

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**



TESIS

**FORMULACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO CON LÓGICA DIFUSA PARA
LOGRAR UNA EFICIENTE REDUCCIÓN DEL ARSÉNICO EN FUENTES
HÍDRICAS RURALES.**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

AUTOR:

FABRICIO HUMBERTO PAREDES LARROCA

ASESOR:

JIMMY ROSALES

LIMA - PERÚ

2021

PÁGINA REFERIDA AL JURADO CALIFICADOR DE LA TESIS.

Dedicatoria de la Tesis de
Investigación.

A mis Padres, a
Cristina y Esteban, por su
apoyo incondicional.

Agradecimiento de la Tesis de
Investigación.

A mi Universidad,
Profesores del Doctorado
y mis Colegas y amigos
por el apoyo en este
trabajo de investigación.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA

Fabricio Paredes Larroca con DNI: 10541033, cumpliendo con las normas y procedimientos generales para el otorgamiento del Grado Académico y Título a nombre de la Universidad Nacional de Ingeniería, Unidad de Doctorado en Ingeniería Industrial y de Sistemas, afirmo que toda la información escrita en este trabajo de investigación es verdadera con datos auténticos producto de la experimentación con la planta piloto para el tratamiento de agua automatizada.

Lima 14 de Octubre 2021.

A handwritten signature in blue ink that reads "Fabricio Paredes". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

Fabricio Paredes Larroca.

Descriptores Temáticos.

En el Capítulo I, presenta la problemática actual, trabajos previos realizados sobre esta problemática, documentos científicos que refrendan las teorías propuestas en este documento, la formulación principal del problema planteado, la justificación de la tesis de investigación, la hipótesis y los objetivos de la misma, se plantea un planta piloto automatizado para el tratamiento de agua con contaminantes, el esquema de la planta portátil propuesta para el tratamiento automatizado de agua, diseño e implementación de control de las bombas peristálticas utilizando el algoritmo de lógica difusa.

En el Capítulo II, se presenta la teoría sobre la lógica difusa, el algoritmo de control de la planta automatizada, la descripción del módulo de tratamiento del agua, el control de las bombas peristálticas, el sistema de tratamiento de agua, el esquema de la planta portátil propuesta y la implementación del controlador difuso.

En el Capítulo III, se abordan el diseño de investigación, las variables de operativas, así como la población y muestras obtenidas en el proceso de experimentación usando para ello técnicas para recolectar los datos, confirmando la validez y confiabilidad de estos, las herramientas utilizadas para el análisis y tratamiento de los datos y materiales utilizados para esta investigación, procesos para realizar la propuesta, instrumentos del sistema de procesamiento del agua.

En el Capítulo IV, se expone el análisis descriptivo, la prueba de hipótesis, cálculo de la eficiencia, la variable medida pH, ORP. Para el control de la planta de tratamiento de agua, la remoción del As(III) y As(V), con la justa la dosificación en línea al agua de tratamiento con ferrato(VI) y cloruro férrico, los costos estimados del agua tratada, resultados del controlador solar, trabajos

precedentes a la planta automatizada (planta INIA), el ion ferrato con respecto a la remoción de la turbidez, DBO_5 , Mercurio, Cadmio, Arsénico, plomo.

En el Capítulo V: Discusión de los datos obtenidos del diseño de la investigación.

En el Capítulo VI: Las conclusiones del sistema de procesamiento del arsénico en el agua, conclusiones del funcionamiento del controlador solar.

En el Capítulo VII: Las recomendaciones propuestas en este trabajo de investigación.

En el Capítulo VIII: Las referencias utilizadas en este trabajo de referencias.

En el Capítulo IX: Los anexos que refrendan las teorías en esta investigación, matriz de consistencia, las variables operativas, los datos para validar la confiabilidad del instrumento, resultados de la investigación eficiencia, productos obtenidos al realizar este trabajo de investigación, trabajos futuros como consecuencia de este trabajo de investigación.

Resumen de la investigación aplicada.

La investigación tiene por objetivo la remoción del Arsénico tipo (III) y Arsénico tipo (V) del agua. El líquido de ensayo es preparado de forma sintética cuyo nombre es de Bangladesh a la que le fue adicionada el arseniato y arsenito. Esta agua se utilizó como modelo porque presenta una composición de iones que interfieren con los procesos de remoción de arsénico basados en el uso del hierro. Esta investigación demuestra que es factible remover este tipo de arsénico que es potencialmente dañino para el consumo humano a través de un sistema de control basado en lógica difusa. La experimentación de este algoritmo es realizada en tiempo real al pasar el agua por una pequeña planta de agua controlada por un PLC Siemens 1500 y dos IOT 2040 que controlan las bombas dosificadoras del sistema. Para que el sistema pueda funcionar en zonas donde la electricidad es escasa o no existe se ha desarrollado adicionalmente se ha creado un controlador de carga de batería de plomo ácido

para soportar la electrónica de todo el sistema DC (corriente directa), la placa de este controlador ha sido desarrollado y diseñado utilizando el microcontrolador Atmega 328, así como la tarjeta de potencia con insumos que se pueden encontrar en el Perú y la carcasa del controlador difuso se ha fabricado con tecnología de impresión 3D.

El uso de este sistema de para el procesamiento del agua, se basa en la experiencia que fue obtenida en el año 2018 en el proyecto con fondos concursables del INIA en este escenario se ha procesado, el agua del río Rímac este prototipo de planta fue el inicio de como construir un sistema totalmente automatizado de forma compacta y que pueda llegar a más familias en donde las plantas procesadoras de agua potable no tienen planeado llegar a esos grupos poblacionales. La cantidad de experimentos realizados en este fondo concursable abrió una ventana para el desarrollo y una nueva concepción del sistema de potabilización de agua para ello, se planteó la idea de procesar el agua más contaminada para el consumo humano que se conoce hasta ahora, el agua de Bangladesh, para poder obtenerla se crea artificialmente replicándose con los componentes que la contiene creando un tipo de agua llamada sintética y el objetivo es remover el arsénico inorgánico añadida al agua subterránea de Bangladesh (SBGW).

Palabras clave: Lógica difusa, control de IoT, arsenito, arsenato, ferrato (VI), cloruro férrico.

Abstract

The objective of the investigation is to remove type (III) and type (V) Arsenic from water. The test liquid is prepared in a synthetic way whose name is from Bangladesh to which arsenate and arsenite were added. This water was used as a model because it has a composition of ions that interfere with the arsenic removal processes based on the use of iron. This research shows that it is feasible to remove this type of arsenic, which is potentially harmful for human consumption, through a control system based on fuzzy logic. The experimentation of this algorithm is carried out in real time by passing the water through a small water plant controlled by a Siemens 1500 PLC and two IOT 2040 that control the dosing pumps of the system. In order for the system to function in areas where electricity is scarce or non-existent, a lead acid battery charge controller has been created to support the electronics of the entire DC system (direct current), the board of this The controller has been developed and designed using the Atmega 328 microcontroller, as well as the power card with inputs that can be found in Peru and the fuzzy controller housing has been manufactured with 3D printing technology.

The use of this system for water processing is based on the experience that was obtained in 2018 in the project with competitive funds from INIA, in this scenario, the water from the Rímac river has been processed, this plant prototype was the beginning of how to build a fully automated system in a compact way that can reach more families where drinking water processing plants do not plan to reach those population groups. The number of experiments carried out in this competitive fund opened a window for development and a new conception of the water purification system for this, the idea of processing the most contaminated water for human consumption that is known until now, water from Bangladesh, in order to obtain it, it is artificially created by replicating itself with the components that it contains, creating a type of water called synthetic and the objective is to remove the inorganic arsenic added to the underground water of Bangladesh (SBGW).

Keywords: Fuzzy logic, IoT control, arsenite, arsenate, ferrate (VI), ferric chloride.

Índice de contenido de la Tesis.

PÁGINA REFERIDA AL JURADO CALIFICADOR DE LA TESIS.	II
DEDICATORIA DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN.	III
AGRADECIMIENTO DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN.	IV
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	V
DESCRIPTORES TEMÁTICOS.	VI
RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA.	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO DE LA TESIS.	1
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS.	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.	10
I. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	11
1.1 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN:	12
1.2 ANTECEDENTES DE TRABAJOS REALIZADOS REFERIDOS A LA INVESTIGACIÓN.	14
1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA DE LA INVESTIGACIÓN PROPUESTA	16
1.3.1 <i>Sistema Experto Difuso</i>	16
1.3.2 <i>Sistema Experto:</i>	16
1.3.3 <i>Eficiencia</i>	17
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA PLANTEADO	18
1.4.1 <i>Problema General planteado en la Investigación.</i>	18
1.4.2 <i>Problemas Específicos planteados en la Investigación.</i>	18
1.4.3 <i>Los factores que impiden controlar el arsénico en el agua y solucionar el problema.</i>	18
1.5. JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	19
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	19
1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.	20
1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	20
1.5.4 JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA	21
1.5.5 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	21
1.6. OBJETIVOS	22
1.6.1 <i>Objetivos Principal</i>	22
1.6.2 <i>Objetivo Específico.</i>	22
1.7. HIPÓTESIS	22
1.7.1 <i>Hipótesis General.</i>	22
1.7.2 <i>Hipótesis Específicas.</i>	23
II. MARCO TEÓRICO	24
2.1 ANTECEDENTES	25
2.2.1 <i>Algoritmo de la lógica difusa.</i>	25
2.2.2 <i>Controlador de Lógica Difusa</i>	25
2.2.2.1 El Fuzzificador	26
2.2.2.2 Sistema de Inferencia Difusa	26
2.2.2.3 El Sistema de Reglas Difusas	26
2.2.2.4 El Defuzzificador	26
2.2.3 <i>Descripción del módulo de tratamiento de agua.</i>	27
2.2.4 <i>Lógica difusa para el control de las bombas peristálticas.</i>	27

