis, los datos obtenidos en la investigación fueron ordenados y procesados para luego ser valorados aplicando la estadística descriptiva con cuadros y gráficos los cuales se respalda con su respectivo análisis e interpretación, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos, con apoyo del marco teórico, en los aspectos pertinentes.

Según la indagación realizada en las JAAP, se obtuvo la siguiente información mediante las encuestas realizadas a los dueños del proceso (Ver Anexo 1A). El cuestionario como los resultados obtenidos se resume en la tabla

##### 1. Responda sí o no

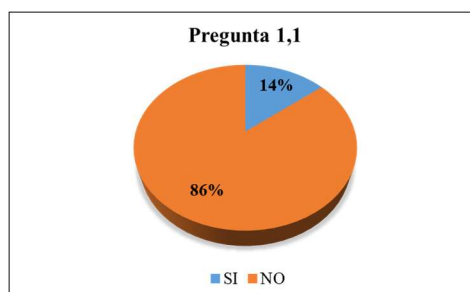
**Tabla N° 4.1** *análisis e interpretación de cuestionario*

#### 1.1 ¿La junta JAAP dispone de equipos tecnológicos que facilite el trabajo, en el proceso de potabilización?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	1	14%
NO	6	86%
TOTAL	7	100%

##### Análisis

De las 7 personas encargadas directamente del proceso de potabilización del agua 6 persona indican que no cuentan con equipos tecnológicos que faciliten el trabajo del operador en el proceso de potabilización y una persona india que si dispone de equipos tecnológicos.



##### Interpretación

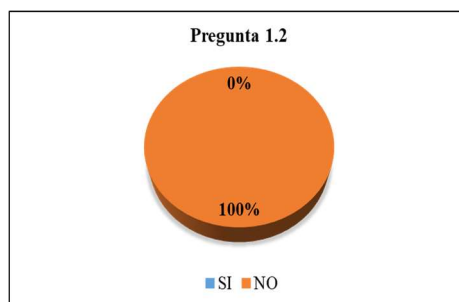
A través de los datos obtenidos se puede verificar que la mayor parte de los encargados del proceso de potabilización están conscientes que no disponen de equipos tecnológicos que ayuden las tareas diarias del operador.

#### 1.2 ¿La dosificación de coagulante se ajusta a las condiciones cambiantes del proceso?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	0	0%
NO	7	100%
TOTAL	7	100%

### Análisis

Del 100% de la población encuestada manifiesta que no se toma en cuenta la variación de las características del agua como turbiedad, caudal que pueda ocurrir al transcurso del día en la entrada del agua cruda de la planta potabilizadora, es así que todos afirman que la dosificación de coagulante se realiza de forma manual con una revisión de los parámetros y la aplicación de su respectiva dosis de forma constante.



### Interpretación

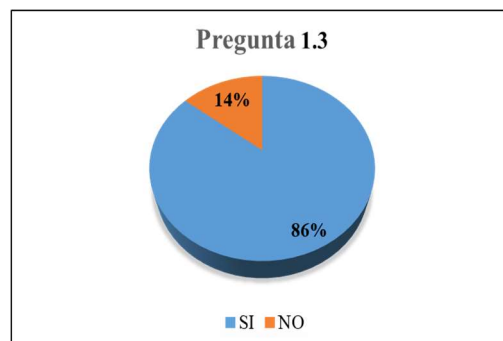
Del análisis se puede afirmar que los encargados del proceso de potabilización supervisan el ingreso del agua cruda a la planta una vez por día y no se regula automáticamente la dosificación, además si las características del agua como turbiedad, caudal cambiara la dosificación seguirá constante, lo cual es muy común en época de lluvias que sería perjudicial para el proceso de potabilización.

### 1.3 ¿Cree usted que recopilar la información de variables importantes que mejore el proceso de potabilización en la JAAP?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	6	86%
NO	1	14%
TOTAL	7	100%

### Análisis

De las 7 personas encuestadas quienes son encargados directamente del proceso de potabilización del agua, 6 personas manifiestan que recopilar la información de ciertas variables importantes del proceso de potabilización de la JAAP ayudara a verificar los cambios de la calidad del agua facilitando el trabajo del operador a fin de llevar más control en la calidad de agua que va ser distribuida



### Interpretación

De las respuestas obtenidas a esta pregunta se puede indicar que la mayoría de personas encuestadas creen necesario levantar información de las características del agua que ingresa a la planta de forma permanente, que le facilitaría conocer la cantidad de coagulante utilizado en el día, como también identificar si las características del agua cambian frecuentemente.

### 1.4 ¿Existe registro de variaciones diarias como pH, Turbiedad y caudal del agua?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	0	0%
NO	7	100%
TOTAL	7	100%

### Análisis

Del 100% de la población considerada para la encuesta que se encargan directamente del proceso de potabilización del agua, manifiestan que no disponen de registros o mediciones tomadas de las condiciones del agua que ingresa para la potabilización, mencionan que realiza el análisis de agua para consumo cada 6 meses.



### Interpretación

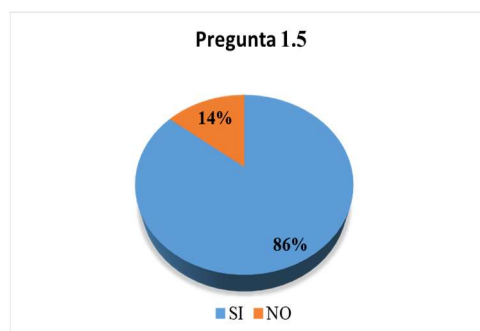
A través de los datos obtenidos se puede constatar que es necesario un sistema que facilite la medición de los diferentes parámetros que intervienen en la potabilización, los mismos que permitan controlar la dosificación del coagulante.

## 1.5 ¿La dosificación actual permite cumplir con las normas mínimas de calidad de agua?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	6	86%
NO	1	14%
TOTAL	7	100%

### Análisis

Del 100% de la población considerada para la encuesta que se encargan directamente del proceso el 86% sostiene que el agua procesada en la planta si cumple con los estándares básicos de potabilización, el 14% de la población indica que no está seguro pues el proceso no tiene indicadores que faciliten la visualización de los parámetros básicos del agua.

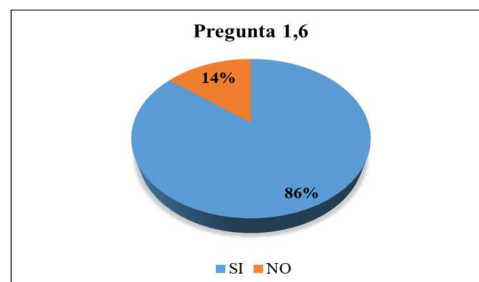


### Interpretación

De los resultados obtenidos el 86% de la población encuestada manifiesta que está conforme con el sistema de potabilización lo cual demuestra que a pesar de no disponer de un sistema de control de dosificación permanece en parámetros de calidad de agua exigidos. Mientras tanto el 14 % de la población no está seguro que el agua cumpla con los estándares aptos para el consumo.

## 1.6 ¿Considera usted que la etapa de Coagulación -floculación en el proceso de potabilización del agua es el más importante?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	6	86%
NO	1	14%
TOTAL	7	100%



### Análisis

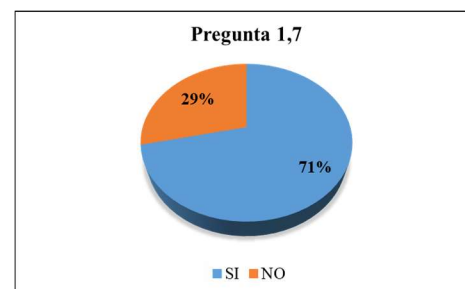
De las 7 personas encuestadas quienes son encargados directamente del proceso de potabilización del agua, 6 personas manifiestan que recopilar la información de ciertas variables importantes del proceso de potabilización de la JAAP ayudara a verificar los cambios de la calidad del agua facilitando el trabajo del operador a fin de llevar más control en la calidad de agua que va ser distribuida

### Interpretación

De las respuestas obtenidas a esta pregunta se puede indicar que la mayoría de personas encuestadas creen necesario levantar información de las características del agua que ingresa a la planta de forma permanente, que le facilitaría conocer la cantidad de coagulante utilizado en el día, como también identificar si las características del agua cambian frecuentemente.

### 1.7 ¿Cree usted que la adición correcta de coagulante a través de un sistema control automático mejore el proceso de potabilización?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
SI	5	71%
NO	2	29%
TOTAL	7	100%



### Análisis

Del total de la población encuestadas 71% contestan que sí, mejoraría el proceso de coagulación con un sistema de control que verifique los parámetros necesarios para una buena coagulación ya que el operador no está muy pendiente en cambio el 29 % de la población indica que con revisar una vez al día es suficiente y no se ha presentado ningún inconveniente.

### Interpretación

De los resultados obtenidas se puede confirmar que la mayoría de las personas están conscientes que un sistema de control automático en la dosificación de coagulante mejore la potabilización de la JAAP ya que existe variaciones de caudal de agua, calidad de agua cruda que ingresa a la planta por condiciones climatológicas cambiantes y para el operador se torna difícil visualizar los parámetros cambiantes sin instrumentos que lo ayuden, mientras que no se lograra mejorar la potabilización tan solo con mejorar la coagulación.

## 2. ¿Con que equipos de medición del agua cuenta la JAAP?

En la encuesta realizada informan que disponen un kit comparador de cloro y pH el mismo que compran cada año no disponen de un medidor de turbiedad y ningún equipo electrónico para medir los parámetros del agua.

## 3. ¿Cómo regula la dosificación de coagulante?

Los encuestados indican que el procedimiento para regular la dosificación lo realiza la empresa que le vende el coagulante que los visita una vez por mes a verificar el caudal del agua y la regulación del dosificador de coagulante.

## 4.2 Verificación de la hipótesis

### 4.2.1 Formulación de la hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se utilizará el estadístico de contraste, que partiendo de la información recolectada de la población que interviene en el proceso de potabilización, nos permitirá obtener una conclusión en base a la estimación para aceptar o rechazar la hipótesis planteada. Para lo cual se plantea una hipótesis positiva o alternativa ( $H_0$ ) y una hipótesis negativa o nula ( $H_1$ )

**H<sub>0</sub>:** La veracidad de un sistema de monitorización y control **NO** establece diferencia respecto a practica manual en el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).

**H<sub>1</sub>:** La veracidad de un sistema de monitorización y control **SI** establece diferencia respecto a la práctica manual en el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).

### 4.2.2 Nivel de Significación

El nivel de confianza escogido para la investigación es del 5% o 0,05 (95%)

### 4.2.3 Definición de la población

Se trabajó con el total de la población quienes se encuentran directamente relacionados con el proceso de tratamiento y cuidado del agua para consumo humano de la JAAP, a los que se les aplicó un cuestionario.

#### 4.2.4 Elección de la prueba estadística

Con la información obtenida a través de la encuesta realizada al personal encargado del proceso de potabilización, se efectúa la verificación de la hipótesis planteada, utilizando la prueba del Chi-Cuadrado, con la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$X^2$  = Chi Cuadrado

$\Sigma$  = Sumatoria

$O_i$  = Datos observados (Encuestas)

$E_i$  = Datos esperados (Observación)

Para la comprobación de la hipótesis se relacionó cinco preguntas de la encuesta realizada y se observó las siguientes frecuencias de respuesta.

#### 4.2.5 Zona de aceptación y rechazo

##### Grados de libertad

$$(gl) = (f - 1) (c - 1)$$

Donde se establece que:

(gl) = Grado de libertad

c = Columnas de la tabla

f = Filas de la tabla

Reemplazando

$$(gl) = (fila - 1) (columnas - 1)$$

$$(gl) = (f - 1) (c - 1)$$

$$(gl) = (5 - 1) (2 - 1)$$

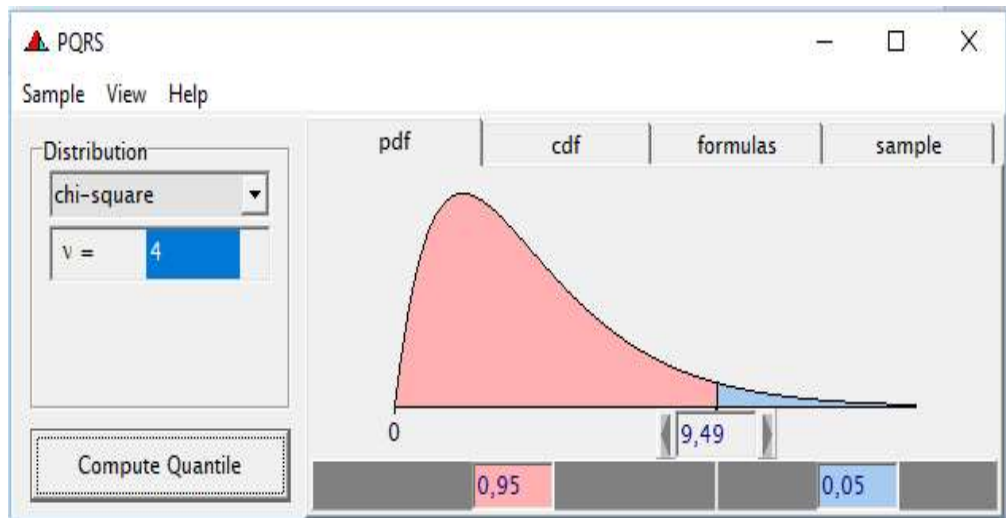
$$(gl) = (4) (1)$$

$$(gl) = 4$$

### Nivel de significancia del 5% o 0,05

El valor tabulado del Chi Cuadrado ( $X^2$ ) con 4 grados de libertad y un nivel de significación del 5% o 0,05 se obtiene un valor 9.49 para determinar la zona de aceptación y rechazo con la ayuda del software. (software PQRS), se observa en la figura N° 4.8 el valor establecido donde:

$$X^2 = 9.49$$



**Figura N° 4.1:** Grafica de zona de aceptación y rechazo  
Elaborado por. Wilmer Conde

### 4.3 Calculo del CHI cuadrado

De los datos obtenidos se procede a realizar los cálculos en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.2** *Calculo generado para Chi-Cuadrado*

Frecuencias observadas <b>O</b>	Frecuencias esperadas <b>E</b>	<b>(O-E)</b>	<b>(O - E)<sup>2</sup></b>	<b>(O - E)<sup>2</sup>/E</b>
1	3,6	-2,6	6,76	<b>1,878</b>
6	3,4	2,6	6,76	<b>1,988</b>



0	3,6	-3,6	12,96	<b>3,600</b>
7	3,4	3,6	12,96	<b>3,812</b>
6	3,6	2,4	5,76	<b>1,600</b>
1	3,4	-2,4	5,76	<b>1,694</b>
6	3,6	2,4	5,76	<b>1,600</b>
1	3,4	-2,4	5,76	<b>1,694</b>
5	3,6	1,4	1,96	<b>0,544</b>
2	3,4	-1,4	1,96	<b>0,576</b>
		<b><math>X^2_c</math></b>		<b>11,278</b>

Elaborado por. Wilmer Conde

### Decisión

Decisión final para 4 grados de libertad a un nivel de aceptación de 0.05 se obtiene el valor límite de aceptación de 9.49, y como el valor calculado del Chi cuadrado es de 11.278 se encuentra fuera de la región de aceptación, entonces se rechaza la hipótesis nula por lo que se acepta la hipótesis alternativa que dice: “La veracidad de un sistema de monitorización y control **SI** establece diferencia respecto a la práctica manual en el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).”

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

La investigación se evidencio con la aplicación de técnicas e instrumentos de investigación finalizando con la interpretación y análisis de resultados, logrando determinar las siguientes conclusiones:

- Las juntas administradoras de agua potable en el Ecuador proporcionan agua potable a los lugares más vulnerables donde las empresas públicas de agua potable no logran conceder el recurso vital, la administración es independiente sin ente de regulación o control que supervise los procedimientos de potabilización que mantiene la planta potabilizadora de agua, donde se denota la importancia de las JAAP siendo necesario que dispongan de equipos de medición del tipo de agua que ingreso de la planta potabilizadora como también la cantidad para determinar las acciones necesarias para su procesamiento.
- En la investigación se determina los procesos y operaciones que intervienen en el sistema de potabilización, considerando el punto más importante en la unidad de tratamiento o planta potabilizadora, en donde se inicia la potabilización determinando que la primera fase de potabilización conocida como coagulación-floculación es la más importante del proceso de potabilización, ya que es donde la adecuada adición de coagulante favorece a la aglomeración masiva de partículas suspendidas en el agua, formándose los lodos que pueden ser evacuados más adelante con la filtración o manualmente con ayuda del operador.
- El procedimiento para controlar el dosificado es un tanto deficiente, porque no se dispone de equipos, instrumentos que determine la cantidad como la calidad de agua que ingresa a la planta ya que son factores cambiantes y

dependen de las condiciones climatológicas, en la encuesta y entrevista realizada manifiestan que el ajuste de la dosificación es un procedimiento manual que se realiza a una bomba de dosificación constante que trabaja las 24 horas del día y lo realiza el proveedor del coagulante una vez por mes o cuando se acerca a entregar el coagulante.

- De acuerdo a la encuesta y entrevista realizada no disponen de equipos o instrumentos de medición digitales que faciliten el trabajo al operador ya que son muy costoso el adquirirlos, se ayudan con un kit de medición desechables de pH y cloro residual, es con lo que cuenta la JAAP.
- El personal involucrado en el proceso de tratamiento de la JAAP San José de el Quinche están conscientes de la necesidad de mejorar ciertas operaciones importantes en el proceso de potabilización, pero indican que una de las limitantes son los recursos económicos ya que los equipos para estos procesos son muy costosos, además comentan que el hecho de no contar con un sistema de control se perjudican notablemente porque hay ocasiones que el agua tratada se desborda de los tanques de reserva cuando el operador no está pendiente, ocasionando desperdicio del agua así como el coagulante suministrado en el proceso.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Las JAAP al ser empresas encargadas de la potabilización, distribución y comercialización del agua en pequeña escala deben adquirir equipos que permitan revisar el tipo y sobre todo la cantidad de agua que ingresa a la planta que valore el ingreso de la misma permitiendo el ingreso o desechándola.
- Al considerar la etapa de coagulación-floculación como la más importantes del proceso de potabilización se recomienda aplicar acciones de control tomando en cuenta nuevas tecnología, siendo necesario un monitorización

y control constante durante las 24 horas del día para un mejor desempeño de la etapa y del proceso de potabilización.

- Es recomendable la implementación de dispositivos electrónicos que monitoree constantemente las variables que inciden en la adecuada dosificación de coagulante como turbiedad, caudal, pH del agua, al ingreso de la planta para tomar acciones de control, además asumir consideraciones importantes según las condiciones climatológicas.
- Es importante que dispongan de equipos de medición continua que facilite o advierta ciertas tareas al operador y además actúe en ausencia del mismo, además se utilice tecnología inalámbrica para evitar utilizar conductores físicos por la dificultad de instalarlos.
- Si bien las limitaciones económicas son imponentes en ciertos estratos sociales, pero el desperdicio del recurso vital como es el agua ya tratada es aún más, para lo cual se recomienda implementar un sistema de control que evite el desperdicio del agua y detenga el proceso si es necesario, en la actualidad con la invención de nuevos controladores, microprocesadores de uso libre que facilita el desarrollo de aplicaciones que pueden cubrir las necesidades planteadas a costos asequibles.

## **CAPITULO VI**

### **LA PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

##### **6.1.1 TITULO**

IMPLEMENTAR UN PROTOTIPO PARA LA MONITORIZACIÓN Y CONTROL APLICANDO UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE SAN JOSÉ DE EL QUINCHE.

##### **6.1.2 INSTITUCIÓN**

JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE SAN JOSÉ DE EL QUINCHE.

##### **6.1.3 BENEFICIARIOS**

- Con el desarrollo del presente proyecto el beneficiario es la Junta Administradora de Agua Potable San José de el Quinche como los usuarios del agua en la comunidad.

##### **6.1.4 UBICACIÓN**

- Provincias: Pichincha
- Cantón: Quito
- Parroquia: El Quinche
- Comunidad: San José de el Quinche

##### **6.1.5 EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE**

**Investigador:** Ing. Wilmer Alfredo Conde Chicaiza

**Director de tesis:** Ing. Fausto Rodrigo Freire Carrera PhD.

## 6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La gestión de la JAAP ubicada en zonas rurales son de importancia ya que cubren la deficiente capacidad de distribución de las empresas municipales locales de agua potable, pero se constató que la JAAP San José de el Quinche carece de instrumentos tecnológicos necesarios en un sistema de potabilización de agua, que permita verificar constantemente las condiciones del agua cruda que ingresa a la planta de potabilización y permita tomar decisiones para una correcta potabilización, como también monitorizar el agua ya tratada que permanece en el tanque de reserva lista para su distribución.