2.3 MARCO TEÓRICO SOBRE LA LÓGICA DIFUSA EN EL PROCESO DE PURIFICACIÓN DEL AGUA.	28
2.4 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.	35
2.5 ESQUEMA DE LA PLANTA PORTÁTIL PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA.	36
2.6 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE LAS BOMBAS PERISTÁLTICAS UTILIZANDO FUZZY LOGIC.	37
2.7 DESARROLLO DEL CONTROLADOR DIFUSO	41
III. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	43
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN REALIZADA	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.2 VARIABLES OPERACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.2.1 VARIABLE INDEPENDIENTE (V.I): SISTEMA EXPERTO CON LÓGICA DIFUSA	45
3.2.1.1. <i>Definición Conceptual:</i>	45
3.2.1.2. <i>Definición Operacional:</i>	46
3.2.1.3. <i>Indicadores:</i>	46
3.2.2.1 <i>Definición Conceptual:</i>	46
3.2.2.2 <i>Definición Operacional:</i>	46
3.2.2.3 <i>Dimensiones:</i>	46
3.2.2.4 <i>Indicadores de Eficiencia</i>	47
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.3.1 <i>Población de la investigación:</i>	47
3.3.2 <i>Muestra de la investigación</i>	48
3.4 LAS TÉCNICAS, LOS INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, LA VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE ESTOS.	48
3.4.1 <i>Técnica de investigación Aplicada:</i>	48
3.4.2 <i>Instrumento Aplicado: Instrumentos a través de medios electrónicos.</i>	49
3.4.3 <i>Validez de la recopilación de datos en la investigación aplicada.</i>	49
3.4.3.1 <i>Validez</i>	50
3.4.3.2 <i>Validez de Expertos.</i>	50
3.4.3.3 <i>Confiabilidad:</i>	50
3.4.3.4 <i>Fiabilidad del Indicador de Eficiencia</i>	51
3.4.3.5 <i>Determinación de la concentración del As (III) y As(V)</i>	52
3.5 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	52
3.6 ASPECTOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	53
3.7 MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN.	53
3.8 PROCESOS PARA REALIZAR LA PROPUESTA.	56
3.9 PROCEDIMIENTOS DE LA PROPUESTA.	57
3.10 MATERIALES Y MÉTODOS DE LA PROPUESTA.	58
3.11 INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DEL AGUA	67
3.11.1. <i>Sensor de caudal.</i>	68
3.11.2. <i>Sensores de pH.</i>	68
3.11.3 <i>Sensor de ORP.</i>	69
3.11.4. <i>Simatic PLC S7-1500.</i>	70
3.11.5. IOT 2040	71
3.11.6. Bombas peristálticas.	72
3.11.7. Materiales y métodos de la propuesta del controlador solar.	73
3.11.8. Sistema de Potencia	73
3.11.9. Diseño y Desarrollo del Controlador para carga solar	76
3.11.10. Implementación del Controlador	79
3.12 Configuración del sistema del mezclador estático.	82
3.13 Diagrama de bloques sólo del proceso del Agua en la parte de la inyección del ferrato y el cloruro férrico.	85
3.14 El diseño de la planta experimental	86
3.15 Producción de Ferrato (VI)	89
3.15.1 Determinación de la concentración del Ferrato (VI)	90
3.16 Preparación del agua sintética de Bangladesh (SBGW)	90
IV. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN	92
4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	93
4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	93

4.2.1 HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	93
4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS DE LA INVESTIGACIÓN	93
4.2.2.1 <i>Prueba de Normalidad de los datos del experimento</i>	95
4.2.2.2 SE USARÁ EL ESTADÍSTICO DE MANN-WHITNEY WILCOXON PARA PROBAR QUE LOS DATOS NO PERTENECEN A UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.	97
4.2.2.3 PRUEBA DE VALORES RESIDUALES PARA REAFIRMAR QUE LOS DATOS NO CORRESPONDEN A UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.	98
4.2.2.4 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA.	102
4.2.2.6 RESPUESTAS A LA PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL	102
4.2.2.7 RESPUESTAS A LA PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	102
4.2.2.8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PLANTA DE INIA, EJEMPLO ADICIONAL QUE COMPLEMENTA Y CORROBORA EL ESTUDIO DE ESTA INVESTIGACIÓN.	103
4.2.2.9 ANÁLISIS DESCRIPTIVOS DE LA PLANTA DE INIA.	104
4.2.2.10 PRUEBA DE PEARSON PARA LOS DATOS DE LA PLANTA DE INIA.	104
PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA PLANTA DE INIA.	105
4.2.2.11 HIPÓTESIS DE NORMALIDAD.	105
4.2.2.12 PRUEBA DE VALORES RESIDUALES PARA REAFIRMAR QUE LOS DATOS NO CORRESPONDEN A UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL, LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA DE INIA.	105
4.2.2.13 ARSÉNICO PROCESADO CON FERRATO Y CLORURO FÉRRICO FINAL EN LA PLANTA DE INIA.	107
4.3 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA	109
4.3.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA EFICIENCIA	110
4.4 VARIABLES MEDIDAS PARA CONTROLAR EL PH Y EL ORP EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO AUTOMATIZADA.	110
4.5 REMOCIÓN DEL ARSÉNICO TIPO (III) Y ARSÉNICO TIPO (V)	111
4.6 DOSIFICACIÓN EN LÍNEA AL AGUA DEL FERRATO(VI) Y DEL CLORURO FÉRRICO (FECL3)	114
4.7 COSTO ESTIMADO DEL AGUA TRATADA	115
4.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CONTROLADOR SOLAR.	116
4.9 EL ION FERRATO CON RESPECTO A LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ, DBO₅, MERCURIO, CADMIO, ARSÉNICO, PLOMO.	120
4.9.1 <i>Remoción de la DBO₅ y turbidez de agua para riego del reservorio del INIA</i>	120
4.9.2 <i>Remoción de metales y metaloides del agua para Riego del reservorio del INIA</i>	121
4.9.3 <i>El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en Enterococcus faecalis se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.</i>	123
Muerte bacteriana Enterococcus faecalis ATCC 14506	123
4.9.4 <i>El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en Escherichia coli se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.</i>	124
Curvas de muerte de Escherichia coli ATCC 25922 con ferrato (VI)	124
4.9.5 <i>Planta piloto de INIA-2018</i>	125
V. DISCUSIÓN	126
VI. CONCLUSIÓN	128
6.1 CONCLUSIONES SOBRE EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DEL ARSÉNICO EN EL AGUA.	129
6.2 CONCLUSIONES DEL CONTROLADOR SOLAR.	130
VII. RECOMENDACIÓN	132
TRABAJOS CITADOS	134
IX. ANEXOS	142
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA-PLANTA AUTOMATIZADA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO.	143
ANEXO 02: OPERACIONALIZACIÓN _DE _VARIABLES.	145
ANEXO 03: VALIDACIÓN DE EXPERTOS	146

<i>Breve CV de descripción del experto: Ph.D. Lisveth Flores del Pino.</i>	146
<i>Breve CV de descripción del experto: Ph.D. Javier Martín Quino Favero.</i>	148
<i>Breve CV de descripción del experto: Dra. Ana Cecilia Valderrama Negrón.</i>	150
<i>Breve CV de descripción del experto: Dr. Erich Arturo Saettone Olschewski.</i>	152
<i>Breve CV de descripción del experto: Dr. José Luis Castillo Sequera.</i>	154
RESUMEN DEL CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE EXPERTOS	156
RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DEL CERTIFICADO DE VALIDEZ DE ACUERDO CON LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	157
ANEXO 04: DATOS PARA CONTRASTAR LA CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO POST TEST	158
4.1 REMOCIÓN DEL AS(TOTAL) CON LA PLANTA AUTOMATIZADA.	160
4.2 REMOCIÓN DEL AS(III) CON LA PLANTA AUTOMATIZADA.	161
4.3 REMOCIÓN DEL AS(V) CON LA PLANTA AUTOMATIZADA.	162
	162
ANEXO 4.4: DATOS PARA CONTRASTAR LA CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO PRE-TEST Y POST TEST EN LA PLANTA DE INIA	163
<i>Eficiencia de remoción del Arsénico total</i>	164
<i>Agua sin tratamiento de Arsénico.</i>	165
<i>Agua con tratamiento de Arsénico con Ferrato y Cloruro Férrico</i>	166
ANEXO 05 : RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EFICIENCIA	167
5.1 EFICIENCIA DE LA REMOCIÓN DEL ASTOTAL CON LA PLANTA AUTOMATIZADA.	168
ANEXO 06: PRODUCTOS OBTENIDOS EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.	169
6.1 FOTO DE LA PLANTA A ACTUALMENTE A ESCALAR.	170
<i>6.2 Planta automatizada.</i>	170
<i>6.3 Productos que se han desarrollado en la investigación de esta tesis.</i>	171
<i>6.3.1 Solicitud de patente sobre el controlador de carga solar con algoritmo Difuso. Octubre-2018</i>	171
<i>6.3.2 Patente del controlador de carga con algoritmo Difuso. 10 septiembre 2019.</i>	172
<i>6.3.3 Asistencia al Congreso CSEI 2019 en el Ecuador en la ciudad de Ambato- octubre 2019.</i>	173
<i>6.3.4 Congreso CSEI 2019 en el Ecuador en la ciudad de Ambato- octubre 2019.</i>	174
<i>6.3.5 Documento científico sobre el controlador solar en la revista Springer (Q3). Enero de 2020.</i>	175
<i>Advances and Applications in Computer Science, Electronics an Industrial Engineering.</i>	175
<i>6.3.6 Document scientific (JCR -Q2)- October 2020 Water Treatment Plant Prototype with pH Control Modeled on Fuzzy Logic for Removing Arsenic Using Fe (VI) and Fe (III).</i>	176
<i>6.3.7 Diseño del módulo compacto de tratamiento de Arsénico</i>	177
<i>Diseño y fabricación de las bombas peristálticas para el control del PH y el ORP con PLC 1200 y IOT 2040.</i>	177
<i>6.3.8 Diseño y fabricación de las bombas peristálticas.</i>	178
<i>6.3.8.1 Primer cabezal.-Motor 45 RPM</i>	178
<i>6.3.8.2 Segundo cabezal- Motor 65 RPM.</i>	178
<i>6.3.8.3 Tercer cabezal Motor 250 RPM.</i>	178
<i>6.3.9 Curva de calibración de las bombas peristálticas.</i>	179
<i>6.3.10 Constancia del Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica- Renacyt.</i>	180
ANEXO 07: TRABAJOS FUTUROS COMO RESULTADO DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	181
7.1 TRABAJOS FUTUROS	182
<i>7.1.1 Procedimientos de la propuesta.</i>	182

Índice de figuras

FIGURA 1.....	27
SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA.....	27
FIGURA 2.....	28
SISTEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LÓGICA DIFUSA.....	28
FIGURA 3.....	29
GRÁFICO DE CONTROL EN UN SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA.....	29
FIGURA 4.....	29
ESQUEMA DE LAS BOMBAS PERISTÁLTICAS.....	29
FIGURA 5.....	31
ECUACIONES DE LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.....	31
FIGURA 6.....	32
FORMA DE LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.....	32
FIGURA 7.....	32
ECUACIONES DE LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA TRIANGULARES.....	32
FIGURA 8.....	33
FORMA DE LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA TRIANGULARES.....	33
FIGURA 9.....	33
SEÑAL NORMALIZADA DE LA SEÑAL PH.....	33
FIGURA 10.....	36
ESQUEMA DE LA PLANTA PORTÁTIL PARA LA PURIFICACIÓN DEL AGUA.....	36
FIGURA 11.....	38
FUNCIONES TRAPEZOIDALES DE ENTRADA PH.....	38
FIGURA 12.....	39
FUNCIONES TRAPEZOIDALES DE SALIDA PH.....	39
FIGURE 13.....	40
CURVA DE RESPUESTA DEL SISTEMA DIFUSO.....	40
FIGURA 14.....	42
FUNCIONES TRAPEZOIDALES DEL CONTROL DIFUSO.....	42
FIGURA.15.....	45
CONSTRUCTO UTILIZADO EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	45
FIGURA 16.....	54
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	54
FIGURA 17.....	55
ENTRADA Y SALIDA DEL PROCESO.....	55
MAPA DEL PROCESO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DEL AGUA.....	56
FIGURA 19.....	58
SISTEMA DE INYECCIÓN DEL FLOCULANTE Y DEL CAOLÍN.....	58
FIGURA 20.....	59
SERPENTÍN DE MEZCLA EN TUBERÍA DE ½ PULGADA.....	59
FIGURA 21.....	59
SISTEMA PROPUESTO, PRIMERAS PRUEBAS EN LA TUBERÍA DE ½ PULGADA.....	59
FIGURA 22.....	60
SISTEMA DE PREPARACIÓN DEL CAOLÍN.....	60
FIGURA 23.....	60
FLOCULACIÓN OBTENIDA.....	60
FIGURA 24:.....	61
LA SOLUCIÓN PATRÓN DE CAOLÍN.....	61
FIGURA 25.....	61
PRUEBA DE JARRAS PARA EVALUAR DOSIFICACIÓN PRELIMINAR DEL COAGULANTE Y FLOCULANTE.....	61
FIGURA 26.....	62
SE ADICIONA CON UNA PIPETA DE PRECISIÓN 10 ML DE SUSPENSIÓN DE CAOLÍN.....	62
FIGURA 27.....	62

AGITACIÓN CONTINUAMENTE PARA EVITAR QUE SE SEDIMENTE EL CAOLÍN.....	62
FIGURA 28.....	63
EQUIPO PARA MEDIR LA TURBIDEZ.....	63
FIGURA 29.....	64
INICIO DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.....	64
FIGURA 30.....	64
FLOCS EN EL FONDO DEL RECIPIENTE.....	64
FIGURA 31.....	65
EXTRACCIÓN DE MUESTRA PARA MEDIR TURBIDEZ.....	65
FIGURA 32.....	65
TURBIDEZ FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.....	65
FIGURA 33.....	66
BOMBA PERISTÁLTICA PARA IMPULSAR EL AGUA.....	66
FIGURA 34.....	66
BOMBA PERISTÁLTICA PARA IMPULSAR EL FLOCULANTE.....	66
FIGURA 35.....	67
BOMBA PERISTÁLTICA PARA IMPULSAR EL COAGULANTE.....	67
FIGURA 36.....	68
SENSOR DE FLUJO SIN CONTACTO DIRECTO EN EL AGUA.....	68
FIGURA 37.....	69
SENSOR DE VIDRIO: ORBISINT CPS11 / CPS11D.....	69
FIGURA 38.....	70
GLASS SENSOR: CERAGEL CPS71/CPS71D.....	70
FIGURA 39.....	71
PLC S7-1500.....	71
FIGURA 40.....	72
IOT 2040.....	72
FIGURA 41.....	72
BOMBA PERISTÁLTICA.....	72
FIGURA 42.....	74
PARTE INFERIOR DEL CONTROLADOR.....	74
FIGURA 43.....	74
PARTE SUPERIOR DEL CONTROLADOR.....	74
FIGURA 44.....	75
TAPA DE TESTIGOS DEL CONTROLADOR.....	75
FIGURA 45.....	75
MÁSCARA SUPERIOR DEL CONTROLADOR.....	75
FIGURA 46.....	75
ENSAMBLE DE PIEZAS EN SOLIDWORKS.....	75
FIGURA 47.....	76
HERRAMIENTA DE MATLAB-SURFACE VIEWER.....	76
FIGURA 48.....	77
VALORES GENERADOS EN EL MATLAB DEL FUZZIFICADOR LLEVADOS A LA LIBRERÍA DE FUZZY LOGIC DEL PROCESADOR.....	77
FIGURA 49.....	78
VALORES GENERADOS EN EL MATLAB LLEVADOS A LA LIBRERÍA DE FUZZY LOGIC DEL PROCESADOR.....	78
FIGURA 50.....	79
TARJETA DE POTENCIA.....	79
FIGURA 51.....	80
TARJETA DE CONTROL.....	80
FIGURA 52.....	80
CONTROLADOR SOLAR. (PERÚ PATENTE Nº PE20181963A1, 2018).....	80
FIGURA 53.....	81
TESTIGOS DE CARGA. (PERÚ PATENTE Nº PE20181963A1, 2018).....	81
FIGURA 54.....	82
SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	82
FIGURA 55.....	83

MEZCLADORES ESTÁTICOS PARA MEJORAR LA MEZCLA DEL COAGULANTE Y FLOCULANTE, A LA DERECHA FABRICADO EN PLA Y FIBRA DE CARBONO Y LA IZQUIERDA FABRICADA EN ACERO INOXIDABLE.....	83
FIGURA 56.....	83
MEZCLADOR ESTÁTICO DENTRO DE UN TUBO DE VIDRIO.....	83
FIGURA 57.....	84
FILTROS DE SALIDA DE 5 MICRONES PARA REMOVER LA TURBIDEZ RESIDUAL.....	84
FIGURA 58.....	84
FILTRO DE 5 MICRONES.....	84
FIGURA 59.....	85
SISTEMA DESPUÉS REACTOR DEL FERRATO.....	85
FIGURA 60.....	86
DIAGRAMA DE FLUJO: SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA.....	86
FIGURA 61.....	87
DIAGRAMA DE LAS PARTES DEL PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	87
FIGURA 62.....	88
FOTOGRAFÍA DEL MEZCLADOR ESTÁTICO Y SUS PARTES PRINCIPALES.....	88
FIGURA 63.....	88
PLC SIEMENS 1500 Y LAS IOT 2040.....	88
FIGURA 64.....	89
TRANSMISOR Y LA PANTALLA HMI.....	89
FIGURA 65.....	99
DE ESTIMACIÓN CURVILÍNEA.....	99
FIGURA 66.....	99
VENTANA DE ESTIMACIÓN CURVILÍNEAS, CON LA OPCIÓN DE RESIDUOS.....	99
FIGURA 67.....	100
RESUMEN DE MODELO Y ESTIMACIONES DE PARÁMETROS.....	100
FIGURA 68.....	100
RESUMEN DE MODELOS CUADRÁTICO Y CÚBICO PARA ESTIMACIONES DE PARÁMETROS.....	100
FIGURA 69.....	101
CURVAS DE LOS POSIBLES MODELOS QUE AJUSTAN A LOS DATOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA CON ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS RESIDUALES.....	101
FIGURA 70.....	106
RESUMEN DE MODELO Y ESTIMACIONES DE PARÁMETROS.....	106
FIGURA 71.....	106
RESUMEN DE MODELOS CUADRÁTICO Y CÚBICO PARA ESTIMACIONES DE PARÁMETROS.....	106
FIGURA 72.....	109
GRÁFICO QUE RELACIONA EL ARSÉNICO TOTAL DE LA PLANTA DE INIA DONDE SE APRECIA EL RESIDUO ESTANDARIZADO DEL ARSÉNICO, ANTES DEL TRATAMIENTO DEL AGUA.....	109
FIGURA 73.....	111
VALORES OBTENIDOS DE PH Y ORP EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	111
FIGURA 74.....	112
CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y SUS ESPECIES DURANTE DEL TRATAMIENTO.....	112
FIGURA 75.....	113
DIAGRAMA DE ESPECIACIÓN DEL AS(III) A 25°C GENERADO CON EL SOFTWARE HYDRA/MEDUSA.....	113
FIGURA 76.....	113
DIAGRAMA DE PREDOMINANCIA DEL ARSÉNICO A 25°C GENERADO CON EL SOFTWARE HYDRA/MEDUSA.....	113
FIGURA 77.....	114
DIAGRAMA DE PREDOMINANCIA DEL ARSÉNICO A 25°C GENERADO CON EL SOFTWARE HYDRA/MEDUSA I.....	114
FIGURA 78.....	115
DOSIFICACIÓN EN LÍNEA DEL FERRATO Y CLORURO FÉRRICO DURANTE EL TRATAMIENTO.....	115
FIGURA 79.....	117
SEÑAL PWM CUANDO LA BATERÍA ESTA DESCARGADA. (PAREDES-LARROCA, F. H., SAETTONE-OLSCHEWSKI, E. A., QUINO-FAVERO, J., ROSALES-HUAMANÍ, J., & CASTILLO-SEQUERA, J. L. , 2020)	117

FIGURA 80.....	118
CORRIENTE DE LA BATERÍA.....	118
FIGURA 81.....	118
SEÑAL DE PWM, LA BATERÍA ESTÁ CERCA DE SU MÁXIMA CARGA.....	118
FIGURA 82.....	119
COMPARACIÓN DE UN CARGADOR CONVENCIONAL CONTRA EL CARGADOR DE LÓGICA DIFUSA.....	119
FIGURA 83.....	120
REMOCIÓN DE LA DBO ₅ Y TURBIDEZ DE AGUA PARA RIEGO DEL RESERVORIO DEL INIA.....	120
FIGURA 84.....	121
REMOCIÓN DE METALES Y METALOIDES DEL AGUA PARA RIEGO DEL RESERVORIO DEL INIA.....	121
FIGURA 85.....	122
REMOCIÓN DE METALES Y METALOIDES DEL AGUA PARA RIEGO DEL RESERVORIO DEL INIA.....	122
FIGURA 86.....	123
EL ION FERRATO TAMBIÉN FUE PROBADO CON UNA EFICIENCIA EN <i>ENTEROCOCCUS FAECALIS</i> SE OBTUVO LAS SIGUIENTES COMPARACIONES FRENTE AL CLORO.....	123
FIGURA 87.....	124
EL ION FERRATO TAMBIÉN FUE PROBADO CON UNA EFICIENCIA EN <i>ESCHERICHIA COLI</i> SE OBTUVO LAS SIGUIENTES COMPARACIONES FRENTE AL CLORO.....	124
FIGURA 88.....	125
PLANTA PILOTO DE INIA-2018.....	125
FIGURA 89.....	170
SENSOR DE FLUJO.....	170
FIGURA 90.....	170
SISTEMA DE LA PLANTA ARMADA Y FUNCIONANDO.....	170
FIGURA 91.....	171
SOLICITUD DE PATENTE DEL CARGADOR SOLAR.....	171
FIGURA 92.....	172
CÉDULA DE NOTIFICACIÓN DE LA OBTENCIÓN DE LA PATENTE DEL CARGADOR SOLAR.....	172
FIGURA 93.....	173
ASISTENCIA AL CONGRESO CSEI 2019 EN ECUADOR DEL CARGADOR SOLAR.....	173
FIGURA 94.....	174
PRESENTACIÓN DEL ARTÍCULO SOBRE EL CONTROLADOR DIFUSO EN ECUADOR.....	174
FIGURA 95.....	175
PROCEDING OF THE CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE, ELECTRONICS, AND INDUSTRIAL ENGINEERING (CSEI 2019).....	175
FIGURA 96.....	176
CERTIFICATE OF ACCEPTANCE FOR THE MANUSCRIPT (WÁTER-938226).....	176
FIGURA 97.....	177
NUEVO DISEÑO COMPACTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO, PROTOTIPO.....	177
FIGURA 98.....	178
BOMBAS PERISTÁLTICAS DE PROTOTIPADO.....	178
FIGURA 99.....	179
CALIBRACIÓN DE LA BOMBAS PERISTÁLTICAS DE PROTOTIPADO.....	179
FIGURA 100.....	180
CONSTANCIA DEL REGISTRO NACIONAL CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA-RENACYT.....	180
FIGURA 101.....	183
SISTEMA PROPUESTO PARA CONTROLAR LA FLOCULACIÓN UTILIZANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	183
FIGURA 102.....	183
LA MANERA DE GENERAR NUESTRA DATA PARA ALIMENTAR AL SISTEMA IA.....	183
FIGURA 103.....	184
LA PLANTA DE PROCESAMIENTO SE COMPLETA USANDO LA IA.....	184

Índice de Tablas.