En la investigación realizada se identificó la etapa de coagulación-floculación como la más vulnerable en el proceso de potabilización, ya que no dispone de un sistema de control automático, que monitoree las 24 horas del día las variables importantes que intervienen en la coagulación considerando que las condiciones climatológicas son cambiantes y afectan el proceso de potabilización. En la actualidad el proceso se lo practica de forma manual, el operador realiza el procedimiento cuando cree conveniente, no es constante más bien el proveedor del coagulante lo practica cada vez que visita a entregar el producto.

La falta de equipos de medición constante, como equipos de control en ciertas etapas de la potabilización del agua, generan desperdicio de material coagulante al no dosificar en forma proporcional a su necesidad y sobre todo el desborde del agua tratada que se produce al no contar con un sistema de control que detenga el proceso cuando los tanques de reserva lleguen a su límite.

En gran parte los administradores como el operador son conscientes de las dificultades que se les presenta el día a día, pero la limitación económica no les permite adquirir equipos tecnológicos que en la actualidad son de importancia para mejorar los procesos, alivianar el trabajo al operador, mejorar la calidad del agua y sobre todo evitar el desperdicio del mismo.

### 6.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación radica en identificar los subprocesos críticos que requieren la recopilación periódica de datos desplegando una red de sensores (WSN) en la planta potabilizadora que permitan la monitorización y posteriormente facilite aplicar estrategias de control. Debido a esta naturaleza distribuida, la WSN tiene un gran potencial en aplicaciones de monitoreo y control industrial que requieren la recopilación periódica de datos en tiempo real o la detección de diversos fenómenos físicos (Bal, 2014).

De lo investigado se puede determinar que al ingreso del proceso de potabilización es necesario instalar dispositivos de medición de las características físicas del agua como: caudal, pH, Turbiedad, características importantes a considerar en la etapa de coagulación-floculación para una adecuada dosificación de coagulante como lo establece Andía (2000) en su investigación. Además, en la etapa de almacenamiento es necesario la monitorización del tanque que permita alertar al operador y evite el desborde el agua procesada en la planta de tratamiento.

La importancia de la implementación de un sistema de monitorización y control que facilite el trabajo del personal involucrado en el proceso de potabilización, mejore el desempeño del personal operativo disminuyendo las actividades realizadas de forma manual, con la ayuda de equipos tecnológicos y la monitorización constante de las variables importantes del agua a la entrada del proceso permite optimizar la dosificación del coagulante en la etapa de coagulación- floculación considerando las variaciones del agua según las condiciones climatológicas presentes. Como también da la facilidad de actuar ante alguna adversidad o emergencia presentes en el proceso de potabilización.

Es factible ya que en la actualidad existe recursos tecnológicos tanto en hardware como en software que permite una alternativa efectiva a los PLCs como Lagu & Deshmukh (2015) se refiere en su investigación y existe más respaldo bibliográfico para la solución planteada.

Es útil y practico ya que se aplica directamente en la Junta Administrativa de Agua Potable San José de el Quinche.

La solución del problema planteado radica en la implementación de un sistema de monitorización y control que facilite el trabajo del personal involucrado en el proceso de potabilización, mejore el desempeño del personal operativo, optimice la utilización de coagulante en la etapa de coagulación-floculación entre otras mejoras que brinda el sistema.

Mejorar los procesos productivos es un objetivo primordial en cualquier empresa o industria de allí que la implementación de la propuesta persigue satisfacer necesidades importantes del proceso de potabilización, obteniendo un desarrollo satisfactorio para la junta administradora de agua potable San José de el Quinche, como para los usuarios.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo General**

Implementar un prototipo para la monitorización y control aplicando una red inalámbrica de sensores en el proceso de potabilización de la JAAP San José de el Quinche.

### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los dispositivos tecnológicos que intervienen en el proceso de potabilización.
- Establecer la acción de control, ideal según la necesidad del proceso de potabilización.
- Desarrollar una interfaz gráfica (HMI) que permita interactuar el operador en el proceso de potabilización.
- Implementar el prototipo del monitorización y control en la planta potabilizadora de la JAAP.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

La JAAP facilita el acceso y la información que dispone para realizar las pruebas necesarias en la implementación de un prototipo de monitorización y control que



optimice el trabajo manual que realiza el operador, además las alternativas tecnológicas que en la actualidad permite implementar un sistema a bajo costo.

### **6.5.1 Factibilidad Económica**

Es factible económicamente puesto que la JAAP San José de el Quinche no incurrirá en gasto para la elaboración del prototipo, más bien el investigador cubrirá los costos de los dispositivos electrónicos de control, como también sensores transductores de bajo costo y el software que se utilizará no requiere de licencia o permiso de utilización.

### **6.5.2 Factibilidad Técnica**

Por tratarse de una planta potabilizadora pequeña, se pretende utilizar plataformas tecnológicas de uso libre que actualmente existe y flexibiliza el desarrollo de prototipos para solventar soluciones en necesidades de control residencial y a nivel industrial, como también se cuenta con manuales, artículos indexados que servirá como base para la presente investigación, además la disposición que brinda el especialista que provee el material coagulante que se utiliza en el proceso de potabilización.

### **6.5.3 Factibilidad operativa**

De la investigación realizada se ha obtenido información necesaria para determinar los subprocesos que son de prioridad y requiere de un sistema de automatización, la JAAP San José de le Quinche cuenta con los recursos humanos necesarios y están dispuestos en colaborar, describir los requerimientos de tal manera se pueda desarrollar un sistema en donde se obtendrá la completa satisfacción del operador que está dispuesto a capacitarse y seguir las instrucciones para mantener operativo el sistema propuesto, si lo creen necesario.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Para realizar la presente investigación se contextualizará en el paradigma Filosófico Critico Propositivo, es crítico por que se cuestiona la ausencia de dispositivos de medición y control en el proceso de potabilización de la JAAP, partiendo de esto se presenta una propuesta para la solución del problema. Es

propositivo por que se basa en investigaciones y resultados previos obtenidos en tareas de automatización y control similares.

## **6.7 DEFINICIONES GENERALES**

### **6.7.1 Sensor**

Es un dispositivo que detecta las condiciones físicas del mundo real y tras transforma a señales eléctricas “La función de un sensor es tomar una variable física y entregar otra variable física que posibilite una interpretación legible de la primera por parte de un ser humano” (Corrales, 2016, pág. 2). Los sensores más comunes pueden ser de presencia, proximidad, flujo, pH, presión, entre otros.

### **6.7.2 Actuadores**

Es un dispositivo que permite regular la salida del elemento de control y ejecutar la acción de control. “Es el elemento del lazo de control que, en respuesta a la señal de corrección del error generada por un aparato controlador, actúa sobre la variable por medio del elemento final de control del proceso” (Corrales, 2016). Los actuadores pueden ser solenoides, termostatos motores eléctricos entre otros.

### **6.7.3 WSN (Wireless sensor networks)**

Son sensores independientes que permite la transmisión de datos de diferentes entornos que necesite ser monitorizada a través de una red de área local y según la necesidad se puede configurar para monitorizar de forma remota desde el internet obteniendo datos en tiempo real(Shkurti et al., 2017).

### **6.7.4 Controlador**

Dispositivo que procesa los datos receptados por los sensores y establece que acción tomar en los actuadores. “ Los controladores pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos más usados son : computadoras con tarjetas de adquisición de datos, PLC (controladores lógicos programables), microcontroladores (PIC).”(Lazaro, 2003, Pág. 4). Los microcontroladores disponen de pines a los que se le asigna como entradas y salidas.

## **Entradas y salidas**

Son puertos del controlador que permite en el caso de las entradas; ingresar los datos de la planta al controlador y pueden ser manipuladas, y las salidas; son resultados que emite el controlador a la planta y pueden ser controladas. Pueden ser del tipo analógico y del tipo digital.

### **6.7.5 Adquisición de datos**

Se inicia en las señales eléctricas que emite los sensores, a un dispositivo que actúa como interfaz con una PC conocido como DAQ o DAS por sus siglas, cuenta con un circuito que acondiciona las señales eléctricas para convertir en señal analógica – digital o digital- analógica según la necesidad del sistema necesite para automatizar.

## **6.8 METODOLOGÍA**

De la investigación realizada y sobre todo de la observación se puede aducir que, en el proceso de potabilización la etapa de coagulación – floculación es donde requiere mayor cuidado, pues la dosificación de coagulante debe ajustarse a la realidad, permitiendo optimizar la utilización del coagulante y sobre todo lograr su efectividad, para obtener el ajuste adecuado es necesario implementar un control automático que regule la dosificación según la necesidad del momento, para ello es necesario medir ciertas variables del agua que ingresan al proceso de potabilización que interviene directamente las cuales son:

- Caudal del agua
- pH
- Turbiedad

Parámetros que la organización mundial de la salud (OMS) y la Secretaría del Agua en Ecuador, recomienda monitorear y controlar las características importantes del agua en las plantas potabilizadoras con un límite deseable que muestra la tabla N° 6.1. Se puede afirmar que la eficacia de la dosificación mejorara notablemente el resto del proceso de potabilización.

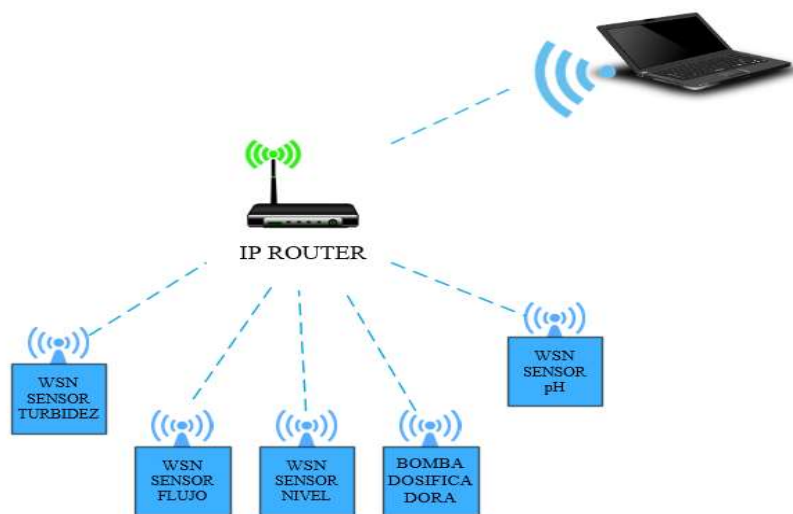
**Tabla N° 6.1:** *Parámetros a controlar*

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITE DESEABLE
Turbiedad	NTU	< 5
pH	pH	7,0 - 8,5
Caudal	l/min.	
Nivel	Tanque de almacenamiento	

*Elaborado por: Wilmer Conde*

## 6.9 Equipos tecnológicos

Para la adquisición de los parámetros detallados en la tabla N° 6.1, es necesario analizar las características técnicas funcionales, de hardware como el software que proporcione la integración de los dispositivos electrónicos, además facilite la programación para la detección, procesamiento y comunicación y posterior administración de datos de uno o más dispositivos electrónicos de entrada, como de salida necesarias en el proceso de potabilización, considerando que por la ubicación de las instalaciones es necesario utilizar sensores inalámbricos.



**Figura N° 6.1:** Descripción general del proyecto propuesto  
**Elaborado por.** Wilmer Conde

En la figura N° 6.1 se muestra un esquema general de la propuesta planteada y es necesario profundizar para detallar los requerimientos necesarios y cumplir con el proyecto propuesto.

### 6.9.1 Selección de equipos

Existe una variedad de sensores para el caso de flujo, pH, Turbiedad y distancia a nivel industrial y se debe considerar para su selección parámetros como: exactitud requerida, condiciones del sitio a instalarse y sobre todo los costos de adquisición, instalación y operación, para el presente proyecto se ha valorado el costo de adquisición además el respaldo de investigaciones anteriores, y sobre todo la facilidad de integración con dispositivos de control utilizado para prototipos.

### 6.9.2 Características y detalles de dispositivo de detección

En la tabla 6.2 se detalla las características técnicas de los dispositivos de detección para la adquisición de datos.

**Tabla N° 6.2:** *Características de dispositivos de detección*

<b>Dispositivo</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>SENSOR DE FLUJO</b>	Voltaje de operación	5V DC
	Consumo de corriente	15 mA. Max
	Rango de flujo	10 - 200 L/min
	Presión de trabajo max.0	1,75 Mpa (17 bar)
	Salida	Onda Cuadrada pulsante
	Resistencia de aislamiento	100M Ohm
	Temperatura de trabajo	5° - 80 °C
	Rosca Externa	2" NPS
<b>SENSOR DE PH</b>	<b>Voltaje de operación</b>	3-5 V DC
	<b>Consumo de Corriente</b>	5 - 10 mA. Max
	<b>Rango de detección pH</b>	0 - 14 pH
	<b>Tiempo de respuesta</b>	<= 5 s.
	<b>Tiempo de estabilización</b>	<= 60 s.
	<b>Temperatura de trabajo</b>	.-10 ~ 50 °C
	<b>Temperatura nominal</b>	20 °C
	Voltaje de operación	3-5V DC

<b>SENSOR DE TURBIEDAD</b>	Consumo de Corriente	30 mA. Max
	Tiempo de respuesta	500 ms
	Salida analógica:	0 - 45 V
	Temperatura de Operación	5 ~ 90 °C
	Temperatura de almacenamiento	-10 ~ 90 °C
<b>SENSOR DE NIVEL</b>	<b>Voltaje de operación</b>	5V DC
	<b>Corriente de reposo</b>	< 2 mA. Max
	<b>Corriente de trabajo</b>	15 mA
	<b>Rango de medición</b>	2 cm. a 450 cm
	<b>Precisión</b>	.+3 mm
	<b>Angulo de apertura</b>	15 °
	<b>Frecuencia de ultrasonido</b>	40 KHz

**Elaborado por.** Wilmer Conde

### 6.9.3 Tarjeta de adquisición de datos

Para seleccionar la DAQ que mejor se adapte a los requerimientos de los sensores detallados anteriormente, es necesario considerar que la DAQ a seleccionar tenga la capacidad de procesar los datos de los sensores y a la vez enviar la información de forma inalámbrica a un computador o similar, que ordene la información para posteriormente ser utilizada en un software que permita aplicar un control automático y realizar una aplicación de visualización para monitorización, será necesario considerar lo siguiente.

- 1 Entradas analógicas de 0 a 5 V. DC
- 1 Salida Analógica de 0 a 5 V. DC
- 1 Salida digital de 0 a 5 V. DC
- Comunicación USB
- Comunicación Wi-Fi integrada.

Desde que el microcontrolador ESP 8266 fue ideado como adaptador WI-FI para arduino conocido como ESP-01 se ha multiplicado el desarrollo de las placas con conectividad WIFI que incluso Arduino presenta su modelo, se ha seleccionado 3 modelos más comunes en el mercado para el análisis correspondiente que se representa en la tabla N° 6.3. se presenta características comparativas que facilite seleccionar la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), que mejor se adapte a las necesidades del presente proyecto y lograr conformar una WSN.

**Tabla N° 6.3: Comparativa de DAQ**

CARACTERISTICAS	DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE CONTROL					
	NODE MCU		ESP12-E		ARDUINO MKR1000 ARM MCU	
SoC	ESP 8266		ESP8266		ARM MCU	
CPU Frecuencia	80 -160 Mhz	✓	80 -160 Mhz	✓	48 Mhz	✓
Voltaje de Alimentación (recomendado)	5 V.	✓	3,3V.	✗	5 V.	✓
Voltaje de operación	3,3V.	✓	3,3V.	✓	3,3V.	✓
Corriente en DC cada Pin	12 mA	✓	12 mA	✓	7 mA.	✓
Buses	UART, SPI, I2C,I2S	✓	UART, SPI, I2C	✓	UART, SPI, I2C	✓
Entradas/Salidas digitales	17 I/O	✓	11 I/O	✓	8 I/O	✓
Entradas análogas	1 Pin	✓	1 Pin	✓	7 (ADC 8/10/12)	✓
Salidas análogas	X	✗	X	✗	1 (DAC 10 bit)	✓
PWM Pins	configurables 8 I/O	✓	configurables 6 I/O	✓	12 Pins	✓
Memoria flash	4MB	✓	4MB	✓	256 Kb	✓
SRAM	40Kb	✓	32 Kb	✓	32 Kb	✓

<b>WI-FI Integrado</b>	SI	✓	SI	✓	SI	✓
<b>Comunicación con PC</b>	USB A - Micro USB	✓	X	✗	USB A - Micro USB	✓
<b>Interfaz de programación</b>	Arduino IDE (Software Libre)	✓	Con Adaptador USB - Arduino IDE	✗	Arduino IDE (Software Libre)	✓
<b>Precio</b>	\$ 15,00	✓	\$ 12,00	✓	\$ 55,00	✗

*Elaborado por. Wilmer Conde*

En la tabla N° 6.3 se detalla las características de los microcontroladores cumpliendo con todas las características técnicas del proyecto el arduino MKR1000 pero su costo es elevado y se adquirirá 4 unidades, el NODE MCU, cumple con todos los requisitos salvo la salida analógica, que no es necesaria para el presente proyecto, está lista para programar dispone protecciones en caso de mala conexión como también un botón de reset, además la comunicación serial es directa al ordenador, no requiere de elementos adicionales para iniciar la programación, el software para la programación se realiza en el IDE de Arduino instalando una librería especial para las placas ESP 8266 que es muy utilizada en prototipos de IoT.

Es importante mencionar que los PLC (controladores lógicos programables) son superiores frente a un microcontrolador por su característica de diseño para ambientes hostiles Industriales netamente, pero el costo de adquisición como para la operación son muy superiores, por esa razón no se incluye en la tabla comparativa.

Una vez identificado los sensores y el microcontrolador NODE MCU que procesará la información, es necesario definir el servidor que reciba la información y mejor se adapte a las necesidades de conectividad del NODE MCU.

Tomando en cuenta que en la JAAP San José de el Quinche no dispone de presupuesto para adquirir una computadora portátil o de escritorio, se propone utilizar una placa “Single Board Computer” (SBC) siendo una mini PC en placas



open-source de hardware y software, con lenguajes de programación de alto y bajo nivel, además considerando que lentamente se introducen al mundo de la automatización se analizara sus características más adelante.

Los hardware de las placas no están diseñados para entornos industriales, a pesar de ello pueden ser utilizados como una solución económica en el control y monitorización, como lo realiza Suresh, Balaji, Anto, & Jenith, ( 2014), en su prototipo. Sin duda, sin dejar de lado el mundo de los autómatas industriales PLCs que también se especializan en su entorno cada vez más y más.

En la actualidad se ha desarrollado diversas placas SBC para el desarrollo de prototipos como se describe en la tabla N° 6.4, incluso para la automatización industrial como explica Merchant & Ahire, D.D., ( 2017) en su publicación.

**Tabla N° 6.4:** *Raspberry pi comparado con otras SBC*

Parámetros	SBC (Single Board Computer)									
	Raspberry Pi		Arduino		Intel Galileo		UDOO NEO		Beagle bone	
Procesador	Broadcom BCM2836 Mhz quad core	✓	ATM EGA 8, ATM EGA 1280	✓	Intel Quark X1000-400MHz Single core	✓	Frescale i.MX6Solo X 1GHz ARM Cortex-A9 With Cortex-M4	✓	AM3359 1GHz ARM Cortex-A8	✓
RAM	1 GB	✓	16 - 32 KB	✗	512 kb on chip SRAM 256Mb DRAM	✗	512MB or 1 GB(full)	✗	512MB DDR3 RAM	✗
Power	10 W	✓	5W	✓	15 W	✓	10W	✓	15W	✓

<b>OS</b>	Raspbian, Debian, Fedora, ARCH Linux ARM and FreeBSD	✓	N.A.	✗	Arduino Linux distribution for galileo. Windriver Rocket	✓	Android Lollipop and Linux UDOO buntu2 (14,04 LTS)	✓	Android, Debian, Anstrom, Yocto, Fedora, Ubuntu	✓
<b>Precio</b>	\$40,00	✓	\$30,0	✗	\$ 70,0	✗	\$ 65,00	✗	\$55,00	✗

*Fuente:*(Balasubramaniyan & Manivannan, 2016)

Del cuadro comparativo de la tabla N° 6.4 se selecciona la SBC Raspberry pi, por su costo económico, su memoria RAM superior y su facilidad de encontrar en el mercado. La placa SBC es un ordenador muy avanzado y funcional, además de las características detalladas dispone de conectividad Wi-Fi 802.11n, salida HDMI, cuenta con 4 puertos USB, interfaz GPIO de 40 PINS, puerto ethernet, la alimentación es un voltaje de 5V/2.5 A. DC y el slot para tarjeta micro SD que permite grabar el Sistema Operativo necesario para el proyecto propuesto.

Parte de la versatilidad de la placa SBC seleccionada se basa en el uso de periféricos que permiten utilizar, la interfaz gráfica para la monitorización y control de proceso, por medio de una pantalla compatible con raspberry pi de 7 pulgadas tipo LCD con conectividad HDMI táctil, de 1024 x 600 de alta resolución su fuente de alimentación es 5V con un conector mini USB, también puede ser reemplazada por un monitor convencional con entrada HDMI si así fuera el caso.

#### 6.9.4 Software

Al instalar el sistema operativo (S.O.) Raspbian en la raspberry pi ya viene instalada por defecto una plataforma informática Node-RED. Aplicación muy ligera en su ejecución, pero muy potente que permite comunicar hardware y servicios a través de protocolos estándares como MQTT, AMQP, REST, MODBUS entre otros.

Node RED está basado en Node.js, se ejecuta al borde de la red y proporciona el servicio Localhost nombre designado al ordenador o dispositivo que se utiliza en un momento determinado, gracias a ello el computador puede ser utilizado como servidor web y permite ingresar a una página web que este almacenado localmente como si estuviese publicada a internet sin la necesidad de una conexión a internet, muy utilizada en hardware de bajo costo, como la Raspberry Pi y en la nube.

Node RED es una herramienta de programación visual que provee una interfaz accesible a través de un navegador web, que permite crear flujos de eventos e interconectarlos, siendo muy flexible, pues dispone de gran cantidad de nodos que pueden ser instalados según la aplicación permitiendo la conexión entre nuevos dispositivos y servicios con enfoque IoT, como ThingSpeak, ThingerIO, Blynk, Cayeen etc. Node RED no requiere de la instalación de ningún entorno de desarrollo o IDE para la programación.

Para comunicar entre los Node MCU y Node –RED es importante considerar un protocolo que permita una comunicación adecuada, para ello se sustenta en (Jaloudi, 2019), que pone a consideración ventajas como debilidades de los protocolos más comunes en internet de las cosas (IoT), que pueden ser utilizados según su campo de aplicación en la Industria.

**Tabla N° 6.5:** Comparación de protocolos de internet de las cosas (IoT)

FEATURE	HTTP		CoAP		MQTT		MODBUS TCP	
<b>Infraestructure</b>	Ethernet, Wi-Fi	✓	6LoWPAN	✓	Ethernet, Wi-Fi	✓	Ethernet, Wi-Fi	✓
<b>Network layer</b>	IPv4 or IPv6	✓	IPv6	✓	IPv4 or IPv6	✓	IPv4 or IPv6	✓
<b>Transport layer</b>	TCP	✓	UDP	✓	TCP	✓	TCP	✓
<b>Transport port</b>	80-443	✓	5683	✓	1883-8883	✓	502-802	✓

<b>Model</b>	synchro nous	✓	asynchro nous	✓	asynchrou s	✓	synchro nous	✓
<b>Pattern</b>	request- response	✓	both	✓	publish - subscribe	✓	request- response	✓
<b>Mechanism</b>	one-to- one	✓	one-to- one	✓	one-to-many	✓	one-to- one	✓
<b>Methodolgy</b>	docume nt- oriented	✗	document- oriented	✗	message- oriented	✗	byte- oriented	✓
<b>Paradigm</b>	long polling- based	✓	polling- based	✓	evet-based	✓	polling- based	✓
<b>Quality level</b>	one level	✓	two: CON or NON	✓	three: QoS 1,1,2	✓	one level	✓
<b>Standard</b>	IETF (RFC72 30)	✓	IETF (RFC7252 )	✓	ISO/IEC,OA SIS	✓	modbus.o rg	✓
<b>Encoding</b>	ASCII text	✓	REST ful (Binary)	✓	UTF- 8(Binary)	✓	Binary	✓
<b>Security</b>	SSL,TL S	✓	DTLS	✓	SSL,TLS	✓	TLS	✓

**Fuente:** (Jaloudi, 2019)

Existe varios protocolos de mucho interés en el IoT de los que se describe en la tabla N° 6.5 destacando aspectos como comunicación, infraestructura, arquitectura, mecanismo, patrón de mensajería, metodología y paradigma de transmisión, de los cuales Jaloudi, (2019) luego de realizar el análisis correspondiente sostiene que MODBUS TCP es un protocolo más liviano adecuado para sistemas y aplicaciones industriales respecto a MQTT, resaltando que el protocolo MODBUS permite una comunicación maestro/esclavo o cliente/servidor muy utilizado en la comunicación de controladores lógicos programable (PLC) en las industrias.

Además, Jaloudi (2019) sostiene que un ambiente industria (IoT) requiere la utilización de por lo menos dos protocolos, de los cuales el uno permite utilizarlo en funciones IoT en comunicaciones M2M (Maquina a Maquina) y el otro para

funciones industriales, concluyendo que MQTT complementa las funciones de MODBUS TCP en la industria.

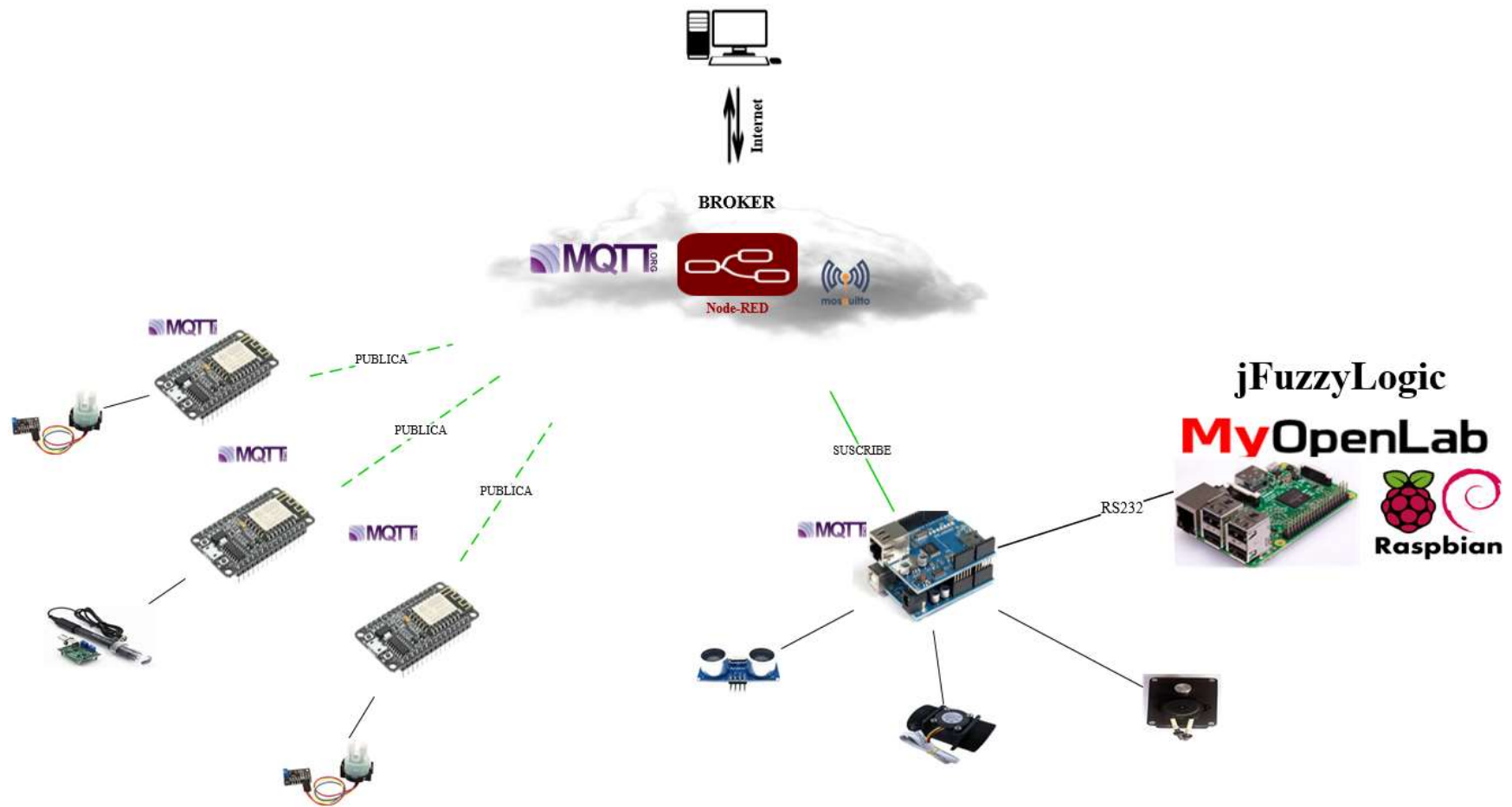
Del análisis presentado se opta por utilizar en el presente proyecto el protocolo MQTT para los dispositivos NODE MCU como Publicadores o emisores y la plataforma Node-RED que sirve como Maestro o BROKER para recibir los mensajes de los emisores y distribuir los mensajes a los receptores o suscriptores de un determinado tema.

MQTT es un protocolo de sistema de mensajería asíncrono separa al emisor y receptor del mensaje tanto en tiempo como en espacio, permite escalabilidad hacia otros niveles en la red utiliza un modelo de publicación suscripción como se describe en la tabla N° 6.5.

MQTT es un protocolo muy liviano permite la implementación en hardware de dispositivos altamente restringidos y redes de ancho de banda limitada y de alta latencia.

### **6.9.5 Arquitectura de la propuesta**

La arquitectura propuesta se observa en la figura 6.2 donde se representa el hardware y software necesarios para la comunicación de la red de sensores inalámbricos (WSN), además se muestra el bróker central que controla la comunicación entre el publicador y suscriptor como también el software Myopenlab que permite aplicar el control y monitorización del proceso de potabilización.



*Figura N° 6.2 Arquitectura del proyecto*  
 Elaborado por. Wilmer Conde

Myopenlab es un software de código abierto que fue desarrollado en Alemania, disponible desde agosto de 2012, la plataforma está diseñada por elementos gráficos para facilitar la programación, se actualiza y corrige errores del programa continuamente en los foros correspondientes, se ejecuta eficientemente en plataformas de bajos de bajos recursos como la Raspberry Pi.

Una de las desventajas presentes en MYOPENLAB es la imposibilidad de manipular los datos que se recibe por medio de MQTT, solo es posible visualizarlos por ello es necesario acumular los datos de los diferentes sensores en Node – RED y transmitir al nodo suscriptor microcontrolador Atmega que recepta la información, detecta y procesa la información de los sensores adicionales para luego enviar por medio de RS232 para llegar a la plataforma MYOPENLAB, procesar los datos y aplicar la estrategia de control necesaria para el proceso de potabilización de la JAAP San José de el Quinche.

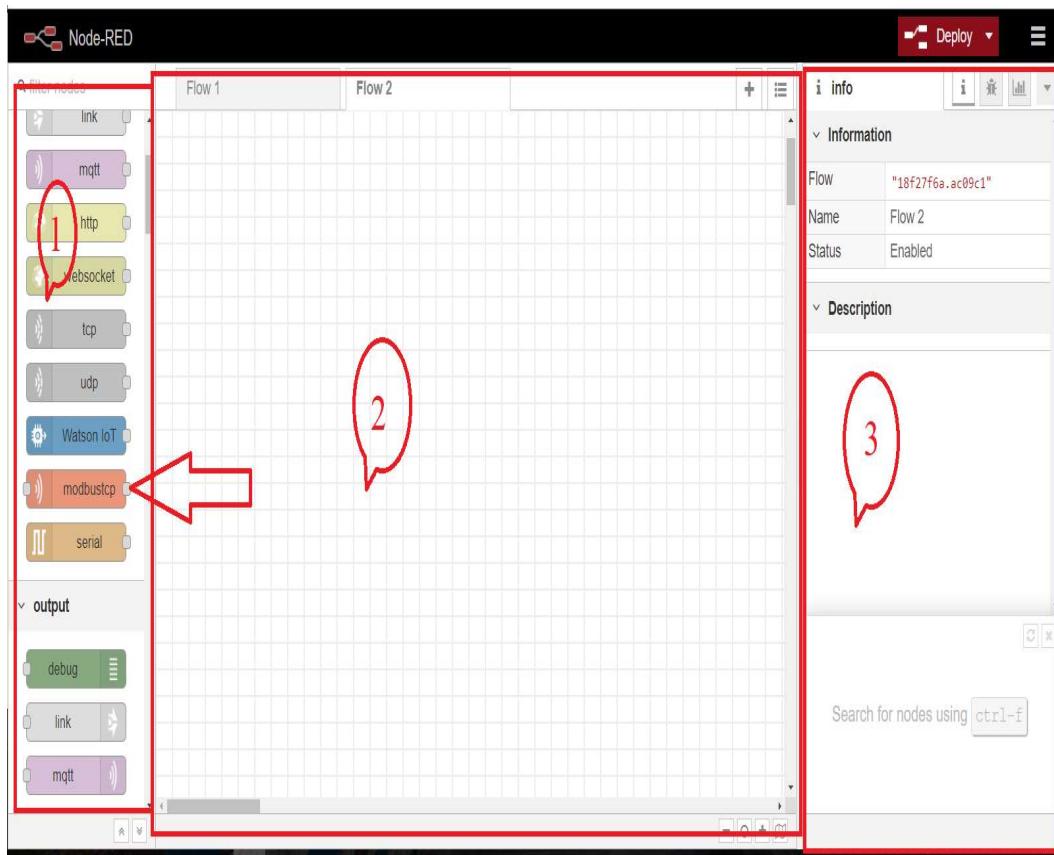
Es importante mencionar que al trabajar con Node-RED como Bróker es posible instalar plataformas IoT y con las configuraciones correspondientes será posible monitorizar desde cualquier lugar las variables que sean de importancia para el proceso de potabilización.

## **6.10 Diseño del sistema**

### **6.10.1 Integración de sensores a NODE-RED**

Para verificar la recepción de datos es necesario instalar los nodos de MODBUS en NODE RED desde el terminal con el comando que observa en la figura. N° 6.10, además una consideración importante es configurar el inicio automático de Node RED al encender la raspberry ya que es el centro de la comunicación.

Para acceder al servidor es necesario que raspberry este definida con una IP estática, luego al iniciar Node RED se define el puerto 1880 para trabajar en la plataforma desde cualquier navegador web dentro de la red LAN, se puede trabajar en el panel de programación que observa la figura N° 6.3.



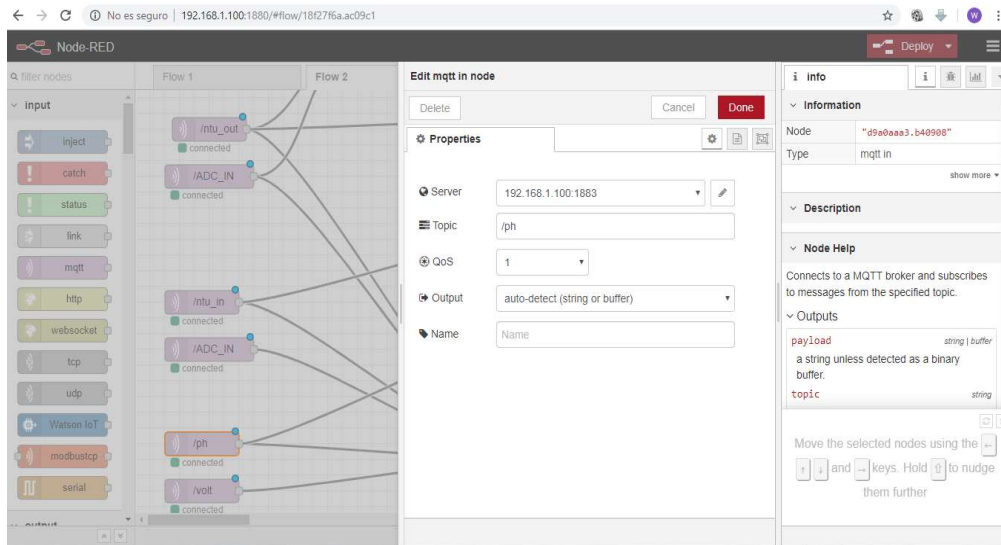
**Figura N°6.3:** Node RED.  
**Fuente:** *Wilmer Conde*

Como se observa en la Figura N° 6.13 en la parte izquierda de la interfaz área número 1 se muestra los nodos instalados y se organiza por su funcionalidad, nodos de entradas, salidas, nodos de funciones como se observa nodo MODBUS TCP, MQTT. En el área número 2 se desarrolla la lógica de funcionamiento y en el área número 3 se permite mostrar la información procesada similar al puerto serial de arduino.

Para la configuración de MQTT se arrastra de las opciones de nodos se establece la dirección del bróker como también el protocolo correspondiente a MQTT, además define el TOPIC correspondiente al dato que se desea adquirir como se observa en la figura N° 6.4, MQTT permite gestionar tres niveles de servicio (QoS): Disparar y olvidar corresponde (0), Al menos una vez (1), Exactamente una vez (2).

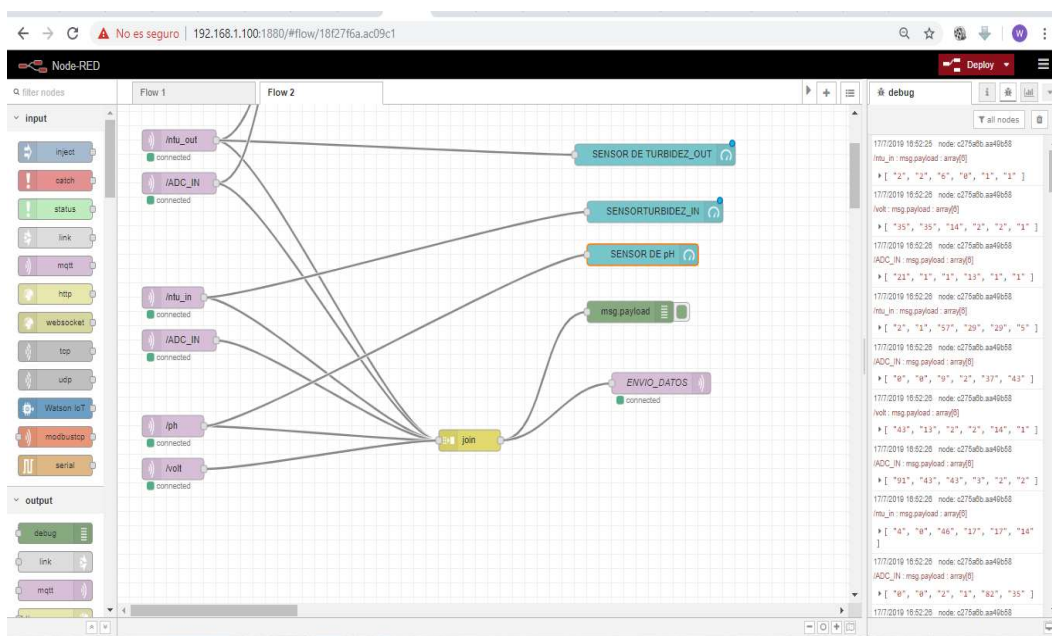
La calidad del servicio 1 o 2 el protocolo gestiona la retransmisión del mensaje para garantizar la entrega.





**Figura N°6.4:** Configuración Sensor de pH  
**Fuente:** Wilmer Conde

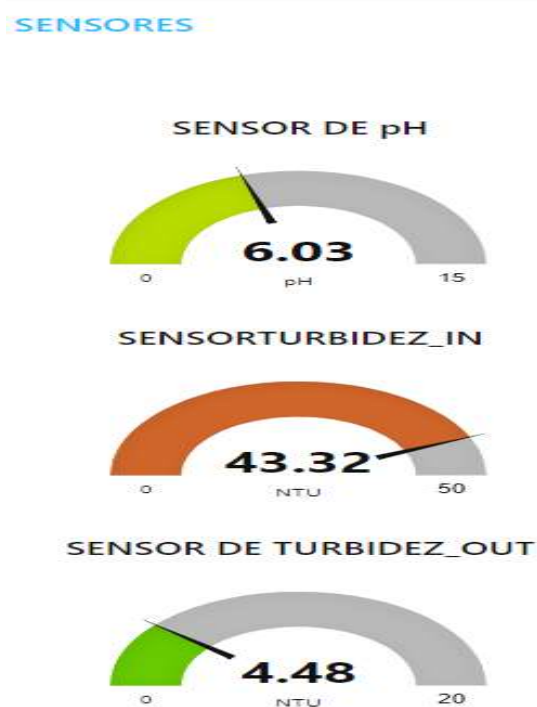
Para la presente investigación se utilizará la calidad de servicio 1, se guarda la configuración pulsando en DONE, el mismo procedimiento se aplica al resto de tópicos una vez configurado los tres sensores se extrae los datos recibidos para luego agruparlos a través de la función que se observa en la figura 6.5, para luego enviar los datos agrupados.



**Figura N°6.5:** Código de adquisición de datos Node RED  
**Fuente:** Wilmer Conde

Una vez que la plataforma se encuentra configurada con los nodos necesarios se inicia la configuración de los NODE MCU como publicadores luego el microcontrolador Atmega como suscriptor luego se configura Node-red para su inicio automático cada que se inicie la raspberry con ello no es necesario ejecutar manualmente la aplicación NODE RED.