TABLA 1. FUNCIONES DE ENTRADA CON LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES EN EL SISTEMA DE REGLAS DIFUSAS EMBEBIDAS EN LA IOT 2040.	38
TABLA 2. FUNCIONES DE SALIDA CON LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES EN EL SISTEMA DE REGLAS DIFUSAS EMBEBIDAS EN LA IOT 2040.	39
TABLA 3: FUNCIONES DE ENTRADA Y SALIDA CON LAS REGLAS DIFUSAS DEL SISTEMA EMBEBIDO EN LA IOT 2040.	40
DISEÑO PRE EXPERIMENTAL.....	44
TABLA 4: DISEÑO EXPERIMENTAL.....	44
TABLA 5 DE CORRELACIÓN DEL ARSÉNICO TOTAL CON EL ARSÉNICO (III) EN LA PRUEBA.	51
TABLA 6 DE CORRELACIÓN DEL ARSÉNICO TOTAL CON EL ARSÉNICO (V) EN LA PRUEBA.	51
TABLA 7 -REGLAS DEL CONTROL LLEVADOS A LA LIBRERÍA DE FUZZY LOGIC DEL PROCESADOR.....	77
TABLA 8. COMPOSICIÓN DEL AGUA SINTÉTICA DE BANGLADESH.....	91
TABLA 9 DE LOS ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL ARSÉNICO TOTAL, EL ARSÉNICO (III) Y EL ARSÉNICO (V).	93
TABLA 10 PARA COMPROBAR QUE LOS DATOS DEL ARSÉNICO(III) NO SON DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	96
TABLA 11 PARA COMPROBAR QUE LOS DATOS DEL ARSÉNICO(V) NO SON DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	96
TABLA 12 PARA COMPROBAR LOS DATOS DEL ARSÉNICO(III) NO ES UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	98
TABLA 13 PARA COMPROBAR LOS DATOS DEL ARSÉNICO(V) NO ES UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	98
TABLA 14 PARA COMPROBAR QUE LOS DATOS DEL ARSÉNICO DE LA PLANTA DE INIA AL SER PROCESADOS NO SON DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL.	105
ELABORACIÓN PROPIA.....	105
TABLA 15 COMPROBAR LOS DATOS DEL ARSÉNICO DE LA PLANTA DE INIA SON DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL ANTES DE EMPEZAR EL TRATAMIENTO DEL RÍO RÍMAC.....	108
TABLA 16 –PRUEBAS REALIZADAS AL CARGAR UNA BATERÍA DE ÁCIDO PLOMO. COMPORTAMIENTO DEL CONTROLADOR DURANTE UN CICLO TÍPICO DE CARGA COMPLETA.	119

Índice de Ecuaciones.

ECUACIÓN DE EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.	17
EN LA ECUACIÓN (1), Z^* REPRESENTA EL LUGAR GEOMÉTRICO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE TODAS LAS POSIBLES REGLAS INVOLUCRADAS EN LAS SOLUCIONES.	78
EN LA ECUACIÓN (2), EL TÉRMINO μK REPRESENTA EL VALOR DIFUSO INVOLUCRADO EN EL ANTECEDENTE DE LA REGLA I-ÉSIMA, DONDE M REPRESENTA EL NÚMERO DE SALIDAS DIFUSAS, CON LAS PONDERACIONES W CORRESPONDIENTES LOS VALORES MÁXIMOS DE LOS CONSECUENTES INVOLUCRADOS.....	78
COSTO PRODUCIDO POR EL REACTOR QUÍMICO.	116
COSTO POR METRO CÚBICO DE AGUA TRATADA.....	116

I. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problemática de la Investigación:

El arsénico contenido en el líquido vital para la vida humana como en las zonas rurales del Perú, como por ejemplo en Mórrope (Lambayeque) (Machaca Fernández, D. S., Quispe Yanapa, B., & Carpio Fernández, J., 2018), contienen concentraciones superiores a los estándares permitidos respecto a la calidad medioambiental (Quino-Favero, J., & Eyzaguirre-Pérez, R., 2015). La distribución y la contaminación del arsénico en el agua se debe a procesos naturales, así como su fácil movilización en el ambiente, siendo este un problema global y ocasiona problemas crónicos a la salud de las personas. Los microorganismos cumplen un rol en la transformación del arsénico debido a que lo utilizan en su metabolismo mediante transformaciones de tipo enzimática. El arsénico es uno de los agentes más tóxicos de la metalurgia siendo un serio problema ambiental. La toxicidad del arsénico en el agua es eliminada con un proceso oxidativo para la transformación de la forma más tóxica de As (III) a la forma menos tóxica de As (V) (Dastidar, A., & Wang, Y. T., 2009), (Yamamura, 2014). La oxidación química del arsénico es lenta y los compuestos químicos utilizados, tales como cloro, hipoclorito de calcio, permanganato de potasio, derivan en elevados costos, generando una contaminación secundaria y no son efectivas a bajas concentraciones de arsénico (Santini, J. M., Sly, L. I., Schnagl, R. D., & Macy, J. M., 2000), (Simeonova, D. D., Lièvremont, D., Lagarde, F., Muller, D. A., Groudeva, V. I., & Lett, M. C., 2004); (Tsai, S. L., Singh, S., & Chen, W., 2009)), por lo que se prefiere el proceso biológico.

El arsénico, es una sustancia tóxica en su forma inorgánica, y también se encuentra en dosis elevadas de forma natural en todo el territorio peruano (George, C. M., Sima, L., Arias, M., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., ... & Gilman, R. H., 2014); (Wise, J. M., Noble, D. C., Vidal, C. E., & Gustafson, L. B., 2004)). En el estudio de George, el 86% de las muestras sobrepasan la capacidad de 10 µg/L guía de: World Health Organization (WHO) para el líquido elemento. Se estima que para el año 2000 al menos un cuarto de millón de personas beban agua con concentraciones que superan los 50µg/L (López, D. L., Bundschuh, J., Birkle, P., Armienta, M. A., 2012)).

La contaminación con arsénico es originada por estar en contacto con materiales de tipo geológico. En aguas subterráneas de difícil acceso, el tratamiento tendrá mayores dificultades, los recursos por proceso de mejora aumentaran. ((Alaerts, G. J., & Khouri, N., 2004)).

Las calidades del agua referidas a cada tipo de agua incurren en el tipo de tecnología a emplearse. En los casos de sistemas rurales el agua es subterránea, indispensable contar con una fuente de agua superficial alternativa (Yokota, H., Tanabe, K., Sezaki, M., Yano, Y., Hamabe, K., Yabuuchi, K., ... & NIPSOM., 2002)), uno de los problemas que se presentan en el agua de tipo superficial rural que se encuentran contaminadas con presencia de microorganismos. (Adeel, Z., & Ali, M. A., 2002)) (Alaerts, G. J., & Khouri, N., 2004).

Las limitaciones tecnológicas actuales para restar el arsénico del líquido elemento en las diferentes áreas que cuentan con sistemas de tipo oxidación y de tipo coagulación y el uso de materiales otros materiales como por ejemplo naturales y la tecnología de membrana (Bundschuh et al., 20 (López, D. L., Bundschuh, J., Birkle, P., Armienta, M. A., 2012), se propicia un tratamiento con un reactor automatizado que no ha sido construido y que sólo se tiene bases teóricas.

Para purificar el agua, se debe añadir la solución de ferrato en las cantidades adecuadas para ello se debe medir los valores que provienen de los sensores, encontrar la relación entre ellos, relacionarlos y encontrar un patrón, el Fe no es un parámetro fácil de medir y los sensores adecuados sólo funcionan bien en condiciones de laboratorio.

La tecnología para la remover el arsénico en ambientes distintos a los urbanos aún no esta siendo desarrollada, sólo es posible con un sistema centralizado, debido a falta de tecnología, economía de escala muy pobre y no es fácil para las personas de bajos recursos, debe una tecnología simple, para que el poblador local pueda aprovecharla de la mejor manera. (López, D. L., Bundschuh, J., Birkle, P., Armienta, M. A., 2012).

1.2 Antecedentes de Trabajos realizados referidos a la investigación.

- Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J. (2017, Mayo). A pH process control embedded on a PLC using Fuzzy Logic. In 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN) (pp. 1-6).

El trabajo presentado en este documento científico hace el uso de un PLC S7-1200 de Siemens y un sensor de pH para el control y dosificación de una bomba que trabaja con un flujo constante de 2.5 litros por hora.

- Sowah, R., Ampadu, K. O., Ofoli, A., Koumadi, K., Mills, G. A., & Nortey, J. (2016, October). Design and implementation of a fire detection and control system for automobiles using fuzzy logic. In 2016 IEEE industry applications society annual meeting (pp. 1-8). IEEE.

El autor investigó el uso de un sistema de control de lógica difusa como herramienta para tener mejor respuesta y mejorar la seguridad para evitar que los automóviles y las industrias sufran un daño de incendio. Para ello creo un sistema automático con un conjunto de sensores que obtienen información como temperatura, gases de combustión. Con ello se evita las falsas alarmas que hace que se incrementen los costos de operación a la ciudad en falsos incendios.

- Guo, J., & Chen, Q. (2010, November). An application of fuzzy control based on PLC in rubber dam monitoring system. In 2010 International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization (Vol. 2, pp. 266-269). IEEE.

En este documento, se presenta un sistema de monitoreo de diques tomando como ejemplo el dique de caucho en Linyi, provincia de Shandong. El PLC (controlador lógico programable- SIEMENS) y el control difuso que se utilizan en la unidad de adquisición de datos del sistema sirve para controlar el nivel del agua en la esclusa. WINCC implementa los intercambios de datos entre la PC

(computadora principal) y el PLC para realizar el control remoto. Se introduce un controlador difuso para controlar el nivel del agua, que aumenta enormemente la precisión del control del nivel del agua con un algoritmo avanzado de control difuso.

- Yates, B. J., Zboril, R., & Sharma, V. K. (2014). Engineering aspects of ferrate in water and wastewater treatment—a review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 49(14), 1603-1614.

Existe un interés renovado en el compuesto tetra-oxi de los estados de oxidación C6 del hierro, ferrato (VI) (FeVIO_4^{2-}), comúnmente llamado ferrato.

El ferrato tiene potencial en tecnologías más limpias ("más ecológicas") para el tratamiento del agua y los procesos de remediación, ya que produce subproductos potencialmente menos tóxicos que otros productos químicos de tratamiento (por ejemplo, cloro). El ferrato tiene un gran potencial para oxidar varios contaminantes, incluidos compuestos que contienen azufre y nitrógeno, estrógenos y antibióticos. Esta capacidad de oxidación del ferrato se combina con sus eficientes propiedades de desinfección y coagulación como un producto químico de tratamiento multipropósito en una sola dosis. Los resultados mostraron que el ferrato solo y en combinación con coagulantes adicionales puede reducir los sólidos suspendidos totales (TSS), la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la materia orgánica. El ferrato también oxida cianuro, sulfuro, arsénico, fenoles, anilinas y colorantes y desinfecta una variedad de virus y bacterias. También se presentan las limitaciones e inconvenientes de la aplicación de ferrato en el tratamiento de agua contaminada a escala piloto.

- Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Parks, A., Gamble, B. M., Wymer, L., & Creed, J. T. (2004). Preservation of As (III) and As (V) in drinking water supply samples from across the United States using EDTA and acetic acid as a means of minimizing iron – arsenic

coprecipitation. Environmental science & technology, 38(10), 2919-2927.

En el siguiente documento científico se investigaron siete condiciones diferentes de tratamiento / almacenamiento para la preservación del As (III) / As (V) nativo que se encuentra en 10 suministros de agua potable de todo Estados Unidos. Estas 10 aguas fueron elegidas porque tienen diferentes distribuciones de As (III) / As (V); seis de estas aguas contenían suficiente hierro para producir un precipitado de hierro durante el envío. Las aguas se trataron y almacenaron en condiciones específicas y se analizaron periódicamente durante un lapso de aproximadamente 75 días. Se utilizó mínimos cuadrados lineales (LLS) para estimar el cambio en As (III) /As (V) durante el período de estudio.

1.3. Teorías relacionadas al tema de la investigación propuesta

1.3.1 Sistema Experto Difuso

Cruz-Gutiérrez, Viridiana, Sánchez-López, Abraham " Un sistema experto difuso en la Web para diagnóstico de diabetes ", 2015.

Los autores del artículo proponen una solución con un Sistema Experto Difuso usando las librerías de la lógica difusa, que permite realizar una inferencia para el diagnóstico de la diabetes, con un interfaz para la implementación. También, se hace uso de técnicas de Ingeniería del Conocimiento e Inteligencia Artificial. El conocimiento es plasmado con la información y experiencia de un médico especialista.

La Inteligencia Artificial se emplea en la actualidad en múltiples soluciones de la medicina moderna.

1.3.2 Sistema Experto:

Badaró ,Sebastián , Javier Ibáñez " Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones ". 2013.

Este trabajo es un compendio donde se expone de manera introductoria el origen de los Sistemas Expertos, sus características principales, su vinculación con la inteligencia artificial, las diferentes tecnologías asociadas y su aplicación para la ciencia y la industria. Asimismo, también se presentan brevemente tecnologías y frameworks disponibles en la actualidad para diseñar e implementar un Sistema Experto en diferentes áreas o mercados. Adicionalmente se completa el trabajo con un breve análisis describiendo las ventajas, limitaciones y tendencias actuales en Sistemas Expertos.

En la actualidad la globalización del mercado y la competitividad empresarial rápidamente en crecimiento exige que las empresas deben almacenar y poder analizar una gran cantidad y formas de información, actualmente los Sistemas Expertos son herramientas para la toma de decisiones. Han sido diseñados para facilitar las tareas y proporcionan buenos resultados que un especialista, emulando la capacidad humana de tomar decisiones de acuerdo con las condiciones del contexto.

1.3.3 Eficiencia

La remoción de algunos de los contaminantes en el tratamiento de agua se determina por la siguiente ecuación que relaciona solo un parámetro biofísico en el efluente frente al efluente como se muestra en la siguiente ecuación (Farrell, M. J., 1957) (Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., 1978) (Pal, P., 2015)

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} * 100$$

Ecuación de eficiencia en el tratamiento de agua.

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema o de uno de los componentes expresado en [%].

S_o: Carga dominante de entrada en [mg].

S: Es la carga dominante de salida. [mg].

1.4. Formulación del problema Planteado

1.4.1 Problema General planteado en la Investigación.

PG: Una remoción efectiva de las diversas especies de arsénico en aguas subterráneas requiere de un ajuste del potencial de óxido-reducción (ORP) y del pH rápidamente y con precisión ¿Cuáles son las consecuencias de no controlar factores de pH y ORP durante un tratamiento continuo de agua subterránea contaminada con arsénico que afecta en forma negativa los recursos hídricos, la salud y el medio ambiente?

1.4.2 Problemas Específicos planteados en la Investigación.

E1: ¿Qué limita la falta de control, en la adición de insumos químicos, variables, que no responden linealmente a la adición de dichos insumos?

E2: ¿En qué medida el inadecuado ajuste de las variables incrementa el tiempo que impide el control en un sistema continuo?

1.4.3 Los factores que impiden controlar el arsénico en el agua y solucionar el problema.

Los factores que no se pueden controlar corresponden a las descargas de efluentes, aguas de lagos y subterráneas con sedimentación y una alta cantidad de oxígeno comúnmente arsenato (As^{+5}) y donde predomina el arsénico trivalente (As^{+3}). El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (ORP) y el pH.

La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arseniatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La

concentración del arsénico en aguas naturales es muy variable y dependerá de las formas de arsénico en el suelo local.

1.5. Justificación de Estudio de la investigación realizada

1.5.1 Justificación Teórica de la investigación realizada

El tratamiento del agua requiere un proceso especializado debido a que el arsénico no es absorbido por la naturaleza de manera natural.

La presente investigación propone utilizar una solución acuosa de ferrato (VI) que logra descomponer a Fe (III) para el tratamiento del líquido elemento con características oxidantes para degradar las sustancias en base a carbono y también logra oxidar sustancias que no son orgánicas. (Jiang, J. Q., Wang, S., & Panagouloupoulos, A., 2006) (Yang, X., Guo, W., Zhang, X., Chen, F., Ye, T., & Liu, W., 2013)

(Zhou, S., Shao, Y., Gao, N., Zhu, S., Li, L., Deng, J., & Zhu, M., 2014)).

El [Fe(III)] que es uno de los mejores coagulantes su empleo se remonta a principios del siglo XX (Han, Q., Wang, H., Dong, W., Liu, T., Yin, Y., & Fan, H., 2015), (Hyde, C. G., & Langelier, W. F., 1935); (Johnson, P. N., & Amirtharajah, A. P. P. I. A. H., 1983), 1983)

La carga eléctrica positiva del Fe (III) conformado como sub-productos actuará en el tratamiento de forma adicional que removerá las impurezas mediante la coagulación.

El Fe (III) no es tóxico, el tratamiento con el uso del ferrato (VI) se considera no tóxico. El uso del ferrato(VI) haya sido considerado un “tratamiento verde”, el ferrato “producto químico verde” ((Eng, Y. Y., Sharma, V. K., & Ray, A. K, 2006); Sharma, 2002; (Tiwari, D., Sailo, L., & Pachuau, L., 2014);.

El uso del ferrato no forma subproductos en la desinfección (DBP).

En la purificación del agua, no se recomienda el cloro, por la generación de los DBPs. Estas sustancias tóxicas causan daño al material genético (Liviach, D., Creus, A., & Marcos, R., 2009).

El ferrato no genera la aparición de bromato y hasta puede ser utilizado conjuntamente con el ozono por el efecto inhibitor que proporciona el ferrato en la formación del ion bromato (Han, Q., Wang, H., Dong, W., Liu, T., Yin, Y., & Fan, H., 2015).

El arsénico, en el líquido elemento de forma natural, se presenta fundamentalmente con oxidaciones del arsenito y arseniato. La facilidad con la que estos se remueven y dependen de las variables del pH y del ORP. La remoción del arseniato [As(V)] es más sencilla y posee una carga neta en el rango de pH.

La totalidad de especies de arsénico (V) empiezan a tener una carga neta a partir de un pH superior a 4, lo que representa un efecto negativo en la salud.

Esto facilita la remoción por adición de agentes coagulantes tales como las sales de hierro o de aluminio, los cationes metálicos como el Fe²⁺, Fe³⁺ y Al³⁺ pueden interactuar con el arsénico que tiene carga eléctrica.

Se benefician directamente aquellas poblaciones rurales donde el agua potable no es tan fácil de poseer y además las características del agua natural se afecta por los diferentes residuos mineros o la contaminación de los suelos por los excrementos de los animales de las granjas cercanas. La purificación del agua libre de agentes de arsénico tendrá un impacto directo en la salud de los pobladores.

1.5.2 Justificación Práctica.

La necesidad de tener agua es un derecho universal (Justo, J. B. (2013)., 2013). La falta en el agua en el Perú es de 7 millones de peruanos, las personas no tienen servicio domiciliario y tienen que usar agua de manera racional. El sistema de agua está relacionado con el sistema de saneamiento (OXFAM, 2021).

1.5.3 Justificación Metodológica

Para poder obtener el agua potable en las cantidades necesarias para cubrir nuestras necesidades en el país se requiere tecnología innovadora, como la que se presenta en esta investigación se demuestra mitológicamente que es posible crear. La idea de este documento es demostrar que es posible crear plantas de

bajo costo siguiendo los antecedentes propuestos. Se estima que se requieren unos 2 a 3 litros por día (Roca, A., & Bruner, C. A., 2011).

1.5.4 Justificación Tecnológica

La remoción del arsénico(III) y arsénico(V) en la planta automatizada propuesta en esta tesis ha sido calculada con los datos obtenidos con la IOT 2040 y el PLC S7-1500 (Stenerson, J., & Deeg, D., 2015), controlando el valor del pH (Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J. , 2017) y el ORP. En la figura 73, se muestra la interpretación, donde se aprecia el tiempo en minutos y la cantidad de arsénico retirado usando el sistema de purificación del agua.

Al usar eficientemente los recursos de ion ferrato y cloruro férrico a través del algoritmo de lógica difusa que controlan las bombas peristálticas se logra en el minuto 3 del proceso con un caudal de 2lt /min que el Arsénico(III) que es el más contaminante logra desaparecer mientras que al minuto 18 de logra disminuir notablemente el Arsénico(V), esto es en una prueba de 100 litros de agua de Bangladesh sintética. (Quino Favero, J. M., 2020)

1.5.5 Justificación Económica

El agua potable como ya se ha comentado es una fuente de vida, al ser escasa en algunos lugares de nuestro país afecta a la economía de la personas porque la escasez de agua potable limita el crecimiento económico ya que esta pone de relieve que el agua es empleo, se encuentran íntimamente ligadas debido a que los problemas de acceso y la falta de saneamiento limitará la creación del empleo por los próximos años, además de otros factores como son la falta de realizar tareas básicas de cuidado del cuerpo y la salud y eso desencadena enfermedades que afectan la economía de las personas ya que las medicinas también son costosas y en algunos lugares no se podrán comprar, es por eso que el uso de camiones cisternas para la venta de agua en poblaciones vulnerables hace que se creen otras enfermedades ligadas al sistema digestivo, que acarrear nuevas enfermedades que se podrían propagar por la comunidad si en que no se atienden rápidamente y se encuentran soluciones viables y prácticas . (Mendoza Flores, M. M., 2016).

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivos Principal

OG: Diseñar y desarrollar un sistema de remoción experto que permita ejecutar el control en flujo continuo del proceso de remoción de las especies de arsénico ajustando el pH y el ORP de forma óptima durante el tratamiento del agua subterránea sintética de tal forma que no afecte los recursos hídricos, la salud y el medio ambiente.