Como se detalló en la arquitectura del proyecto es posible transferir los datos de los sensores a plataformas del internet de las cosas y lograr monitorizar el estado de los sensores como se observa en la figura N 6.16 donde se utiliza el dashboard de Node RED que permite una representación gráfica de las variables.



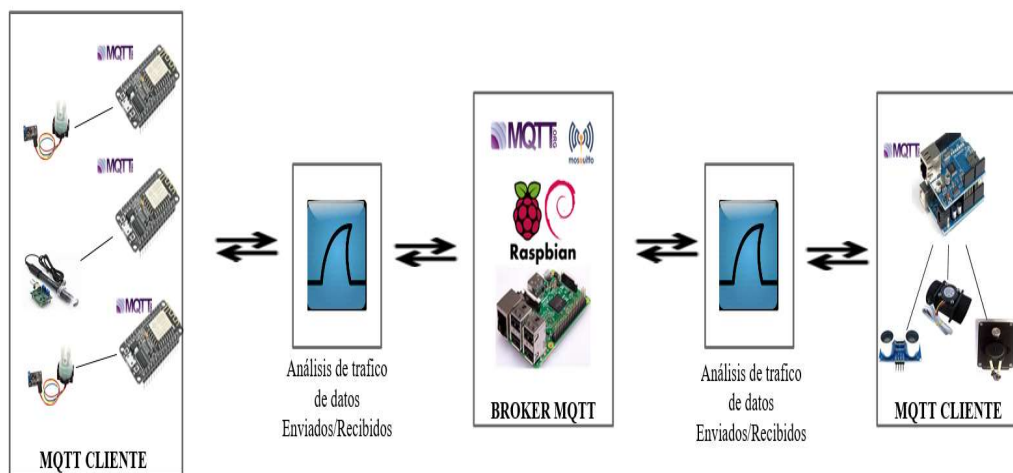
**Figura N°6.6:** Dashboard de Node-RED  
**Fuente:** *Wilmer Conde*

Una vez que la comunicación de la red de sensores está operativa es necesario enviar los datos receptados en Node-red al microcontrolador arduino, para procesar la información y transmitir por medio del puerto serial al raspberry y lograr realizar la monitorización y con control del proceso de potabilización en el Software Myopenlab, además es necesario procesar las señales como caudal y distancia en el microcontrolador.

## Análisis del tráfico de datos

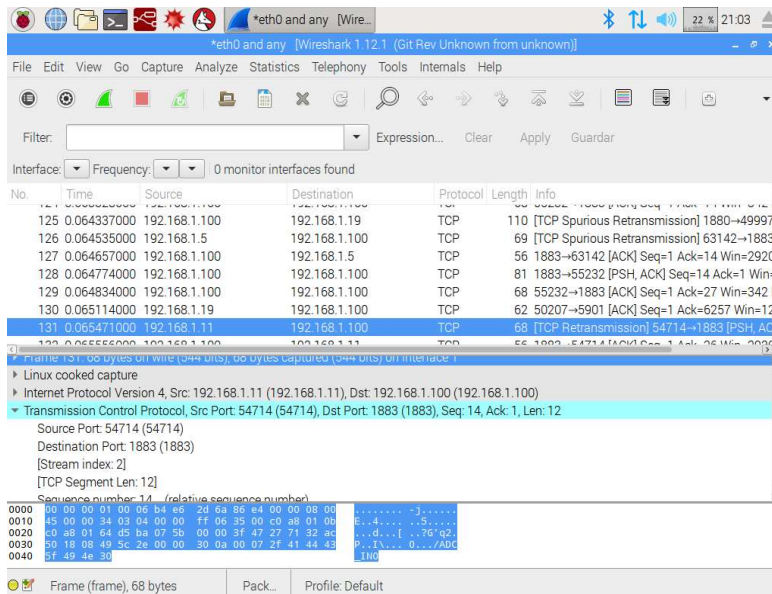
Si bien la red de sensores (WSN) es muy utilizada por sus principales características como el bajo costo económico de los dispositivos electrónicos, el bajo consumo de energía y se presta por su fácil de distribución en el entorno, es importante analizar el tráfico de la red del protocolo MQTT. Es así que Surmacz (2013) en su investigación menciona que Wireshark es una de las herramientas más utilizadas para monitorizar el tráfico orientado a paquetes enviado a través de redes TCP /IP, es un software de código abierto que permite actualizaciones mejoras frecuentes, se puede instalar en todas las plataformas computacionales, es muy compatible con alrededor de 500 protocolos, permite ver el tráfico que pasa a través de una red por medio de una interfaz gráfica, dispone de organización y filtrado de información.

Para verificar el tráfico existente en Wi-Fi se presenta la siguiente estructura en la figura N° 6.7 se instala



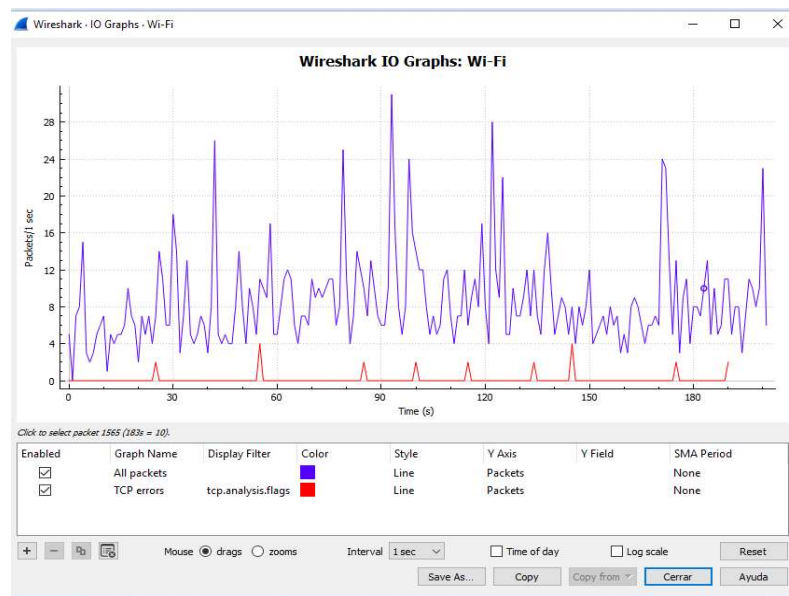
**Figura N°6.7:** Estructura de análisis de tráfico de datos  
**Fuente:** Wilmer Conde

Una vez iniciada la comunicación se captura el tráfico que se produce al transmitir los datos a través MQTT como se observa en la imagen 6.8. se presenta el detalle del protocolo de comunicación que corresponde al puerto 1883, además de apreciar la comunicación bidireccional.



**Figura N°6.8:** Captura del tráfico en la transmisión de datos de la red WSN  
**Fuente:** Wilmer Conde

Se analiza los paquetes en transición en la red inalámbrica se puede observar en la figura 6.9 posibles errores en su entrega-recepción, se detalla los paquetes por segundo tramitados y presenta datos de paquetes perdidos o no útiles con errores en la entrega recepción que son relativamente bajos.

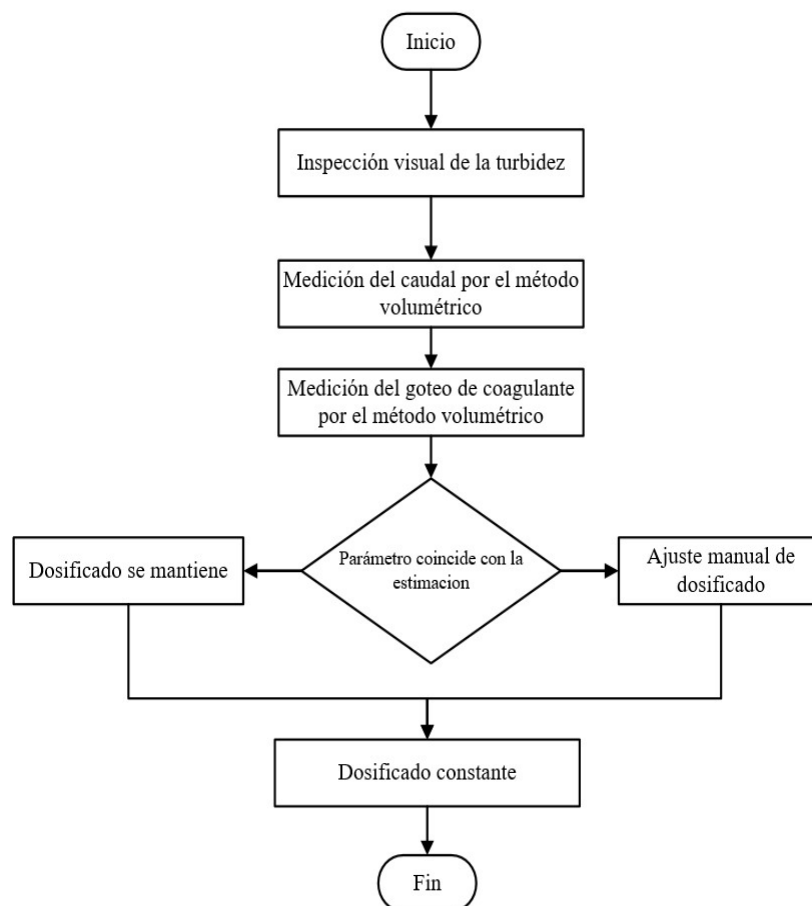


**Figura N°6.9:** Transmisión de paquetes  
**Fuente:** Wilmer Conde

## 6.11 Estrategia de control

Concluyendo con la comunicación es necesario analizar la estrategia de control más ideal, que permita manipular las señales de entrada que son caudal, turbiedad, pH y controlar una salida para la dosificación de coagulante.

De los antecedentes investigativos descritos en el marco teórico, se destaca el control inteligente que permite aplicar estrategias de control no convencional en actividades que comúnmente realizan los humanos, como es el caso de la dosificación de coagulante en el proceso de potabilización de la JAAP San José de el Quinche, el ajuste del coagulante lo realiza a partir de una estimación visual como se observa el procedimiento en el flujograma de la figura N° 6.10. El procedimiento se lo realiza una vez al día al inicio o al finalizar la jornada del operador.

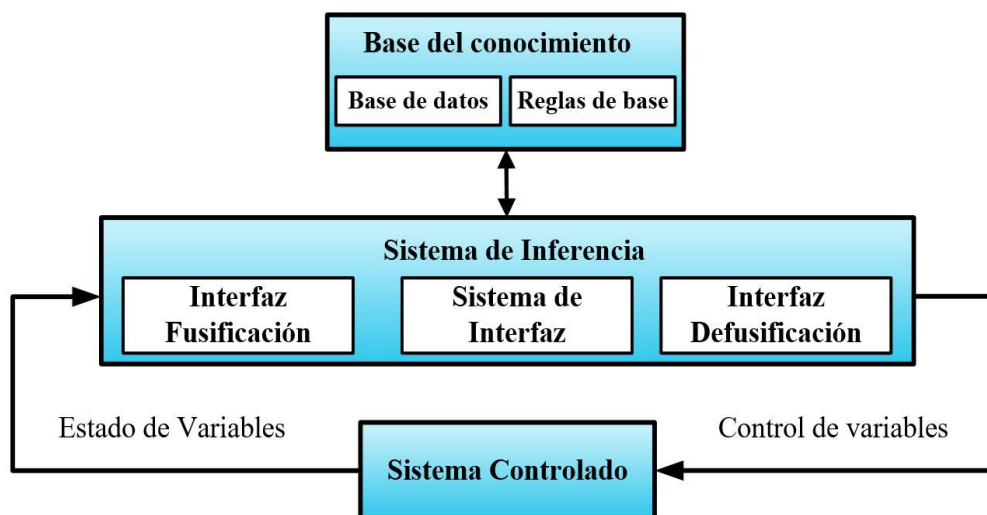


**Figura N° 6.10:** Proceso actual de dosificado

**Fuente:** *Wilmer Conde*

Partiendo de esta premisa se propone una estrategia de control no convencional, como es la lógica Borrosa (Fuzzy) que permite evaluar múltiples entradas y controlar múltiples salidas de un sistema de control, no requiere identificar el sistema, tampoco necesita aproximar un modelo o linealizarlo, además es tolerante a perturbaciones, Existen 3 métodos de inferencia difusa, que son, Mandani, Sugeno –Takagi-Kang y Tsukamoto, los dos últimos métodos son una simplificación del método de Mandani.

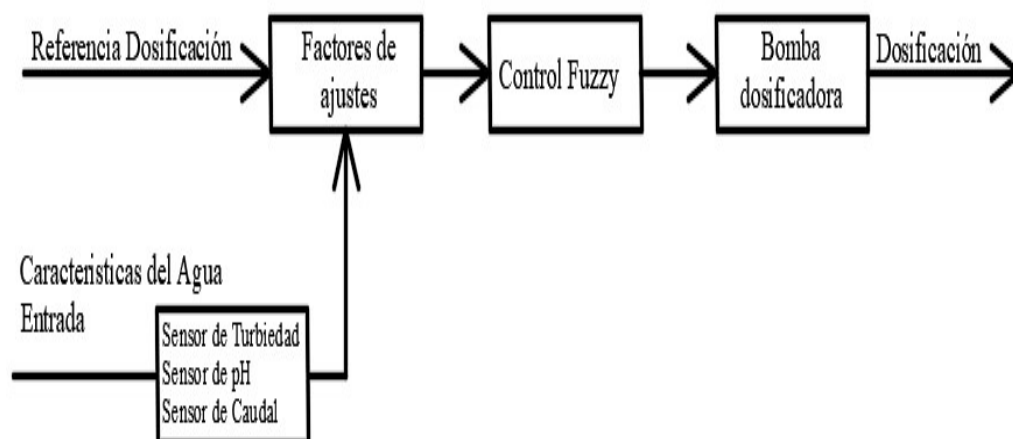
Para el controlador del presente proyecto se utilizará el método de Mandani, ya que se dispone de un experto que es la base del conocimiento para establecer las reglas de control difuso, como también se podrá definir las etiquetas lingüísticas, establecer las funciones de pertenencia y formar los conjuntos difusos, en la figura 6.11 se representa el sistema de control difuso.



**Figura N° 6.11:** Estructura genérica de un controlador Fuzzy  
**Fuente:** (Cingolani & Alcalá-Fdez, 2013, pág. 63)

Se inicia identificando las variables del sistema de control que se representa en la figura N°6.12, considerándose un sistema de control de lazo abierto, donde se observa las variables que ingresan al controlador difuso definidas por las características del agua cruda al ingreso de la planta potabilizadora como es la Turbiedad, pH y el caudal, como también la variable a ser controlada definida como dosificación, siendo valores y condiciones establecidos por el experto en la

dosificación, que contribuyen a determinar el universo de discurso y definir las variables lingüísticas más adelante.



**Figura N° 6.12:** Diagrama de bloques de control

*Fuente: Wilmer Conde*

Del experto se extrae las condiciones de las variables que inciden en la dosificación, que se detalla en la tabla N° 6.6, los valores son necesarios para determinar el universo de discurso de las variables.

**Tabla N°6.6:** Datos recolectados de bitácora del operador

ITEM	CAUDAL (l/s)	TURBIEDAD (%)	DOSIFICACIÓN (ml/min.)	pH
1	3,50	50	64,0	7,2
2	1,60	80	55,0	6
3	1,60	90	58,0	6
4	2,20	50	40,0	6
5	1,40	50	45,0	7,2
6	1,25	40	35,0	6,5
7	2,80	60	55,0	6
8	1,60	40	50,0	6
9	1,10	100	65,0	7,2
10	1,25	30	35,0	6,5
11	3,70	30	45,0	7,2
12	1,60	30	55,0	6
13	1,60	25	80,0	7

14	1,10	100	65,0	5,5
15	1,6	90	75,0	6,5

**Fuente:** *Wilmer Conde*

Con la información detallada anteriormente se inicia la Fusificación de las variables, para ello se utiliza el software Matlab que dispone de una aplicación como es Fuzzy System Designer, que facilita la configuración del controlador.

La aplicación del controlador se desarrollará en una biblioteca de código abierto llamada jFuzzyLogic que sigue los estándares para el lenguaje de control difuso (FCL) publicado en la (IEC 61131-7) estándar que define los lenguajes de controladores programables (PLC). Como detalla Cingolani & Alcalá-Fdez,(2013, pág. 63), además es muy compatible con Myopenlab plataforma de código abierto que permite realizar el monitorización y control de sistemas del mundo exterior como también simulación en tiempo real.

El universo de discurso para las variables del controlador difuso se estableció de acuerdo a los parámetros de funcionamiento de la JAAPSJQ, se utiliza la función de membresía trapezoidal que por las pruebas realizadas se obtuvo mejor respuesta para la dosificación, ese detalla en la tabla N° 6.7 los valores asignados para formar la función de membresía en el aplicativo jFuzzyLogic.

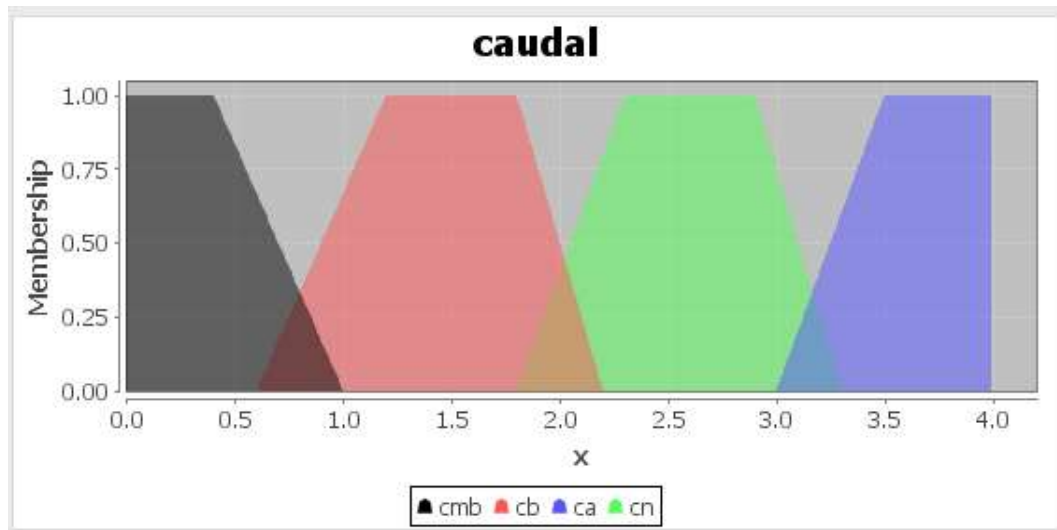
**Tabla N° 6.7:** *Variable de ingreso Caudal*

<b>Variable:</b>		<b>Caudal</b>
<b>Universo de discurso:</b>		<b>0 - 4 l/s</b>
<b>Termino lingüístico</b>	<b>Valores</b>	<b>Funciones de membresía</b>
Muy bajo (Cmb)	(0, 1) (0.4, 1) (1, 0)	Trapezoidal
Bajo (Cb)	(0.6, 0) (1.2, 1) (1.8, 1) (2.2, 0)	Trapezoidal
Normal (Cn)	(1.8, 0) (2.3, 1) (2.9, 1) (3.3, 0)	Trapezoidal
Alto (Ca)	(3, 0) (3.5, 1) (4,1)	Trapezoidal

**Fuente:** Wilmer Conde



En la figura N° 6.13 se observa los conjuntos difusos asociados a los términos lingüísticos para la Fusificación el caudal.



**Figura N° 6.13:** Diagrama de bloques de control

*Fuente:* Wilmer Conde

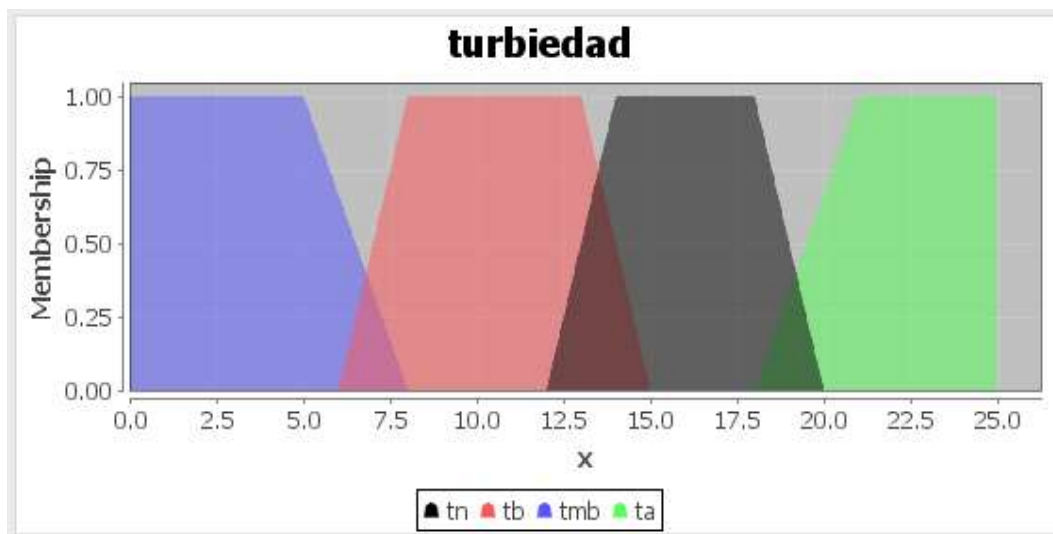
La planta potabilizadora al no disponer de medidor de turbidez, una vez calibrado el sensor se valoró la turbidez con la colaboración del experto en la dosificación, de ello se obtuvo valores que permitieron determinar los términos lingüísticos especialmente para en la turbiedad que se aprecia en la tabla N° 6.9

**Tabla N° 6.8:** Variable estado de Turbiedad

<b>Variable:</b>	<b>Turbiedad</b>	
<b>Universo de discurso:</b>	<b>0 - 25 NTU</b>	
<b>Termino Lingüístico</b>	<b>valores</b>	<b>Funciones de membresía</b>
Muy bajo (Tmb)	(0, 1) (5, 1) (8, 0)	Trapezoidal
Bajo (Tb)	(6, 0) (8, 1) (12, 1) (14, 0)	Trapezoidal
Normal (Tn)	(12, 0) (14, 1) (18, 1) (20, 0)	Trapezoidal
Alto (Ta)	(18, 0) (21, 1) (25, 1)	Trapezoidal

*Fuente:* Wilmer Conde

Se observa en la figura N° 6.14 los conjuntos difusos asociados a los términos lingüísticos para la Fusificación de la Turbiedad.



**Figura N° 6.14:** Fusificación de la Turbiedad  
**Fuente:** Wilmer Conde

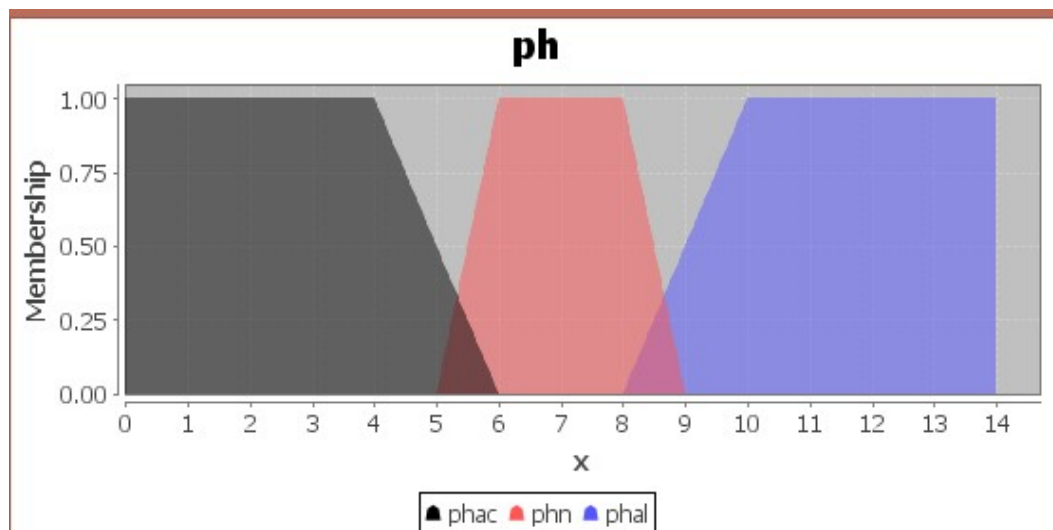
En la tabla N° 6.9 se establece el margen de pH del agua cuando los agentes coagulantes actúan, si están fuera del rango neutro en necesario más coagulante.

**Tabla N° 6.9:** Variable estado de pH

Variable:	pH	
<b>Universo de discurso:</b>	<b>0 - 14</b>	
<b>Termino Lingüístico</b>	<b>Valores</b>	<b>Funciones de membresía</b>
Muy Acido (pHac)	(0, 1) (4, 1) (6,0)	Trapezoidal
Neutro(pHn)	(5, 0) (6, 1)(8, 1) (9, 0)	Trapezoidal
Alcalino (pHal)	(8, 0) (10, 1) (14, 1)	Trapezoidal

**Fuente:** Wilmer Conde

Se observa en la figura N° 6.15 los conjuntos difusos asociados a los términos lingüísticos para la Fusificación de pH del agua.



**Figura N° 6.15:** Fusificación de pH  
**Fuente:** Wilmer Conde

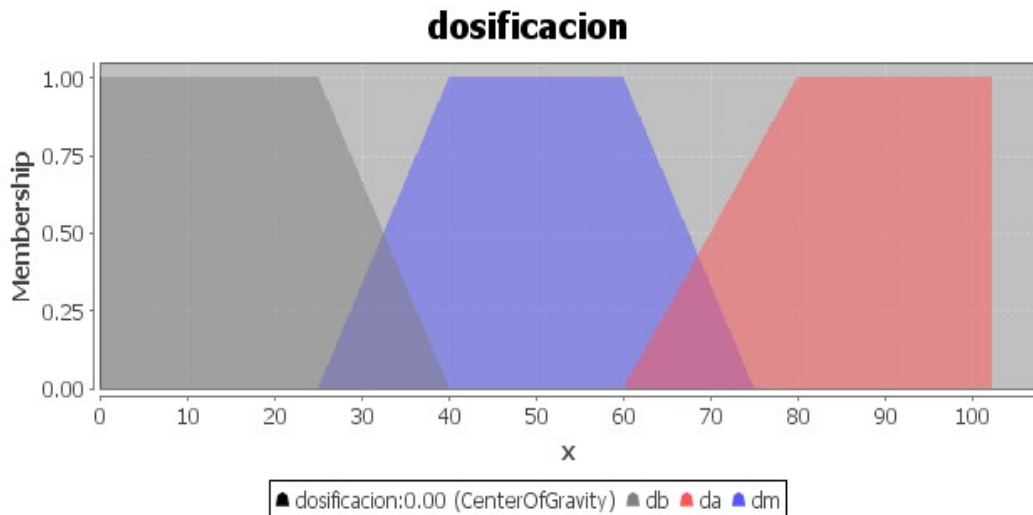
La dosificación establecida se ha determinado por expertos que han realizado las pruebas de jarras en laboratorios, los valores y recomendaciones se detalla en la tabla N° 6.10

**Tabla N° 6.10:** Variable salida Dosificación

Variable	Dosificación	
Universo de discurso	0 - 100 ml/min	
Termino Lingüístico	valores	Funciones de membresía
Bajo (Db)	(0,1) (25,1) (40,0)	Trapezoidal
Medio (Dm)	(25, 0) (40,1) (60,1) (75, 0)	Trapezoidal
Alto (Da)	(60, 0) (80,1) (100,1)	Trapezoidal

**Fuente:** Wilmer Conde

Se observa en la figura N° 6.16 los conjuntos difusos asociados a los términos lingüísticos para la Fusificación de la dosificación.



**Figura N° 6.16:** Fusificación de dosificación  
**Fuente:** Wilmer Conde

### 6.11.1 Sistema de inferencia

Es necesario relacionar uno a uno los términos lingüísticos detallados anteriormente en el marco teórico por medio de reglas de control si (if), entonces (then) como se observa en la grafico N° 6.17, son reglas ingresadas en jFuzzyLogic.

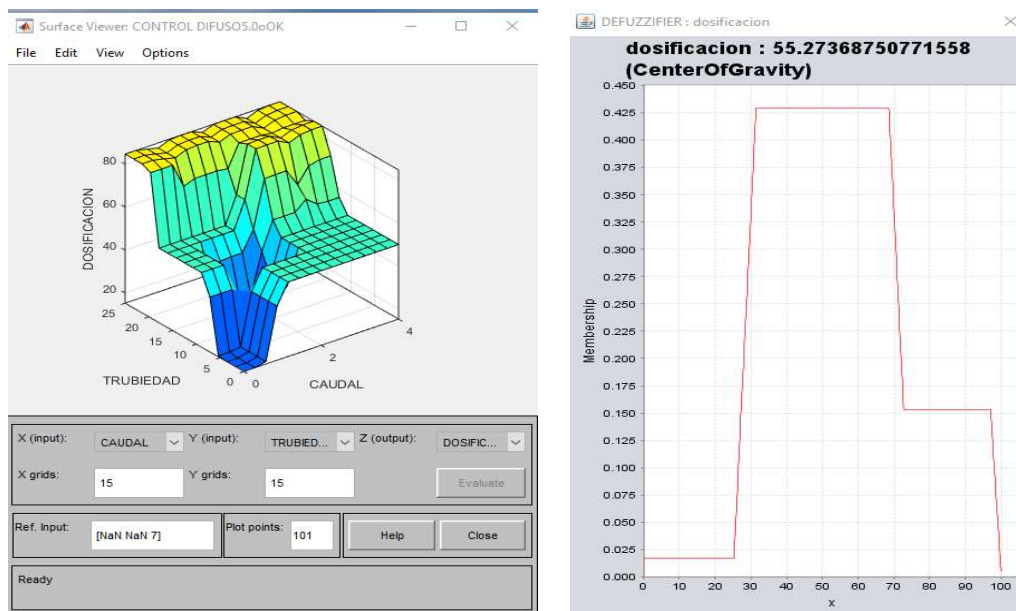
```

RULE 1 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 2 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phn THEN dosificacion IS db;
RULE 3 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 4 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 5 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tb AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 6 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 7 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tn AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 8 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tn AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 9 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS tn AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 10 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS ta AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 11 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS ta AND ph IS phn THEN dosificacion IS da;
RULE 12 : IF caudal IS cmb AND turbiedad IS ta AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 13 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 14 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phn THEN dosificacion IS db;
RULE 15 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tmb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 16 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 17 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tb AND ph IS phn THEN dosificacion IS db;
RULE 18 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 19 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tn AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 20 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tn AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 21 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS tn AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 22 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS ta AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 23 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS ta AND ph IS phn THEN dosificacion IS da;
RULE 24 : IF caudal IS cb AND turbiedad IS ta AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 25 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tmb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 26 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tmb AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 27 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tmb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 28 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 29 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tb AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 30 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 31 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tn AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 32 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tn AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 33 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS tn AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 34 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS ta AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 35 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS ta AND ph IS phn THEN dosificacion IS da;
RULE 36 : IF caudal IS cn AND turbiedad IS ta AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 37 : IF caudal IS ca AND turbiedad IS tmb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 38 : IF caudal IS ca AND turbiedad IS tmb AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;
RULE 39 : IF caudal IS ca AND turbiedad IS tmb AND ph IS phal THEN dosificacion IS da;
RULE 40 : IF caudal IS ca AND turbiedad IS tb AND ph IS phac THEN dosificacion IS da;
RULE 41 : IF caudal IS ca AND turbiedad IS tb AND ph IS phn THEN dosificacion IS dm;

```

**Figura N° 6.17:** Reglas de Control  
**Fuente:** Wilmer Conde

El método de inferencia difusa fue simulado en Toolbox Fuzzy Logic de Matlab obteniendo una superficie de control aplicando el método del centroide, considerando que la inferencia de la salida es singleton, los mismos parámetros ingresados en Matlab en la simulación, son utilizados en el aplicativo jFuzzyLogic que viene integrado en la plataforma Myopenlab, donde se puede realizar simulaciones, una vez obtenida una respuesta certera del controlador para la variable dosificación, donde puede ser manipulada fácilmente para el monitorización de la planta.

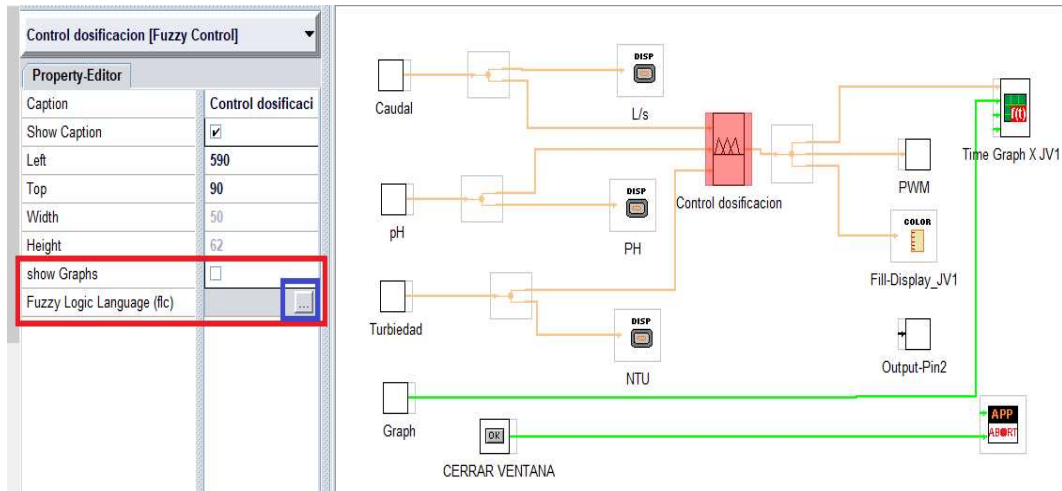


**Figura N° 6.18:** Superficie de control Mandami (a) y respuesta de jFuzzy (b)  
**Fuente:** Wilmer Conde

## 6.12 Desarrollo de la aplicación

En la plataforma Myopenlab se selecciona el módulo controlador Fuzzy, en el cuadro azul de la figura 6.19, permite el acceso a un script en donde se realiza la programación del controlador del aplicativo jFuzzyLogic con los pasos establecidos por: Cingolani & Alcalá-Fdez (2013), conformado el controlador fuzzy, se obtiene un elemento grafico de 3 entradas y una salida, donde se puede realizar simulaciones para comprobar la respuesta de la salida y realizar los ajustes, si es necesario, concluida la etapa es pertinente ingresar la lectura de los sensores,

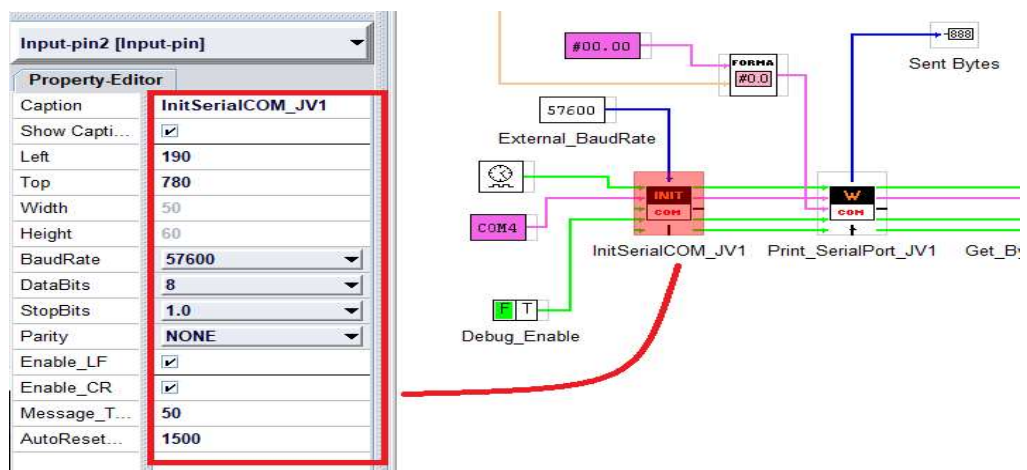
desde la tarjeta de adquisición de datos al raspberry pi donde se ejecutara el monitorización y control.



**Figura N° 6.19:** Controlador fuzzy  
**Fuente:** Wilmer Conde

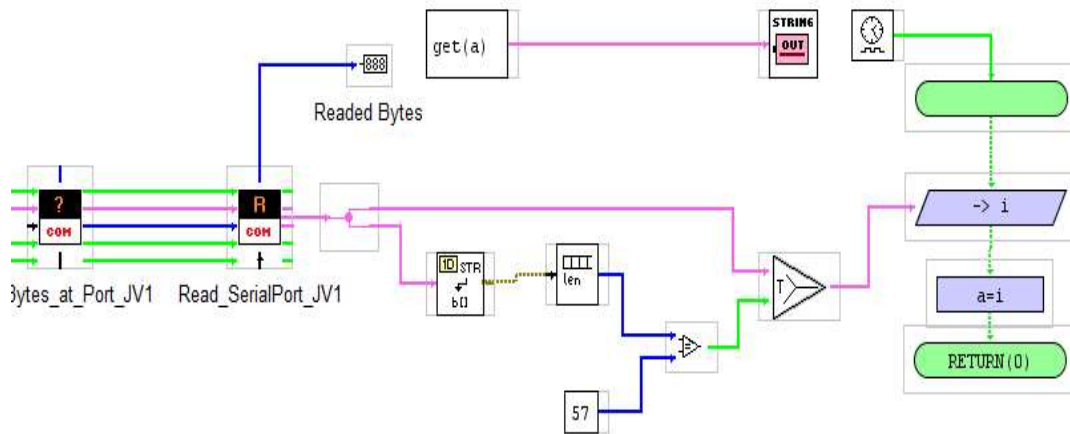
### 6.12.1 Comunicación de DAQ a Raspberry Pi

En Myopenlab, se selecciona un módulo de inicio del puerto serie que se representa en la figura N° 6.20, el cual permite configurar el número de puerto (COM), velocidad, paridad, bits de datos, bits de parada, para en enviar y recibir datos de la DAQ, conjuntamente el módulo Print\_Serial permite enviar datos de la dosificación determinada por el controlador fuzzy, a la DAQ y seguidamente al actuador.



**Figura N° 6.20:** Configuración módulo de comunicación serie y envío de datos.  
**Fuente:** Wilmer Conde

Continuando con la comunicación los módulos de la figura 6.21 permiten la recepción de datos enviados desde la DAQ, además se mide la longitud de datos en Bytes y se discrimina los datos que no cumpla la longitud establecida de 57 guardando la información en la variable (a) tipo string para luego ser procesada.



**Figura N° 6.21:** Recepción de datos.  
**Fuente:** Wilmer Conde

En la DAQ se configura el puerto serie (COM), a la velocidad determinada en Myopenlab para una adecuada transmisión, seguidamente es necesario convertir los datos de los sensores a ser enviados a tipo string, estableciendo una determinada longitud, para verificar la correcta agrupación de datos se lo realiza en el puerto serial del IDE de programación de la DAQ.

Una vez establecida la comunicación y definido el dato tipo string se utiliza un operador que recoge la cadena total de caracteres recibida y permite extraer una subcadena estableciendo valores de inicio y final, para luego convertir el dato tipo string a tipo double que facilita la manipulación de las variables permite utilizar en el control y monitorización.

### 6.12.2 Activación del actuador

El actuador dispone de un circuito electrónico que recibe valores de 0 a 5V. y permite variar la dosificación del coagulante, mientras que la DAQ entre sus características posee salidas de modulación por ancho de pulso conocidos como (PWM) en valores de 0 a 255, que permite simular una salida analógica, con estos antecedentes se realizan pruebas de funcionamiento del actuador.

Para manipular el actuador se recibe el valor del controlador Fuzzy en la Tarjeta de adquisición de datos, y con la función map () que dispone la DAQ se relaciona al PWM realizando una equivalencia obteniendo la dosificación deseada.

### 6.13 Interfaz Grafica

La interfaz humana – maquina permite la interacción entre el operador y la planta facilitando la visualización del proceso, el estado de los sensores, alarmas, entre otras opciones que facilite el trabajo al operador, se aplica la normativa para monitorización de procesos industriales ISA-SP101 recomendaciones en cuanto a colores representativos de los diferentes estados en el proceso de potabilización.