1.6.2 Objetivo Específico.

O1: Diseñar y programar un sistema experto de control de pH basado en lógica difusa de tipo Mamdani e implementarlo en una planta de tratamiento para remoción de arsénico.

O2: Diseñar y programar un sistema experto de control de ORP basado en lógica difusa de tipo Mamdani e implementarlo en una planta de tratamiento para remoción de arsénico.

O3: Programar un sistema que permita adquirir los datos de pH y ORP y procesarlos en tiempo real para lograr el control instantáneo de las variables maestras en una planta automatizada para la remoción del arsénico.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis General.

HG: Un sistema experto de control de pH y ORP basado en lógica difusa tipo Mamdani que logra controlar con rapidez y precisión las variables pH y ORP lo que se traduce en la remoción del arsénico con una eficiencia superior al 90%.

Variable Independiente: Sistema experto con lógica difusa.

Variable Dependiente: Reducción del arsénico.

1.7.2 Hipótesis Específicas.

H1: El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener el pH dentro de los límites preestablecidos.

Variable Independiente: Sistema experto con lógica difusa.

Variable Dependiente: Valores de pH.

H2: El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener el ORP dentro de los límites preestablecidos.

Variable Independiente: Sistema experto con lógica difusa.

Variable Dependiente: Valores de ORP.

H3: El control de las variables pH y ORP permite la remoción a caudal continuo del arsénico manteniendo la concentración total por debajo de los 10 μg /litro cuando el ingreso es de 400 μg /litro.

Variable Independiente: Sistema experto con lógica difusa.

Variable Dependiente: Concentración de arsénico en la salida del tratamiento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Para poder potabilizar el agua para consumo humano en zonas donde la tecnología a gran escala no podrá llegar o en lugares cercanos a las grandes ciudades la tecnología de potabilización del agua aún es muy escasa, esto debido a la falta de la inversión por parte del estado o la falta de compromiso de las autoridades del gobierno central o las municipalidades, se han utilizado teorías de control, por ejemplo para controlar el coagulante en la planta de Weisner de Bogotá utilizando sistemas de lógica difusa obteniendo resultados muy buenos con respecto a la turbidez del agua filtrada que se entrega a la red de distribución. Otro diseño de un sistema experto para tratar aguas residuales es el que se aplica en el municipio de Nátaga, Huila, Colombia, lo que el sistema concluye que es adecuado para obtener fuentes alternas de recursos hídricos y poder tomar decisiones que logren implementar las políticas de gestión de dicho recurso.

2.2.1 Algoritmo de la lógica difusa.

La lógica difusa fue introducida por primera vez en 1965. La lógica difusa es un lenguaje que permite explicar el funcionamiento lógico y operacional de una máquina con un lenguaje simple y luego convertirlo en un lenguaje matemático formal. Este tipo de algoritmos se caracteriza porque es muy difícil modelar las ecuaciones de la planta que gobiernan el proceso de estudio, es manejar aspectos imprecisos del mundo real, el uso de la lógica difusa ha permitido el desarrollo de aplicaciones prácticas en mundo real. Esta teoría marcó una necesidad de diferenciar la lógica difusa de la teoría de probabilidad. Actualmente, la teoría de conjuntos difusos junto con la teoría de probabilidad tiene diferentes tipos de incertidumbre.

2.2.2 Controlador de Lógica Difusa

El sistema utilizado para esta aplicación es el modelo Mamdani, que tiene los siguientes componentes (figura 1):

2.2.2.1 El Fuzzificador

El valor que proviene del sensor de voltaje (Patil, A. R., Atar, K. D., Potdar, A. A., & Mudholkar, R. R., 2013) es convertido a un lenguaje que se pueda procesar en el procesador Atmega 328. Los datos convertidos en valores difusos serán procesados por el sistema de inferencia. Los valores difusos corresponden al universo de las variables de entrada.

2.2.2.2 Sistema de Inferencia Difusa

Es una estructura que contiene a los diferentes niveles de pertenencia originados en el fuzzificador, estos son los valores procesados para originar una salida difusa.

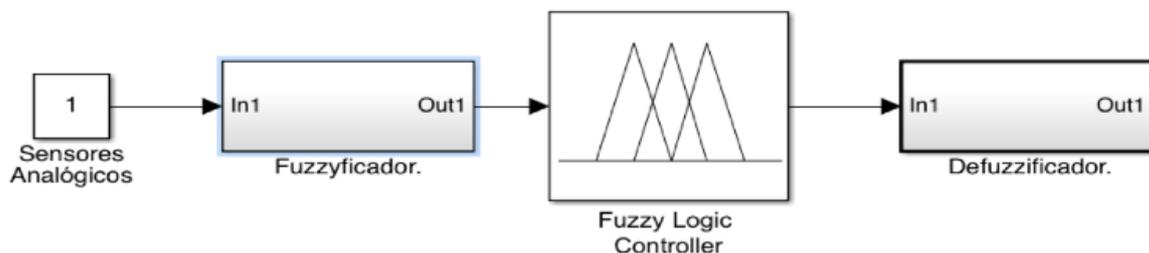
2.2.2.3 El Sistema de Reglas Difusas

Es un conjunto de reglas que son el motor del sistema (figura 2), este paquete de reglas son las reglas obtenidas con la información del operario del sistema que tiene un procedimiento para realizar su trabajo diario, este procedimiento se interpreta en reglas donde son de tipo IF-THEN, un antecedente y un consecuente.

2.2.2.4 El Defuzzificador

La salida generada a través del sistema de inferencia es una salida difusa que no puede ser interpretada por el actuador del sistema. Para lograr una respuesta adecuada la salida debe ser convertida a un valor analógico, este valor es obtenido a través del Centro de Gravedad de todas las respuestas posibles, según el grado de pertenencia.

Figura 1
Sistema de Lógica Difusa.



Nota: Sistema de Lógica difusa en donde se muestra la entrada al sistema y los módulos que le corresponden. (Nicolae, A., Korodi, A., & Silea, I., 2019)

2.2.3 Descripción del módulo de tratamiento de agua.

Las bombas dosificadoras del caudal de agua, el ferrato y del cloruro férrico son controladas por algoritmo de lógica difusa dentro del PLC- S7 1500.

Los sensores que se encuentran en la unidad de procesamiento de agua son: Dos sensores de pH, dos sensores de ORP. En la entrada del agua al módulo de tratamiento se usa un filtro de anillos, luego se encontrará un sensor de pH y un sensor de ORP. El reactor de ferrato brindará la concentración de este a través de la bomba peristáltica diseñada y construida en una impresora 3D, esta será controlada por el PLC S7-1500 en donde se encontrará el algoritmo de lógica difusa, esta dosifica el ingreso del ferrato al sistema. Unas de las variables críticas es el pH que puede aumentar, para mantenerlo dentro de los valores de la zona neutra se debe hacer ingresar el cloruro férrico para asegurarme el valor correcto del pH. En esta última concentración hay una tercera bomba dosificadora también controlada por el PLC y con un algoritmo de control de lógica difusa.

2.2.4 Lógica difusa para el control de las bombas peristálticas.

Para lograr la correcta dosificación del sistema de bombeo en el punto de entrada del sistema se usa una bomba peristáltica donde se regula la cantidad de líquido que se quiere desinfectar, en este punto se tiene un sensor de caudal magnético que nos brinda el valor real del agua que ingresa en el módulo, así se puede dosificar y controlar la cantidad de agua a tratar. Cabe señalar que

todos los sistemas se encuentran funcionando a 24 v DC.

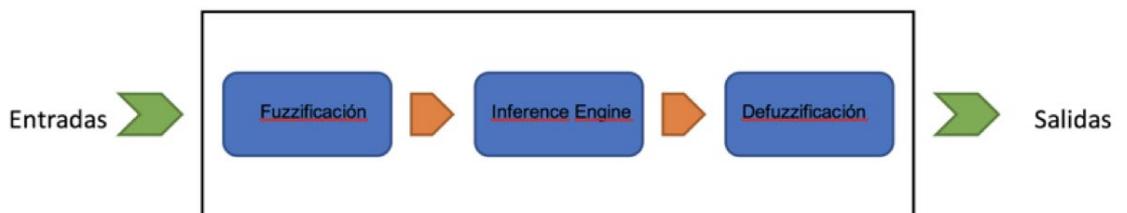
El sistema de control de lógica difusa se encuentra en el PLC S7-1500, y el control se realiza a través de la señal analógica en un intervalo de 0-10 V DC.

El módulo de señal analógica se conecta con el módulo que, a través las entradas analógicas del mismo, el valor que entrega el algoritmo de control de lógica difusa con el cálculo del centro de gravedad de las reglas de esas condiciones de trabajo entrega un valor un valor numérico que es convertido a una señal de voltaje al salir módulo analógico. Esta señal es la que controla la velocidad del motor trifásico donde se encuentra la bomba peristáltica fabricada con tecnología 3D.

2.3 Marco Teórico sobre la lógica difusa en el proceso de purificación del agua.

En el diagrama siguiente (figura 2) se encuentra el esquema general del sistema de funcionamiento de lógica difusa se observan las partes que lo componen tales como Fuzzificación, Inferencia y desfuzzificación.

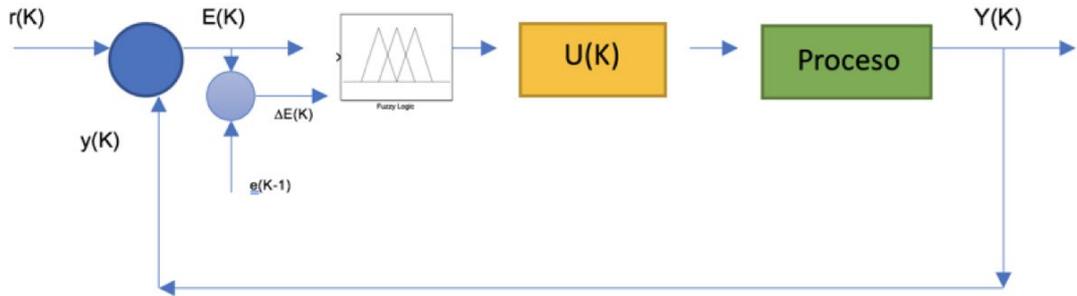
Figura 2.
Sistema del funcionamiento de la lógica difusa.



Elaboración Propia

El grafico general de control (figura 3) en donde se puede apreciar el valor a la salida del controlador que se compara con el valor obtenido y haciendo la corrección a través del sistema de lógica difusa.