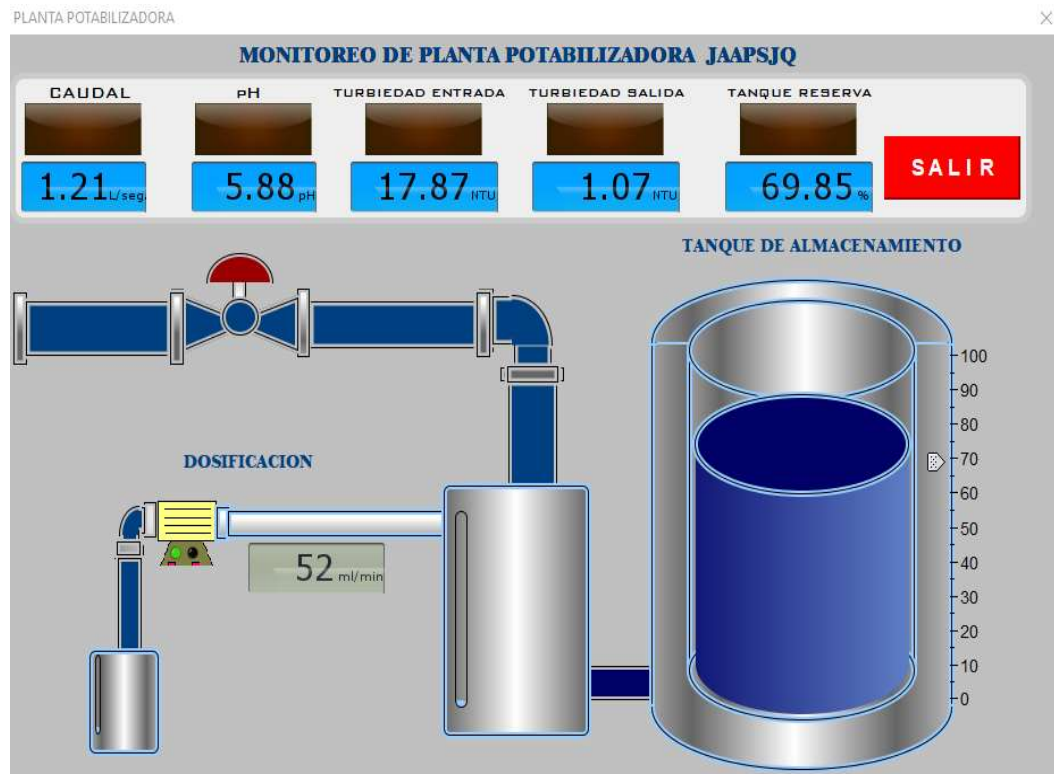
**Figura N° 6.22:** Interfaz Gráfica página principal

**Fuente:** Wilmer Conde

El diseño de la interfaz del presente proyecto se realiza lo más intuitivo posible para el operador, la página principal se muestra en la figura 6.22 que permite seleccionar 4 opciones de monitorización con diferentes funciones, la interfaz más importante para el operador es la opción PLANTA que se observa en la figura 6.23 donde se establece el funcionamiento completo del proceso de potabilización y se representan alarmas visibles sobre cada parámetro, que se visualizaran cuando los niveles son inapropiados para el funcionamiento de la planta, como también se



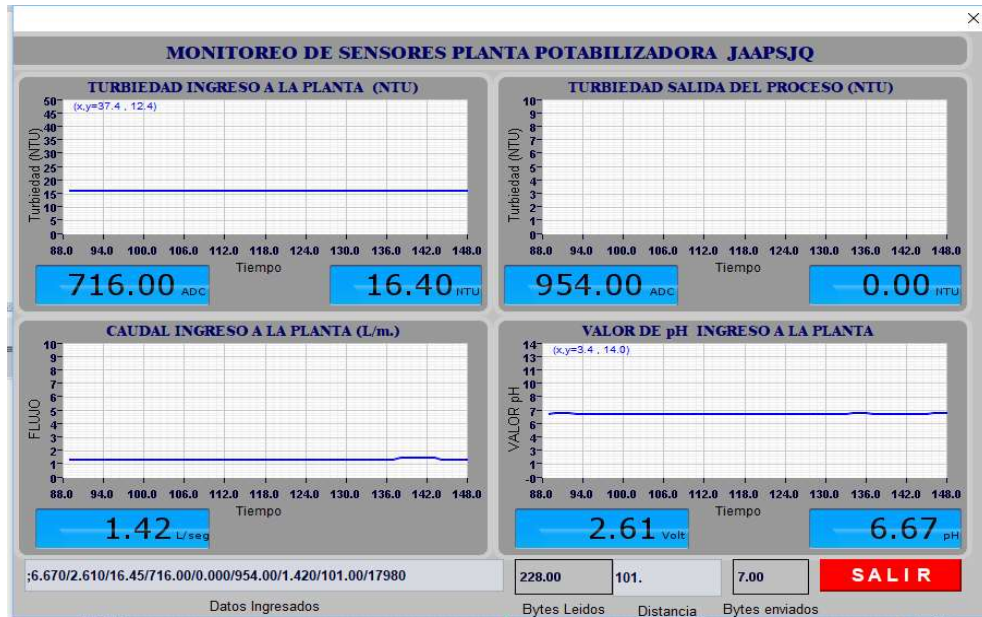
monitorea la turbiedad del tanque de reserva del agua procesada, que está lista para la distribución y el estado del nivel del tanque representado en porcentaje.



**Figura N° 6.23:** Interfaz Gráfica opción planta  
**Fuente:** Wilmer Conde

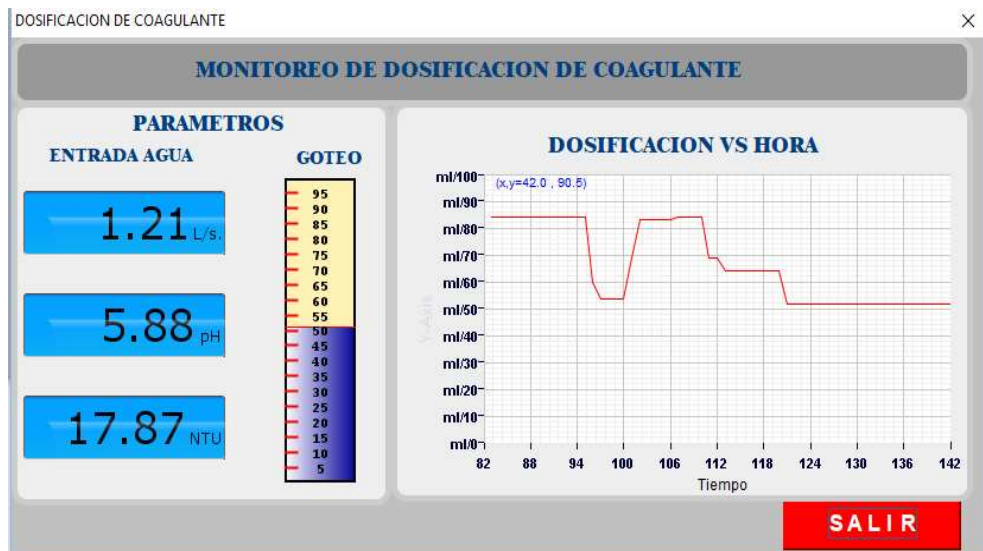
A más de la alarma visible se ideó una alarma común audible al exterior, tal es el caso si se presenta un valor inapropiado en los parámetros monitoreados se accionará la alarma común que pueda alertar al operador y si está a su alcance realizar una acción correctiva, El código de la interfaz gráfica PLANTA se observa en el anexo 3 donde se detalla los rangos altos y bajos de las diferentes variables de la planta.

La opción sensores se muestra en el gráfico N° 6.24 esta interfaz permite analizar el comportamiento de las variables medidas respecto al tiempo y tomar correcciones si es necesario, el código contiene la comunicación serial como la clasificación de datos de entrada que ya se detalló anteriormente.



**Figura N° 6.24:** Interfaz Gráfica opción Sensores  
**Fuente:** Wilmer Conde

La opción dosificación se observa en el grafico N° 6.25 que contiene los valores de las variables que ingresan al controlador fuzzy y su respuesta respecto al tiempo, el código de la interfaz se detalló anteriormente.



**Figura N° 6.25:** Interfaz Gráfica opción dosificación  
**Fuente:** Wilmer Conde

El interfaz HISTORICO que se observa en el grafico N° 6.26 permite visualizar, los datos de las variables del proceso de potabilización y guardar en un libro de cálculo tipo Excel, información que necesaria para realizar correcciones en la dosificación del coagulante.

DATOS DE CONTROLADOR

**REGISTRO DE DATOS**

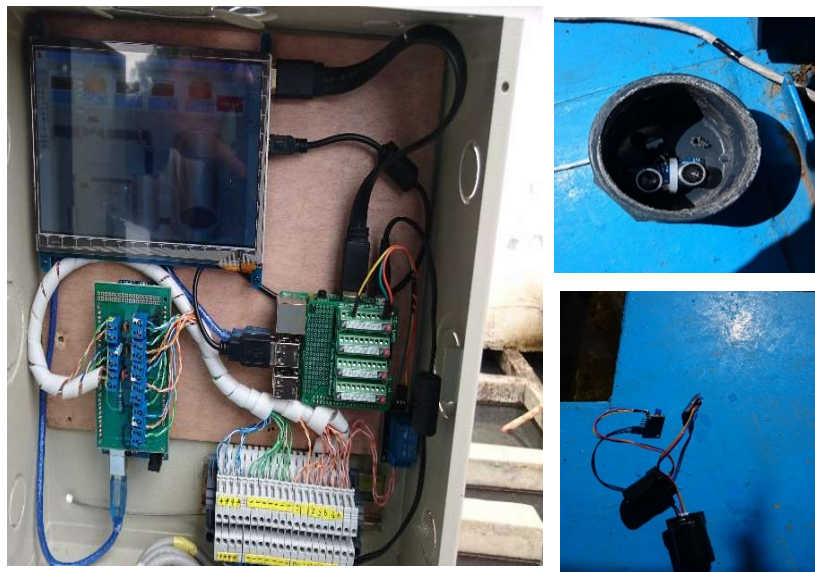
	TURBIEDAD IN			CAUDAL (L/m)			N° MUESTRA	DOSIFICACION			TANQUE (%)
	a0	a1	a2	a0	a1	a2		a0	a1	a2	
41.0	18.4	1.42	1.42	5.0	12.500000000	50.5					
42.0	18.4	1.42	1.42	6.0	12.500000000	50.5					
43.0	18.4	1.42	1.42	7.0	12.500000000	50.0					
44.0	18.4	1.42	1.42	8.0	12.500000000	50.0					
45.0	16.9	1.42	1.42	9.0	12.500000000	50.0					
46.0	16.5	1.42	1.42	10.0	12.500000000	50.5					
47.0	16.5	1.42	1.42	0.0	0.0	0.0					
0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.500000000	50.0					
49.0	16.5	1.42	1.42	0.0	0.0	0.0					
50.0	16.5	1.42	1.42	14.0	12.500000000	50.0					
51.0	16.5	1.42	1.42	15.0	12.500000000	50.5					
0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	12.957031551	50.5					
0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	12.957031551	50.5					
54.0	18.4	1.42	1.42	18.0	13.444413270	50.0					
55.0	18.4	1.42	1.42	19.0	13.444413270	50.0					
56.0	18.4	1.42	1.42	20.0	13.444413270	50.5					
57.0	18.4	1.42	1.42	21.0	13.703059718	50.0					
58.0	18.4	1.42	1.42	22.0	13.973894454	50.0					
59.0	18.4	1.42	1.42	23.0	13.973894454	50.0					
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
61.0	18.4	1.42	1.42	25.0	13.973894454	50.5					
0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	13.973894454	50.5					
0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	13.973894454	50.5					
64.0	18.4	1.42	1.42	0.0	0.0	0.0					
65.0	18.4	1.42	1.42	29.0	13.973894454	50.5					
66.0	18.4	1.42	1.42	30.0	13.973894454	50.5					

Buttons: GRABAR DATOS, ACTUALIZA DATOS, SALIR

**Figura N° 6.26:** Interfaz Gráfica opción Histórico  
**Fuente:** Wilmer Conde

#### 6.14 Implementación del prototipo de monitorización y control en la JAAPSJQ

Continuando con los objetivos del presente proyecto se instala los dispositivos electrónicos sensores, tarjeta de adquisición de datos, ordenador (raspberry pi) con su monitor en un gabinete como se observa en la figura N° 6.27, además se muestra el preámbulo antes de las pruebas de funcionamiento del sistema de monitorización y control en la planta potabilizadora.



**Figura N° 6.27:** Instalación de dispositivos electrónicos  
**Fuente:** Wilmer Conde

A continuación, se inicia con las pruebas correspondientes del sistema propuesto, para efecto de comparación estadística se define como ***dosificación habitual o manual***, a la práctica diaria del operador que consiste en, un ajuste de la dosificación al inicio de la jornada, al sistema de monitorización y control se lo denomina como ***dosificación automática***, y para temas investigativos como recolección de datos y familiarización de las magnitudes medidas en el tablero de control y aprovechando la colaboración del operador de la planta se lo denomina ***dosificación por pruebas***.

### 6.15 Procedimiento para las pruebas del sistema propuesto y el sistema actual.

En primera instancia el sistema propuesto solo servirá para recolectar la información valedera, comprendiendo que la planta no dispone de dispositivos de medición, después de haber instalado el tablero con sus respectivos sensores, se coordinó con el operador de la planta para que, se dosifique según la medición de los sensores instalados y se registre los datos de turbiedad de ingreso, pH, caudal, dosificación realizada y estado del tanque de almacenamiento, cada 10 minutos, obteniendo los resultados que se muestra en la tabla N°6.11.

**Tabla N°6.11:** Datos recolectados durante jornada de trabajo forma manual.

Hora	Caudal (ltr/s)	Turbiedad (NTU)	Dosificación (ml/min.)	pH	Tanque de reserva (%)
9h00	1,27	15,20	60,00	5,9	65,25
9h10	1,56	16,80	60,00	6,3	52,34
9h20	1,41	24,27	80,00	5,4	50,31
9h30	1,47	19,20	70,00	6,5	72,21
9h40	1,47	16,27	60,00	6,5	73,24
9h50	1,37	21,33	90,00	6,5	80,24
10h00	1,37	19,20	75,00	6,8	75,22
10h10	1,37	19,20	60,00	6,8	58,25
10h20	1,42	17,07	60,00	6,5	45,2
10h30	1,92	23,20	90,00	6,3	55,62
10h40	1,57	14,67	50,00	6,6	61,32
10h50	1,36	12,27	40,00	6,2	65,32
12h00	1,46	18,67	60,00	6,4	70,15

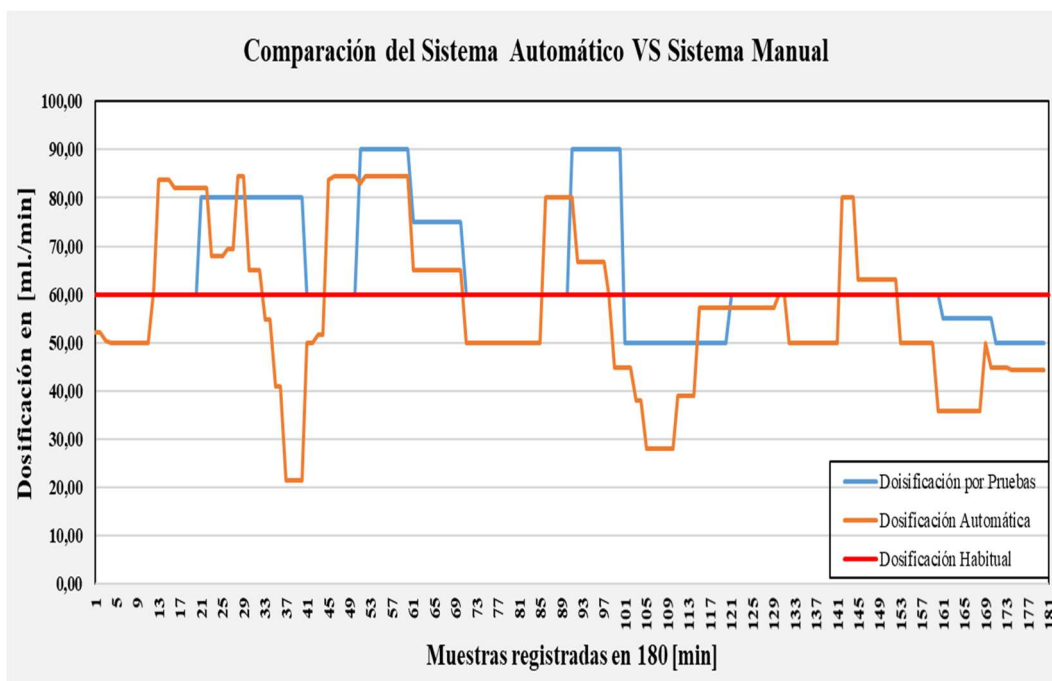
12h10	1,38	18,93	60,00	6,4	70.5
12h20	1,47	14,67	60,00	6,4	68.70
12h30	1,58	14,67	60,00	6,4	65.5
12h40	1,47	13,07	55,00	6,4	65
12h50	1,47	13,50	55,00	6,5	65,14

**Fuente:** Wilmer Conde

Como era de esperarse existe variación de las variables que intervienen en la dosificación como muestra en la tabla N° 6.13. Para que sea posible corroborar también se registra los datos en la aplicación que permite guardar las variables en intervalos de 1 minuto, considerando aproximadamente 180 muestras para un lapso de 3 horas, datos que fueron guardados para el análisis correspondiente.

### 6.15.1 Pruebas de funcionamiento sin dosificar

De los datos recolectados se muestra en la en la figura 6.28, la dosificación de forma habitual y automática en un periodo de 3 horas, que son de interés para análisis posteriores,



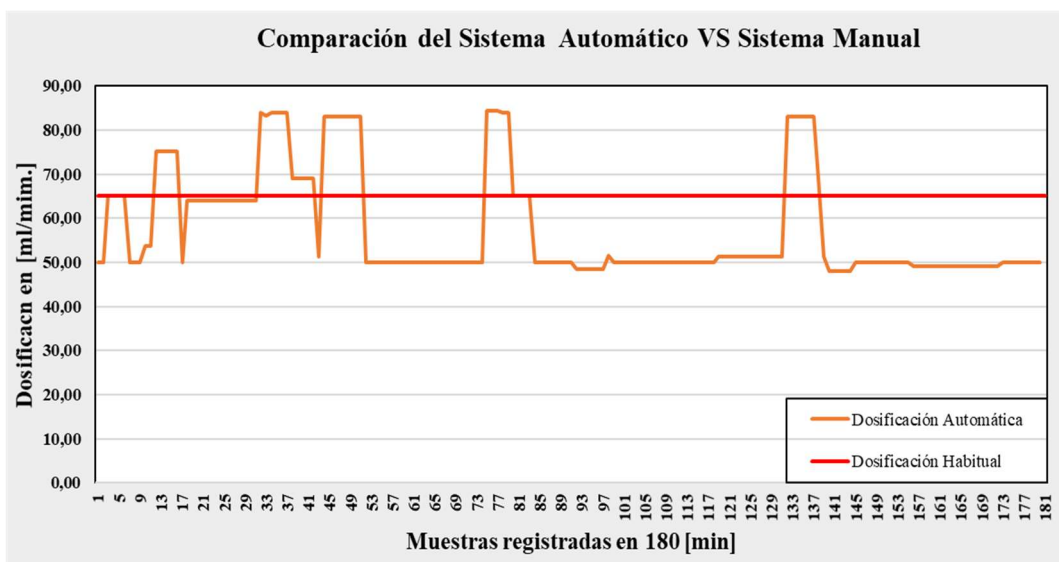
**Figura N° 6.28:** Pruebas de Sensores sin dosificación automática.

**Fuente:** Wilmer Conde

Es importante aclarar que por razones investigativas se registra los datos cada 10 minutos, que en la práctica el ajuste de la dosificación se realiza al inicio y final de la jornada del operador, además esta experiencia permite demostrar a los directivos de la Junta administradora de potable que el caudal, la turbiedad no son constantes, por ende, la dosificación tiende a variar. Al no realizar las pruebas la dosificación permanecería en 60 ml por minuto durante toda la jornada de trabajo del operador.

### 6.15.2 Pruebas de funcionamiento dosificando

Continuando con las pruebas se habilita el actuador para analizar el comportamiento en la dosificación del coagulante de forma automática, se aplica el mismo procedimiento detallado anteriormente obteniendo los resultados que se muestra en la figura 6.29, 6.30 y 6.31 respectivamente.

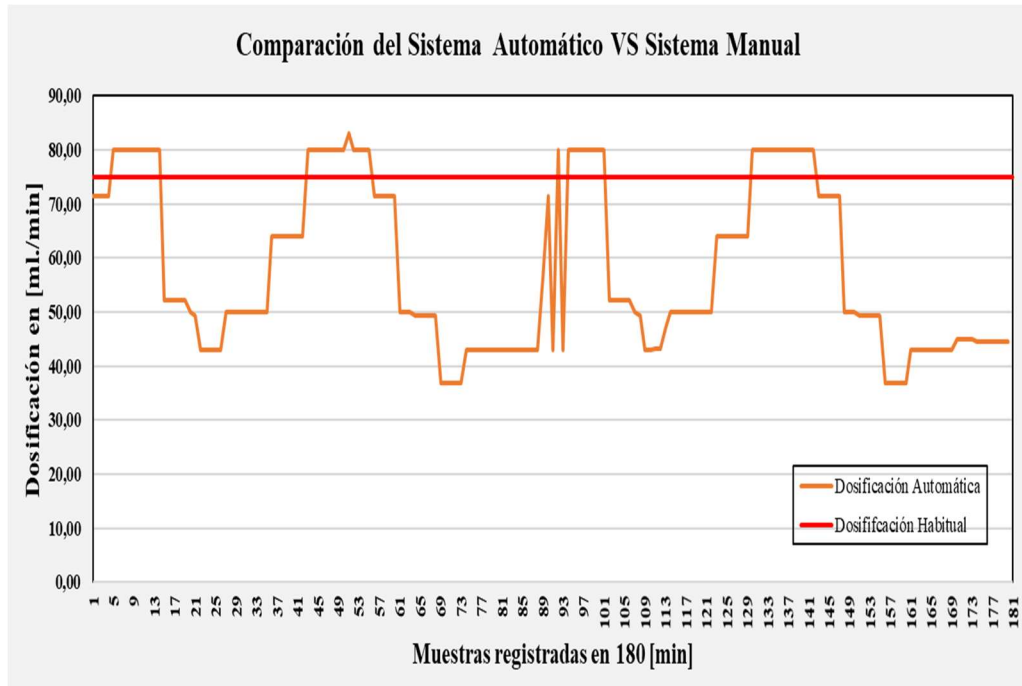


**Figura N° 6.29:** Pruebas de dosificación automática primera prueba.

**Fuente:** Wilmer Conde

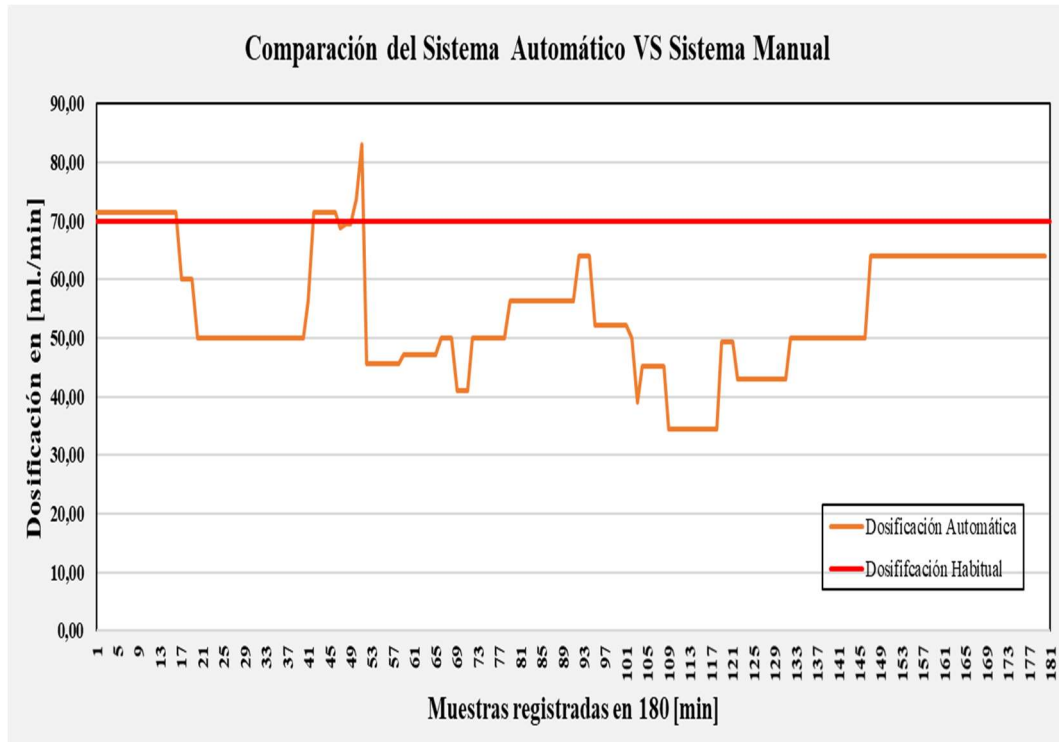
La figura 6.29 muestra la diferencia de una dosificación habitual que se realiza en forma manual para el caso de la prueba correspondería a una dosificación constante de 65 ml por minuto que equivaldría al 100 % de la dosificación a diferencia de la dosificación automática que frecuentemente se alimenta de la información de los sensores para actuar según convenga, para el caso de la prueba realizada la dosificación se mantuvo mayor tiempo en los 50 ml por minuto,

generando un ahorro de coagulante 10.81 % respecto a la dosificación habitual obteniendo el resultado físico muy similar al de la dosificación habitual.



**Figura N° 6.30:** Pruebas de dosificación automática segunda prueba.  
**Fuente:** Wilmer Conde

Se puede evidenciar en la figura 6.30 la dosificación asignada para el día sería de 75 ml por minuto que correspondería al 100 % de la dosificación en el periodo de prueba, y al aplicar el sistema automático se genera múltiples variaciones en el periodo de prueba, obteniendo una diferencia de 22.23 % de coagulante no utilizado en el periodo de prueba, manteniendo los resultados físicos esperados en la etapa de coagulación, es importante mencionar que las pruebas se realizan en diferentes periodos de tiempos designados por los directivos de la junta administradora de Agua potable, argumentando que solo en tiempo invernal se produce la variación de la turbidez.



**Figura N° 6.31:** Pruebas de dosificación automática tercer prueba.  
**Fuente:** Wilmer Conde

En la figura 6.31 muestra la dosificación asignada de forma habitual de 70 ml por minuto que equivale al 100% del periodo de prueba, verificando la situación cambiante de la dosificación en el periodo de prueba, obteniendo una diferencia de 21.56 % de coagulante no utilizado.

### 6.16 Comparación técnica y físicas de los sistemas.

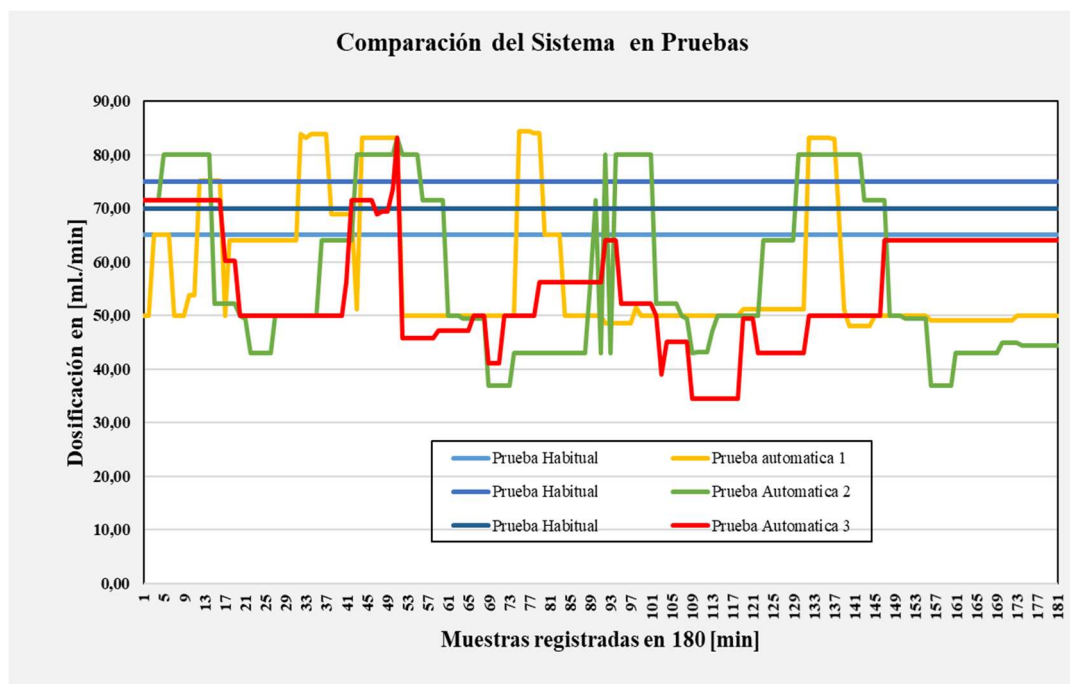
El sistema de monitorización y control automático está en la capacidad de alertar al operador, cuando las variables monitoreadas no se encuentren en los parámetros establecidos para el buen funcionamiento de la planta, además suministra el coagulante considerando la inestabilidad de los parámetros como Turbiedad, caudal y sobre todo tiene la capacidad de cubrir otras necesidades en los subprocesos que la planta potabilizadora si a futuro lo requiere.

La posibilidad que el operador realice el ajuste 3 o 4 veces al día los días laborables, es muy desgastadora rutinaria y descuidaría otras tareas que las



desarrolla habitualmente, y a más de ello considerando que la medición de los parámetros que intervienen en la coagulación lo realiza de forma manual.

Es evidente la utilidad de un sistema automático que permita la dosificación adecuada del coagulante y a la vez monitorizar los parámetros del agua, como se observó en las pruebas realizadas existe variaciones de las características del agua que incide en la dosificación se representa en el grafico N° 6.32 la variación de la dosificación automática en el periodo de pruebas.



**Figura N° 6.32:** Pruebas de dosificación automática  
Fuente: Wilmer Conde

### 6.17 Comprobación de la hipótesis del sistema de monitorización y control automático en la JAAP.

La hipótesis planteada para el presente trabajo de investigación manifiesta.

“La veracidad de un sistema de monitorización y control establece diferencia respecto a la práctica manual en el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP).”

Para la validación práctica de la hipótesis se realiza, a) un análisis descriptivo de los gráficos obtenidos en las pruebas reales aplicadas en el campo con los sistemas

habitual de forma manual y el sistema automático, b) se aplicará la distribución de Chi cuadrado para validar la diferencia de aplicar un sistema automático.

### 6.18 Análisis de los sistemas Tradicional manual VS. Sistema de monitorización y control Automático.

Para el análisis se considera la cantidad de coagulante dosificado durante las pruebas realizadas, a) forma habitual, una revisión y ajuste en la mañana, b) forma automática.

*Tabla N°6.12: Diferencia de dosificación entre una habitual vs Automática.*

Pruebas realizadas	Dosificación automática [%]	Dosificación habitual [%]	Diferencia [%]
Primera 180[min]	95,54	100	4,46
Segunda 180[min]	88,70	100	11,30
Tercera 180[min]	77,34	100	22,66
Cuarta 180[min]	78,44	100	21,56

**Fuente:** Wilmer Conde

En la Tabla N° 6.12 muestra la diferencia de coagulante que se genera al utilizar la dosificación automática, resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el campo consiguiendo los mismos resultados físicos que la dosificación manual.

### 6.19 Aplicación del chi cuadrado para la validación de la hipótesis de las pruebas de campo realizadas.

Para realizar el cálculo se fundamenta en la información obtenida a través de las practicas realizas en el campo.

Para la verificación de la hipótesis planteada en el presente proyecto es necesario calcular el valor de Chi-Cuadrado, con la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$X^2$ = Chi Cuadrado

$\Sigma$  = Sumatoria

$O_i$ = Datos observados

$E_i$  = Datos esperados

Para la comprobación de la hipótesis se relacionó la dosificación suministrada de forma automática respecto a la dosificación habitual en porcentaje como se representa en la tabla N° 6.12 y continuando con el procedimiento se analiza los grados de libertad para luego definir el nivel de significancia.

### Grados de libertad

$$(gl) = (f - 1) (c - 1)$$

Reemplazando

$$(gl) = (\text{fila} - 1) (\text{columnas} - 1)$$

$$(gl) = (f - 1) (c - 1)$$

$$(gl) = (4 - 1) (2 - 1)$$

$$(gl) = (3) (1)$$

$$(gl) = 3$$

### Nivel de significancia del 5% o 0,05

El valor teórico del Chi Cuadrado ( $X^2$ ) con 3 grados de libertad y un nivel de significación del 5% o 0,05 se obtiene un valor 7.81 para determinar la zona de aceptación y rechazo con la ayuda del software. (software PQRS), se observa en la figura N° 6.30 el valor establecido donde:

$$X^2 = 7.81$$

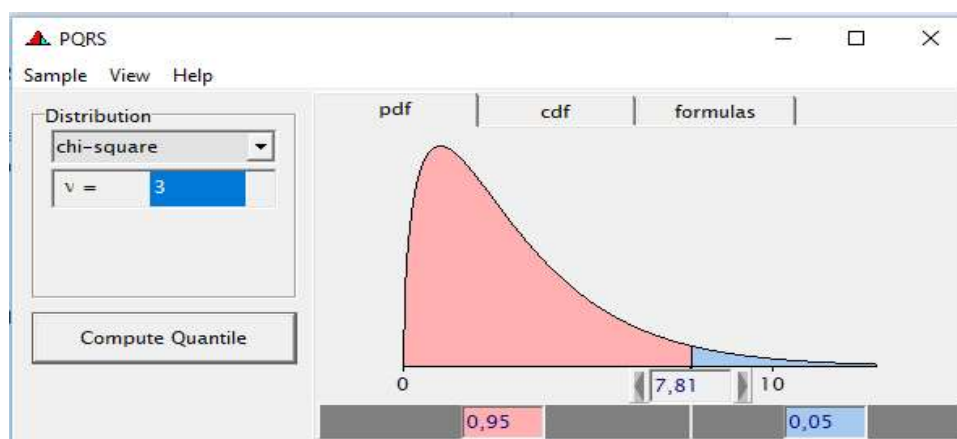


Figura N° 6.33: Establece zona de aceptación o rechazo

Fuente: Wilmer Conde

Determinado el valor teórico del Chi-cuadrado se establece las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas en base a los datos proporcionados por la tabla N° 6.13 que es un resumen de las pruebas realizadas en campo.

**Tabla N°6.13:** Base para calcular frecuencias observadas y esperadas.

Parámetros	Dosificación Aplicada		TOTAL
	Dosificación automática	Diferencia dosificación	
Primera Prueba	95,54	4,46	100
Segunda Prueba	88,7	11,3	100
Tercera Prueba	77,34	22,66	100
Cuarta Prueba	78,44	21,56	100
<b>TOTAL</b>	<b>340,02</b>	<b>59,98</b>	<b>400</b>

**Fuente:** Wilmer Conde

Para determinar la relación de la frecuencia esperada se aplica la siguiente relación.

$$f_e = \frac{(Total\ marginal\ del\ renglon) * (Total\ marginal\ de\ la\ columna)}{Total\ de\ observaciones}$$

Se procede a calcular las frecuencias teóricas correspondientes a cada frecuencia observada obteniendo el resultado los valores expuestos en la tabla 6.13.

**Tabla N°6.14:** Calculo de Chi-Cuadrado

Parámetros	Frecuencias observadas O	Frecuencias esperadas E	(O-E)	(O-E)2	(O-E)2/E
Dosificación Automática	95,54	85,01	10,54	110,98	1,306
Diferencia de Dosificación	4,46	15,00	-10,54	110,98	7,402
Dosificación Automática	88,7	85,01	3,69	13,65	0,161
Diferencia de Dosificación	11,3	15,00	-3,695	13,65	0,911

Dosificación Automática	77,34	85,01	-7,665	58,75	0,691
Diferencia de Dosificación	22,66	15,00	7,665	58,75	3,918
Dosificación Automática	78,44	85,01	-6,565	43,099	0,507
Diferencia de Dosificación	21,56	15,00	6,57	43,099	2,874
<b><math>X^2c</math></b>					<b>17,769</b>

**Fuente:** Wilmer Conde

El valor de  $X^2$  teórico para un margen de error de 5% y 3 grados de libertad es de 7.81 y el valor obtenido del cálculo de  $X^2c$  es 17.769 se determina que  $X^2 > X^2c$  con esa conclusión se toma la decisión.

#### **Decisión.**

Condición lógica de decisión

Si  $X^2 > X^2c \Rightarrow H_0$  es rechazada y  $H_1$  es aceptada.

Se acepta  $H_1$  que manifiesta

La veracidad de un sistema de monitorización y control **SI** establece diferencia respecto a la práctica manual en el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (JAAP), de los análisis realizados y los resultados obtenidos en las pruebas de campo se puede afirmar que el monitorización y control de las JAAP, fomentaría un ahorro económico, al reducir la cantidad de coagulante que utilizan de forma habitual como se representa en la tabla 6.15. optimizando los recursos.

## **6.20 Recursos administrativos**

### **6.20.1 Recursos económicos**

La tabla N° 6.16 muestra el detalle de materiales, recursos humanos con su respectivo costo que se invirtió para el desarrollo del presente proyecto.

**Tabla N°6.15: Presupuesto para ejecución del proyecto**

<b>PRESUPUESTO PROYECTO</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UN</b>	<b>CANT.</b>	<b>UNIT.</b>	<b>TOTAL.</b>
<b>MATERIALES</b>					
M-1	Tarjeta de adquisición de datos	U	1,0	\$ 118,69	\$ 118,69
M-2	Sensor de pH	U	1,0	\$ 51,25	\$ 51,25
M-3	Sensor de turbiedad	U	2,0	\$ 72,30	\$ 44,60
M-4	actuador de dosificación	U	1,0	\$ 82,36	\$ 82,36
M-5	sensor de caudal 2"	U	1,0	\$ 85,39	\$ 85,39
M-6	Tablero de control	U	1,0	\$ 180,60	\$ 80,60
M-7	Display 7" (Visualización) touch	U	1,0	\$ 95,34	\$ 95,34
M-8	Raspberry pi con borneras de conexión	U	1,0	\$ 114,32	\$ 114,32
M-9	Movilización Compra de Materiales	U	1,0	\$ 80,00	\$ 80,00
M-10	Movilización a la planta para pruebas	U	6,0	\$ 15,00	\$ 90,00
<b>MANO DE OBRA</b>					
MO B-1	Calibración de sensores	U	1,0	\$ 350,00	\$ 350,00
MO B-2	Desarrollo de proyecto (20 Horas al Mes)	U	7,0	\$ 170,00	\$1.190,00
MO B-3	Materiales de Papelería (impresiones-carpetas-copias)	U	1,0	\$ 100,00	\$ 100,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$2.682,55</b>

**Fuente:** Wilmer Conde

### 6.20.2 Análisis para recuperación de capital invertido

Para obtener el tiempo estimado en el que la junta administradora agua potable recuperaría su inversión, se parte de las pruebas realizadas calculando un valor promedio de ahorro de coagulante en el periodo de pruebas desarrollado en el presente proyecto, que se muestra en la tabla N° 6.16.

**Tabla N°6.16: Valor promedio de coagulante**

<b>Pruebas realizadas</b>	<b>Dosificación habitual [ml]</b>	<b>Dosificación automática [ml]</b>	<b>Diferencia [ml]</b>	<b>Promedio [ml]</b>
Primera 180[min]	10860	10375,21	484,79	
Segunda 180[min]	11765	10435,40	1329,60	1329,60
Tercera 180[min]	13575	10498,77	3076,23	1746,63

Cuarta 180[min]	12670	9938,75	2731,25	984,62
<b>Valor del promedio en 3 horas</b>				<b>1353,62</b>

**Fuente:** Wilmer Conde

Una vez determinado el valor promedio de coagulante ahorrado en 3 horas, se utiliza valor promedio para proyectar el ahorro en un día y luego en los días necesarios que se recuperaría la inversión, valores que se detalla en la tabla N° 6.17

**Tabla N°6.17: Ahorro de coagulante en días**

Promedio de Ahorro en 24 horas [ml]	Promedio de Ahorro en 24 horas [l]	Ahorro en 1245 días [l]
10828,93	10,83	13482,02

**Fuente:** Wilmer Conde

Se conoce que el costo del coagulante puro es de 40 USD y es mezclado con agua en un recipiente formando un volumen aproximado de 200 litros como se muestra en la figura N° 6.34, siendo el coagulante mezclado el que se dosifica en la etapa de coagulación-floculación, que es renovado conforme se termina la mezcla.



**Figura N° 6.34: Mezcla de Coagulante**  
**Fuente:** Wilmer Conde

Con la información detallada anteriormente se puede obtener la cantidad de mezclas ahorradas dividiendo el ahorro de coagulante en días estimados entre el volumen de mezcla y conociendo el costo del coagulante se determina el valor recuperado que se muestra en la tabla N° 6.18.

**Tabla N°6.18: Inversión recuperada**

<b>Cantidad de mezclas ahorradas en 1245 días [Un.]</b>	<b>Costo del envase coagulante [USD]</b>	<b>Valor recuperado[USD]</b>
67,41	\$ 40,00	\$ 2.696,40

**Fuente:** Wilmer Conde

La recuperación de la inversión se estima que se realizaría en su totalidad en un periodo de 3 años 150 días.

## **6.21 Conclusiones**

Objetivo 1:

- Los dispositivos como sensor de turbiedad, pH, flujo, distancia, microcontrolador Node MCU, ordenador Raspberry Pi, seleccionados en el presente proyecto se consideró como aspecto principal su bajo coste económico y que cumplan satisfactoriamente con lo propuesto, presentar una opción económica para monitorización y control en las JAAP.

Objetivo 2:

- La acción de control establecida proporciona un razonamiento aproximado que se sustentó en la experiencia del operador obteniendo buenos resultados, es utilizado sistemas similares pero industriales como también en ámbitos como electrónica de entrenamiento, sistemas de diagnóstico, procesos industriales.

Objetivo 3:



- El diseño de la interfaz se lo realizó lo más simple e intuitiva para que el operador se familiarice rápidamente, y sobre todo alerte en el caso de alguna anomalía en el funcionamiento de la planta.