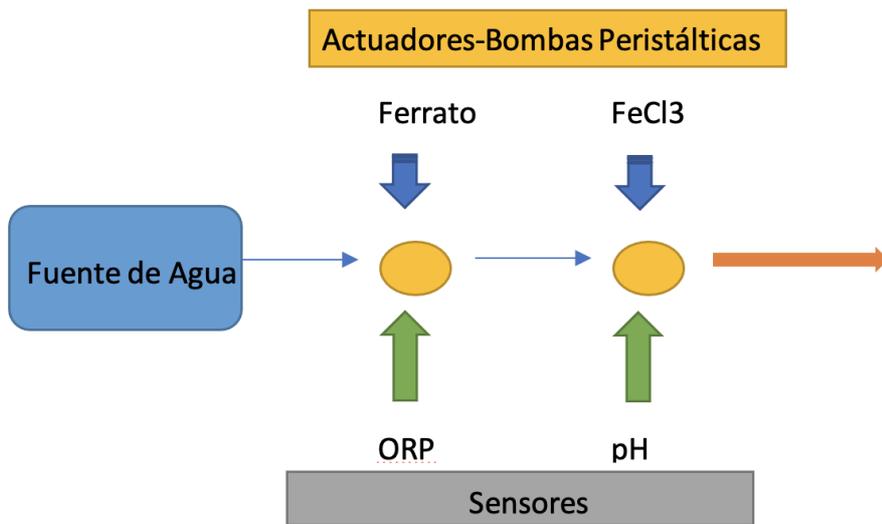
Figura 3.
Gráfico de control en un sistema de lógica difusa.



Elaboración Propia

El esquema (figura 4) muestra cómo se encuentran las diferentes bombas peristálticas en el sistema de control y los sensores que actúan para este sistema de control.

Figura 4.
Esquema de las bombas peristálticas.



Elaboración Propia

Para poder desarrollar el algoritmo de control se ha utilizado el toolbox de Matlab referente al de lógica difusa, en esta herramienta se ha trabajado las diferentes reglas y relaciones referentes al sistema que luego se han desarrollado en las IOT 2040.

Para la automatización del módulo de purificación de agua en este sistema, se ha determinado el uso de sensores de pH, ORP con dos bombas dosificadoras. Para este caso, se ha planificado el desarrollo de una bomba peristáltica con un motor de DC controlado por una onda PWM . El software de control en la IOT se basa en un algoritmo de lógica difusa (Nicolae, A., Korodi, A., & Silea, I., 2019) desarrollado en lenguaje C++. Para la creación del sistema difuso, se ha utilizado la herramienta de desarrollo Matlab. Una vez probado en este entorno, el sistema se ha programado en la IOT 2040 de Siemens, para las señales de entrada se programaron en el PLC S7-1500 C con el software de trabajo TIA PORTAL (Stenerson, J., & Deeg, D., 2015). El sistema de purificación de agua no es un sistema lineal (Pérez Chueca, P., 2017), la regulación generalmente es manual en lo que respecta a los elementos químicos. Con un control clásico como, por ejemplo, un control PID tendría que existir un lazo de control cerrado por cada sensor y actuador pero el sistema propuesto tiene la capacidad de tener más de dos entradas relacionadas y más de dos salidas como respuesta a los actuadores (Figura 4). Los beneficios de este algoritmo y cómo adaptarlo para un sistema en donde se usa un PLC convencional pueden convertirse en una herramienta realmente útil para otro tipo de proceso donde las variables críticas no obedecen a los fenómenos lineales. La capacidad y velocidad de respuesta de la IOT es apropiada para ejecutar el programa propuesto con los lenguajes mencionados. Las reglas del sistema difuso se desarrollaron específicamente en el lenguaje C++. La recopilación de datos de los sensores se normaliza y se escala con herramientas del sistema TIA PORTAL 15 (Stenerson, J., & Deeg, D., 2015); (Figura 10).

La respuesta de control es una señal analógica entre 0-10 V que esta en función de la cantidad de ferrato y cloruro férrico en el reactor (Mogrovejo-García, P., Prieto-Veramendi, P. M., Flores-del-Pino, L., Eyzaguirre-Pérez, R., & Quino-Favero, J., 2018) . Cabe mencionar que la adición de ferrato en el sistema

reacciona de forma muy rápida con el agua a tratar. Los sensores deben ser de tipo industrial para una adecuada recopilación de datos y rápida respuesta del sistema además de tener una vida más prolongada.

La información que se procesa en el PLC se obtiene a través de los sensores (Song, Y., Bi, Z., & Liu, K., 2007). Esta información se procesa y se lleva a la IOT 2040 para que pueda realizar la etapa de fuzzificación, en este proceso se ha utilizado la función que tiene una característica trapezoidal. Una vez que la señal analógica del pH se ha normalizado (Berger, H., 2014), es necesario encontrar el valor $u(x)$ en el sistema difuso, restar el valor actual del punto de ajuste del sistema para encontrar el error, luego este valor ingresa a la fuzzificación proceso programado en el lenguaje C++ (Figura 5). Al evaluar este error ingresa al sistema de reglas dispuestas como consecuencia de la experiencia del controlador.

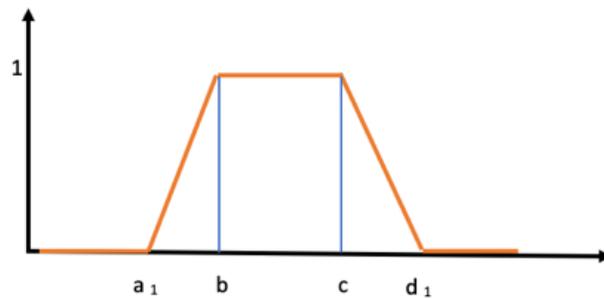
Figura 5.
Ecuaciones de las funciones de membresía.

$$u(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$

Elaboración Propia

El proceso para obtener los valores $u(x)$ Figura 5 con respecto a la entrada y la salida se relaciona con la función trapezoidal Figura 5.

Figura 6.
Forma de las funciones de membresía.



Elaboración Propia

El proceso para obtener los valores $u(x)$ (Figura 5) con respecto a la entrada se relaciona con la función trapezoidal (Figura 6) como la siguiente expresión matemática a la que se hace referencia La fuzzificación.

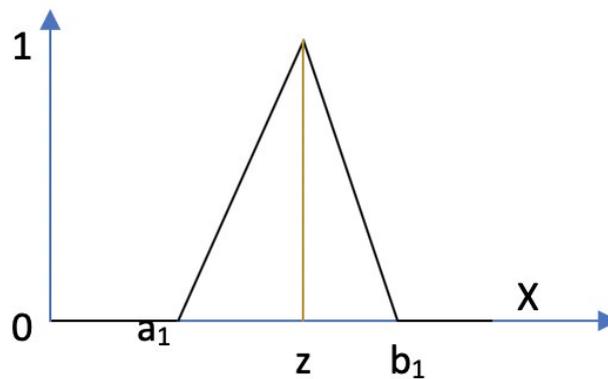
El uso de las funciones triangulares (Figura 8) de membresía son utilizadas en la parte central (cero) tanto en la etapa de fuzzificador como desfuzzyficador constituidas en los valores donde se encuentra en equilibrio o cerca del valor del setpoint.

Figura 7.
Ecuaciones de las funciones de membresía triangulares.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{z - a_1} & \text{si } x \in (a_1, z] \\ \frac{b_1 - x}{b_1 - z} & \text{si } x \in (z, b_1) \\ 0 & \text{si } x \leq b_1 \end{cases}$$

Elaboración Propia

Figura 8.
Forma de las funciones de membresía. triangulares.

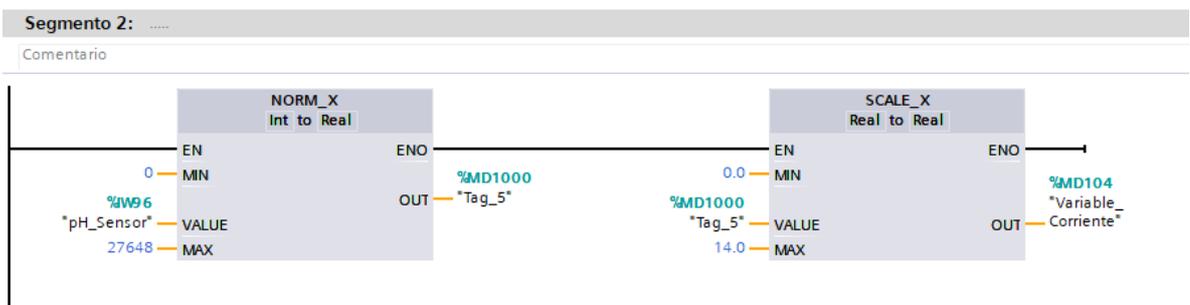


Elaboración Propia

La función triangular (Figura 8) se utiliza en la parte central del sistema de lógica difusa debido a esta función nos permite obtener valores cercanos a los deseados.

El programa en el PLC se debe de utilizar funciones de escalamiento para poder obtener el valor de los sensores, en este caso se muestra el uso de los bloques para normalizar la señal de entrada.

Figura 9.
Señal normalizada de la señal pH.



Elaboración Propia

En (la figura 9) se muestra que la señal analógica se encuentra asignada en el

puerto IW 96 del módulo de entrada analógica y el valor varía entre 0 y 27648, el sensor de pH tiene valores posibles entre 0 y 14. A la salida del módulo SCALE_X la señal se encuentra lista para entrar al PLC que la enviará a la salida del módulo analógico del PLC para entrar con los valores posibles entre 0 y 5 voltios a la entrada del IOT 2040.

La defuzzificación es el valor mínimo de las reglas del sistema (León, P., Lara, H., Aguilar, D., Vega, C., Sotomayor, D., & Espinosa, N., 2015) para este ejemplo se ha utilizado el centro de gravedad expresado por la siguiente ecuación.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{Z}W_i}{\sum_{i=1}^M W_i} \quad (1)$$

El software de la lógica difusa se encuentra en la IOT 2040 y es un módulo por cada bomba peristáltica. La salida, es la señal Pulse-Width Modulation (PWM) que es la respuesta obtenida a través de las reglas de pertenencia [Tabla 1] y que resultan del cálculo del Centro de Gravedad obtenido por la expresión matemática (1) y (2).

$$\text{Donde } W_i = \mu(M_i) = \min \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k \} \quad (2)$$

En la ecuación (1), Z^* representa el lugar geométrico del Centro de Gravedad de todas las posibles reglas involucradas en las soluciones. En la ecuación (2), el término μ_k representa el valor difuso involucrado en el antecedente de la regla i -ésima, donde M representa el número de salidas difusas, con las ponderaciones W correspondientes los valores máximos de los consecuentes involucrados.

La operación de respuesta basada en la teoría del centro de gravedad Ecuación (1) proporciona la respuesta que se escalará para obtener un voltaje de control de la bomba de dosificación de ferrato entre 0 a 5 voltios (Nerurkar, S. S. , 1994).

2.4 Sistema de tratamiento de agua.

Para el tratamiento del agua se ha establecido como punto de partida la integración de las diferentes tecnologías disponibles. En este caso el módulo debe de ser autónomo no sólo en su funcionamiento, también debe utilizar energía solar para la carga de las baterías, éstas serán las encargadas de mantener la autonomía en el sistema. El voltaje de los sistemas de control, así como las bombas peristálticas se han construido a 24 voltios DC, debido a que el PLC tiene como voltaje de trabajo.

Los dos paneles para esta aplicación tienen una capacidad de 100 Wp, lo que daría una autonomía de dos días con los acumuladores dimensionados de 50 Ah cada uno.

Para el ingreso del agua al sistema se encuentra una bomba de caudal variable a fin de controlar el agua a lo largo de todo el sistema, en este punto se tendrá un medidor de caudal magnético en lazo cerrado con el control del PLC para el ingreso correcto del agua a los filtros de anillo, en este punto se medirá el sensor de pH y el ORP.