#### Objetivo 4:

- Se instaló el prototipo de monitorización y control, se realizaron las pruebas correspondientes obteniendo resultados satisfactorios, que permitió detectar el desperdicio de coagulante en la dosificación constante.
- Focalizado en los bajos recursos económicos que cuentan las JAAP, la plataforma en la que se realizó el monitorización y control es desarrollado bajo código abierto de libre distribución, consume bajos recursos computacionales tienen sus limitaciones respecto a software licenciados, pero para aplicaciones como la del presente proyecto funciona muy bien y puede ser instalado en cualquier ordenador.
- En las pruebas realizadas se constató que el sensor de pH presenta perturbaciones de medición cuando existe turbulencias de agua, para corregir este inconveniente fue necesario adecuar el espacio y evitar las turbulencias.
- El prototipo desarrollado cubre otra necesidad de la JAAP como es de mantener informado al operador el estado del nivel del tanque de distribución y alertar en caso de desbordamiento o estado mínimo.
- El prototipo tiene sus limitaciones, pero cubre necesidades importantes como es el de optimizar el uso de coagulante, evitar desbordamientos de agua del tanque de distribución, disponer de elementos de medición visuales que posibilita comparar y realizar correcciones si es necesario.
- La inversión para la implementación es recuperable en un tiempo aproximado de tres años y medio obtenida del ahorro de coagulante, además de obtener otras ventajas con el sistema.

## 6.22 Recomendaciones.

- Se recomienda utilizar software de código abierto como sus dispositivos electrónicos que las integran tiene sus limitaciones, pero cubren necesidades de monitorización y control que por aspectos económicos no pueden ser costeados como es el caso de las JAAP.
- Consideren las JAAP una alternativa de inversión que se recupera en el transcurso del tiempo cerrando algunas deficiencias que la limitación de equipos de medición las genera.
- Analizar y acondicionar un espacio donde se desee implementar el sistema, considerando que los equipos electrónicos no son de uso industrial para obtener un adecuado funcionamiento.
- Proporcionar un monitor más grande que permita visualizar de mejor manera la interfaz gráfica.
- Considerar un mantenimiento preventivo de los equipos para garantizar un correcto funcionamiento.

## REFERENCIAS

- Andía, Y. (2000). TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN. SEDAPAL, 1-44.
- Angulo-Sogamoso, K. V., Gil-Sierra, D. G., & Salcedo-Parra, O. J. (2017). Optimización utilizando lógica difusa de dispositivo de análisis de componentes químicos de ingredientes naturales basados en el internet de las cosas IoT. *Revista científica*, 3(30), 207. <https://doi.org/10.14483/23448350.11586>
- Aron Semle, K. (2016). Protocolos IIoT para conciderar. *AADECA*, 32-35.
- Augusto, C. (11 de junio de 2019). Steemit. Obtenido de <https://steemit.com/spanish/@autinf/la-piramide-de-automatizacion>
- Baire, M., Melis, A., BrunoLodi, M., Fanti, A., & Mazzarella, G. (2018). Study and Design of a Wireless Sensors Network for the Optimization of Bread Manufacturing Process. 2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR), 1-4. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2018.8612060>
- Bal, M. (2014). Industrial applications of collaborative Wireless Sensor Networks: A survey. 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 1463-1468. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2014.6864830>
- Balasubramaniyan, C., & Manivannan, D. (2016). IoT Enabled Air Quality Monitoring System (AQMS) using Raspberry Pi. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(39). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/90414>
- Benito, J. G., & Merino, M. T. J. (2002). EL PROBLEMA DE LA TOMA DE MUESTRAS EN AGUAS. 4, 11.
- Bokoba, I. (22 de Marzo de 2016). <http://www.unesco.org>. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2016/>
- Cárdenas, A. (2016, noviembre 28). ¿Qué es una plataforma IoT? Recuperado 16 de julio de 2019, de Secmotic website: <https://secmotic.com/plataforma-iot/>

- Centro de Ciberseguridad Industrial. (11 de junio de 2019). [www.CCI-es.org](http://www.CCI-es.org). Obtenido de <https://www.cci-es.org/documents/10694/304600/Guia+Bolsillo+-+Piramide+de+Automatizacion+Industrial.pdf/4d210379-b950-4d42-82fb-81a271113104>
- Cesar Augusto. (2018, junio). La Pirámide de Automatización — Steemit. Recuperado 16 de julio de 2019, de <https://steemit.com/spanish/@autinf/la-piramide-de-automatizacion>
- Chanthakit, S., & Rattanapoka, C. (2018). MQTT Based Air Quality Monitoring System using Node MCU and Node-RED. 2018 Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICT-ISPC.2018.8523891>
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 0(029), 153. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Cingolani, P., & Alcalá-Fdez, J. (2013). jFuzzyLogic: A Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(sup1), 61-75. <https://doi.org/10.1080/18756891.2013.818190>
- Comisión Nacional del Agua (México), & Subdirección General de Agua Potable, D. y S. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento MAPAS. CONAGUA SEMARNAT.
- Consejería de Sanidad. (2009). Manual de tratamientos del agua de consumo humano. Junta de Castilla y León, 106.
- Corrales, L. (2016). Automatización. Ambato.
- EMAAP-Q. (2007). NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q. PROGRAMA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, 202.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos. (22 de 1 de 2019). Obtenido de [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/):

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/mamdanir.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/mamdanir.htm)

- Espinosa, F. (2015). ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LOS SISTEMAS COMUNITARIOS DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PESILLO -IMBABURA. UPS, 1-147.
- Flórez, J. M. C. (2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. 10.
- García, R. J., Torres, J. M., Pinto, A. D., González, J. A., Rengel, J. E., Pérez, N. A., ... Pérez, N. A. (2017). Diseño de una estrategia de control difuso aplicada al proceso de ultracongelación de alimentos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(1), 70-84. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000100070>
- Gaviño, R. h. (2010). *Introduccion a los sistemas de Control*. Mexico: PEARSON EDUCACION.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. 10.
- Ibrahim, S. N., Hakim, M. S. L., Asnawi, A. L., & Malik, N. A. (2016). Automated Water Tank Filtration System Using LDR Sensor. 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 195-199. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.51>
- INEN 1108. (2014). AGUA POTABLE REQUISISTOS. NORMA TECNICA ECUATORIANA, 10.
- Internet de las Cosas | RS Components. (2019). Recuperado 16 de julio de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=i/iot-internet-of-things>
- Jaloudi, S. (2019). Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study. *future internet*, 1-19.

- Jaloudi, S. (2019). Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study. *Future Internet*, 11(3), 66. <https://doi.org/10.3390/fi11030066>
- K.Raghu Sita Rama Raju, G. k. (2017). Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT. *IEEE 7th International Advance Computing Conference*, 318-321.
- Khedkar, S., & Malwatkar, G. M. (2016). Using raspberry Pi and GSM survey on home automation. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 758-761. <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7754787>
- Kuo, B. (s.f.). *Sistemas de Control Automatico (SEPTIMA ed.)*. Mexico: EDIMSA S.A.
- Lagu, S. S., & Deshmukh, S. B. (2015). Raspberry Pi for Automation of Water Treatment Plant. *2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation*, 532-536. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2015.109>
- Lazaro, A. (2003). *Automatizacion Medioambiental*. Recuperado de [https://www.academia.edu/8273992/Automatizacion\\_Medioambiental](https://www.academia.edu/8273992/Automatizacion_Medioambiental)
- Marcó, L., Azario, R., & Metzler, C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*. 11.
- Matute, A., & Suárez, W. B. (2017). *Técnicas de Lógica Difusa en Ingeniería de Control*. 10.
- Merchant, H. K., & Ahire, D.D. (2017). Industrial Automation using IoT with Raspberry Pi. *International Journal of Computer Applications*, 168, 5.
- Namakfoosh, M. N. (2005). *Metodología de la Investigación*. MEXICO: LIMUSA S.A.
- Ogata, K. (2010). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

- OMS, O. M. (2002). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. OPS, organizacion panamericana de la salud, 862.
- Orellana, I. J. A. (2005). TRATAMIENTO DE LAS AGUAS. (2005), 123.
- Organizacion Mundial de la salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable (Tercera Edición). Suiza: Versión electrónica para la Web.
- Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Revista Tecnología en Marcha, 28(4), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>
- Ponsa, P., & Granollers, A. (2014). DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. 31.
- Quiroga, J. I. (2008). Instalacion de Sistemas de Automatizacion y Datos. ESPAÑA: UNIVERSIDAD DE VIGO. Obtenido de <http://www.diissa.uvigo.eess/>
- Raju, K. R. S. R., & Varma, G. H. K. (2017). Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT. 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC), 318-321. <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0075>
- Rodríguez, C., & Alfonso, D. (2007). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE 2 LTS/S PARA UNA POBLACION DE 750 HABITANTES. 22.
- Román-Herrera, C., Segura, L., Loza-Matovelle, D., & Dabirian, R. (2016). CONSTRUCCIÓN CON TECNOLOGÍA ABIERTA DE UN SENSOR DE TURBIDEZ DE BAJO COSTO. 13, 6.
- Salt Llobregat, J. J., Cuenca Lacruz, Á., Casanova Calvo, V., & Correcher Salvador, A. (2016). Control automático: Tiempo continuo y tiempo discreto.
- Santos, M. (2011). Un Enfoque Aplicado del Control Inteligente. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 8(4), 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.09.016>
- SCADA y la Industria 4.0. (2018, mayo 21). Recuperado 16 de julio de 2019, de CIC Consulting Informático website: <https://www.cic.es/scada-y-la-industria-4-0/>

- SECRETARÍA DEL AGUA. (2016). INSTRUCTIVO PARA CONFORMACION Y LEGALIZACION DE JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Secretaría del Agua. (23 de Marzo de 2016). PILAR II: ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LOS SERVICIOS. ESTRATEGIA NACIONAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, 50.
- Secretaría Nacional del Agua. (2015). NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. Quito.
- SENAGUA. (2013). NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. QUITO.
- SENAGUA. (2016). Estatuto Jaap. Formato De Estatuto Para Juntas Administradoras De Agua Potable Y Saneamiento..... QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Shkurti, L., Bajrami, X., Canhasi, E., Limani, B., Krrabaj, S., & Hulaj, A. (2017). Development of ambient environmental monitoring system through wireless sensor network (WSN) using NodeMCU and “WSN monitoring”. 2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 1-5. <https://doi.org/10.1109/MECO.2017.7977235>
- Silvan, R. S., & Canepa, J. R. L. (2012). MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES. 8.
- skynov. (10 de marzo de 2017). steemit.com. Obtenido de steemit.com: <https://steemit.com/spanish/@skynov/ciencia-para-curiosos-proceso-de-potabilizacion-del-agua-parte-1>
- Suresh, N., Balaji, E., Anto, K. J., & Jenith, J. (2014). RASPBERRY PI BASED LIQUID FLOW MONITORING AND CONTROL. 4.
- Tello, S. S. (2013). Sistemas Automaticos Industriales de Eventos Discretos. Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.



- Surmacz, T. (2013). Rapid Protocol Development in Wireless Sensor Networks Using Wireshark Plugins. En R. Moreno-Díaz, F. Pichler, & A. Quesada-Arencibia (Eds.), Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2013 (Vol. 8112, pp. 426-433). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-53862-9\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-642-53862-9_54)
- Torres, J. M. (11 de junio de 2019). docplayer. Obtenido de <https://docplayer.es/9231665-Comunicaciones-industriales-i-e-s-himilce-linares-departamento-de-electricidad-electronica-profesor-jose-maria-hurtado-torres-tema-1.html>
- Ulloa, M. Á. I., Calvo, I., Etxeberria-Agiriano, I., & González-Nalda, P. (2015). Principales Vulnerabilidades De Los Sistemas De Automatización Industrial Y Posibles Acciones Para Evitar Ciberataques. 9.

# ANEXOS

## ANEXO 1: Cuestionario dirigido a los dueños del proceso

Quito 19 de mayo de 2018

Este cuestionario, forma parte de un trabajo de investigación que se está realizando en la Universidad Técnica de Ambato, sobre la dosificación de coagulante en el proceso de potabilización de la JAAP

### Dirigida a: Los dueños del proceso

Sea amable de leer cuidadosamente las preguntas y contestarlas en el espacio dedicado para ellas con la sinceridad del caso, el fin es obtener un acercamiento profundo al problema que existe en el proceso de potabilización, su aporte es de suma importancia para lograr el objetivo planeado, los datos que se obtendrán son confidenciales e importantes solo para este estudio. Muchas Gracias por su colaboración.

#### 1) Responda Si o No

1.1 ¿La junta JAAP dispone de equipos tecnológicos en el proceso de potabilización?  
(.....)

1.2 ¿La dosificación de coagulante se ajusta a las condiciones cambiantes del proceso?  
(.....)

1.3 ¿Cree usted que la implementación de un sistema de control automático mejore el proceso de potabilización en la JAAP?  
(.....)

1.4 ¿La JAAP dispone de registro de variaciones diarias como PH, Turbiedad y caudal del agua?  
(.....)

1.5 ¿La dosificación actual permite cumplir con las normas mínimas de calidad de agua?  
(.....)

1.6 ¿Considera usted que la dosificación de coagulante es el proceso más importante en la potabilización del agua de la JAAP?  
(.....)

1.7 ¿Cree usted que la adición correcta de coagulante a través de un sistema control automático mejore el proceso de potabilización?  
(.....)

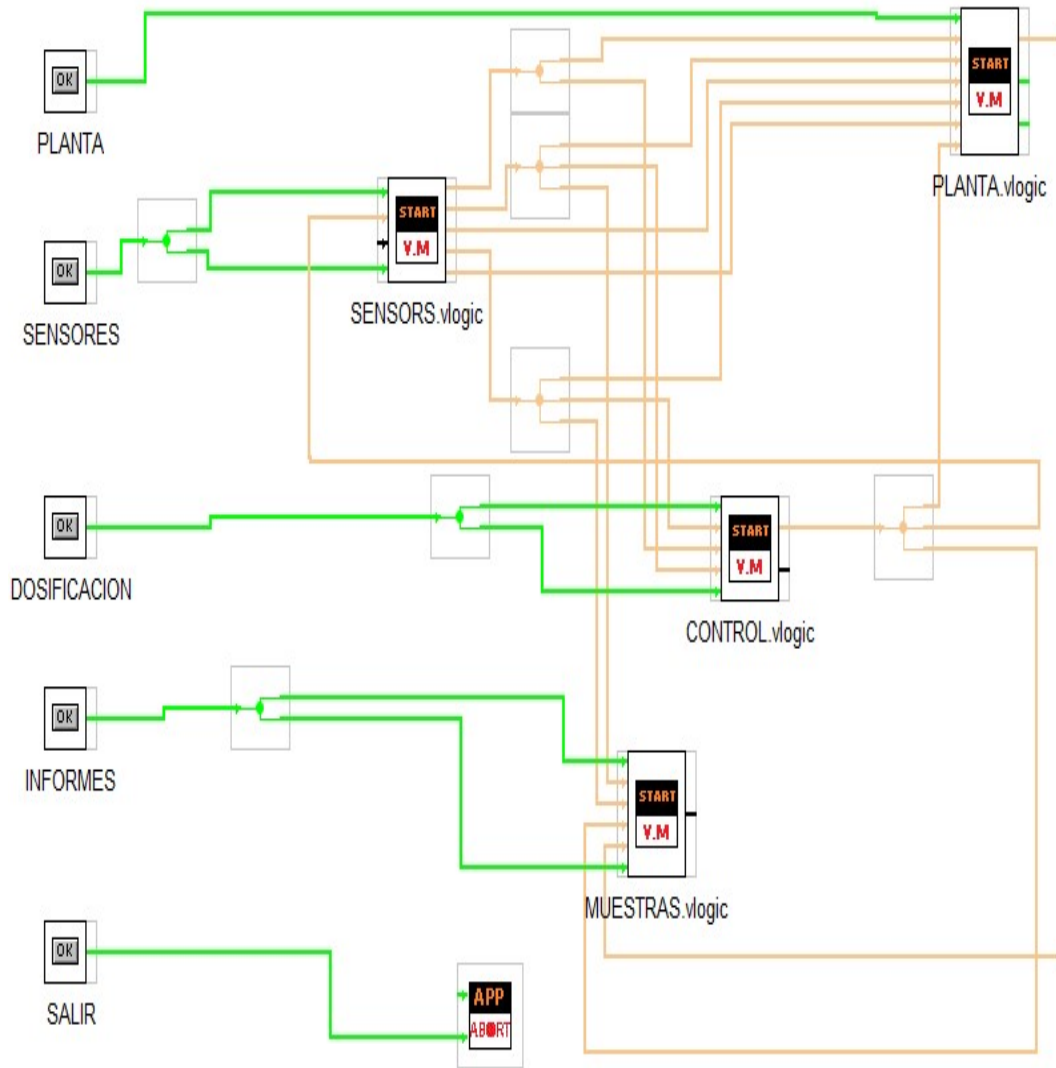
2) ¿Con que equipos de medición del agua cuenta la JAAP?

.....  
.....

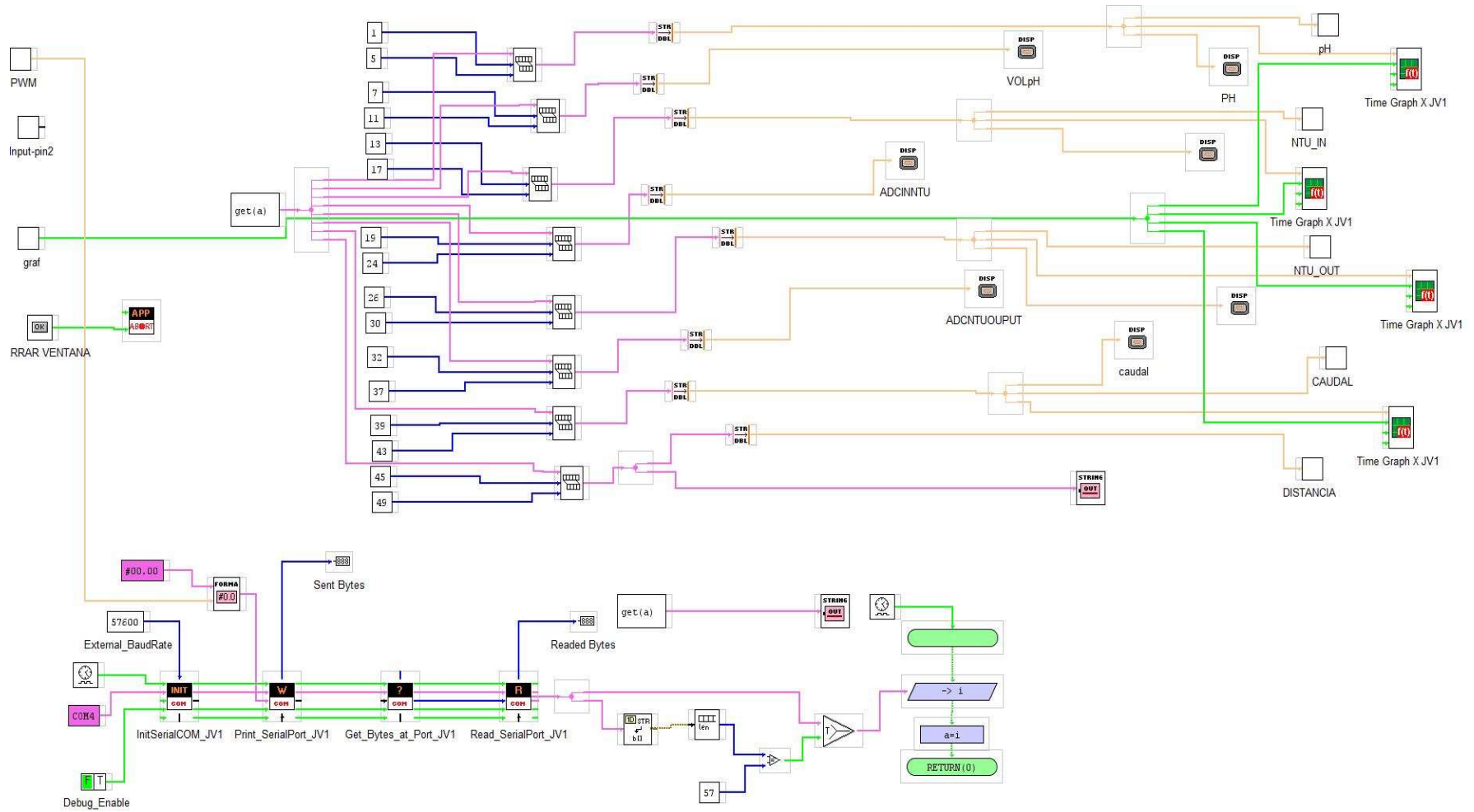
3) ¿Cómo regula la dosificación de coagulante?

.....

**ANEXO 2: Programa de Interfaz gráfica Principal en Myopenlab**



### ANEXO 3: Programa en adquisición de Datos Myopenlab



### ANEXO 3: Código de la interfaz gráfica de la planta