Luego de pasar el sistema de filtros de anillo tengo otro sensor de ORP, antes del ingreso del ferrato producido un reactor de membrana que se mezclará con el agua a tratar, ya en este punto se encontrará otro sensor de pH para tener una respuesta para controlar que tan bien está trabajando el ingreso del ferrato y el cloruro férrico.

La tubería de PVC de ½" conectada en forma de serpentín hace que sea de gran extensión y provoca una gran turbulencia lo que hace una mejor calidad en la mezcla, esto con el fin de incrementar la mezcla ferrato que es el líquido que permite en un primer momento realizar la purificación del agua. Al ingresar el ferrato el pH en el agua aumenta y para mantenerlo dentro de los valores ideales de 6.5 se hace ingresar el cloruro férrico para que el pH continúe en decremento y así poder estabilizar la variable en el control, para ello a través de la bomba peristáltica se hace ingresar el componente del cloruro férrico con el sistema de control de la lógica difusa.

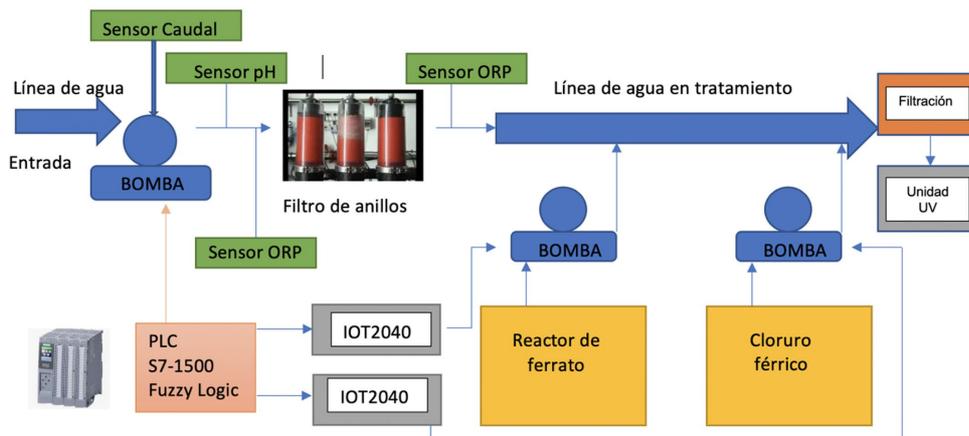
Hay que notar que el sistema tiene en total cuatro bombas peristálticas y cada una de ellas tiene como entrada los diferentes sensores. El PLC debe tener como una de sus características la velocidad de respuesta frente a dos sistemas de lógica difusa para que trabajen en paralelo en el sistema propuesto, para este proyecto se ha planteado la utilización del S7-1500 con un tiempo de respuesta en cada procesamiento de 43 ns.

La salida de control del PLC se está realizando a través de una señal analógica de 0-10 voltios que me permita dosificar los diferentes insumos a través de las bombas de forma variable. El sistema se encuentra monitoreado con un sistema SCADA que me permite visualizar el proceso de forma remota y así poder llevar las diferentes señales de los sensores y ser almacenadas para su posterior análisis y así poder analizar el comportamiento del sistema.

Adicionalmente también cuenta con una pantalla HMI en el módulo que me permita visualizar el comportamiento a través de los valores que indican los sensores, es este punto la pantalla HMI no guarda los datos, sólo es el mando del operador.

2.5 Esquema de la planta portátil propuesta para el tratamiento del agua.

Figura 10.
Esquema de la planta portátil para la purificación del agua.



Elaboración Propia

En la (figura 10) se muestran los pasos que debe tener la planta a ser diseñada y programada. Uno de los limitantes es el tamaño de esta, que debe ser de fácil transporte y que debe trabajar con 24 V y no debe consumir más de 3 amperios hora, está a su vez debe ser alimentada con paneles solares. Para su proceso cuenta con diferentes etapas y en donde se encuentra una bomba peristáltica el PLC la gobierna con el algoritmo de lógica difusa, que debe ser capaz de controlar las bombas en su diferente régimen de RPM, según el parámetro que se está utilizando.

2.6 Diseño e implementación del control de las bombas peristálticas utilizando Fuzzy Logic.

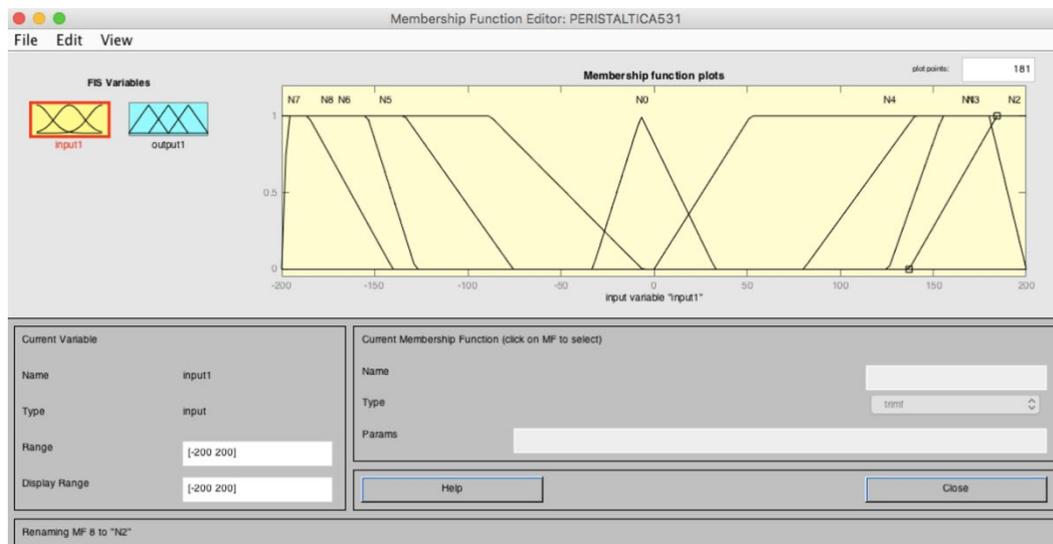
Se ha diseñado un sistema de control de lógica difusa para cada bomba peristáltica de la pH y la de ORP, en este trabajo sólo se expone el desarrollo del sistema para la bomba que controla el cloruro férrico y así poder controlar el pH. Ya que el sistema de ORP tiene funciones de membresía parecidas, pero cambian los valores de $\mu(x)$ en la programación de la lógica difusa.

Para el procesamiento de los valores de las variables de entrada, por ejemplo de pH se calcula el valor de error, que es la desviación que se obtiene a través del valor medido y el punto de ajuste (Li, 1999) .El cálculo que es la resta de los valores de entrada que provienen de los sensores y el punto establecido de control ingresa al sistema difuso, el valor entrada al sistema difuso y el valor de respuesta a la salida regula el voltaje de 0-10 v que sirve para controlar el actuador, en este caso dosificar la bomba peristáltica. Las funciones de membresía en la entrada se muestran en la Figura 11 mostradas líneas abajo. La simulación en el software de Matlab 2019 permite obtener mejores valores en el control a través del IOT (Zhao, J. C., Zhang, J. F., Feng, Y., & Guo, J. X., 2010) .Las variables utilizadas para la entrada son 9 y las cuales se indican a continuación:

Tabla 1. Funciones de entrada con los nombres de las variables en el sistema de reglas difusas embebidas en la IOT 2040.

Variable	Nombre de la función
Negativo _muy alto	N1
Negativo _ alto	N2
Negativo _ mediano	N3
Negativo _ muy bajo	N4
Equilibrio	N0
Positivo _ muy bajo	N5
Positivo _ mediano	N6
Positivo _ alto	N7
Positivo _ muy alto	N8

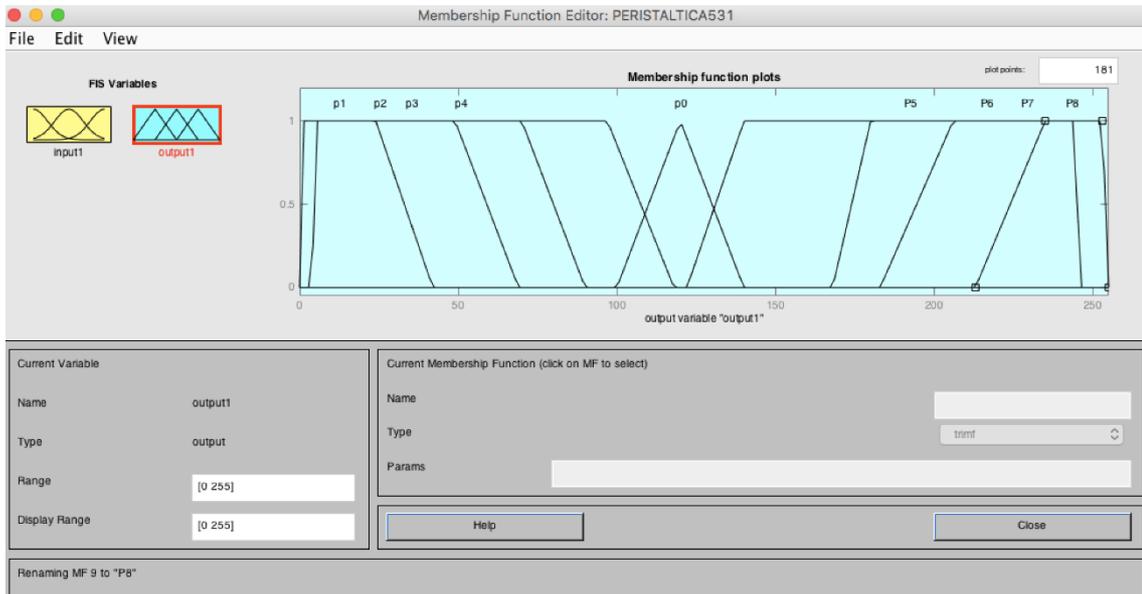
Figura 11.
Funciones trapezoidales de entrada pH.



Elaboración Propia

Las reglas del controlador difuso se muestran en la Figura 12, que se basan en la experiencia del operador (Kocian, J., Koziorek, J., & Pokorny, M., 2011) . Hay un antecedente y consecuente, el antecedente expresa la inferencia que representa la estructura operativa del sistema, el consecuente es el valor de respuesta. Las variables utilizadas para la salida son 9 y se listan en la Tabla 2.

Figura 12.
Funciones trapezoidales de salida pH.



Elaboración Propia

Tabla 2. Funciones de salida con los nombres de las variables en el sistema de reglas difusas embebidas en la IOT 2040.

Variable	Nombre de la variable
Potencia _muy baja	P1
Potencia _baja	P2
Potencia _mediano_baja	P3
Potencia _muy baja	P4
Potencia_ideal	P0
Potencia _muy alta	P5
Potencia _mediano _alta	P6
Potencia _alto	P7
Potencia _muy alto	P8

Elaboración Propia

Las funciones de salida de la Tabla 2 son: Potencia ultra baja, Potencia muy baja, Potencia media baja, Potencia baja, Potencia media, Potencia alta, Potencia media alta, Potencia muy alta, Potencia ultra alta.

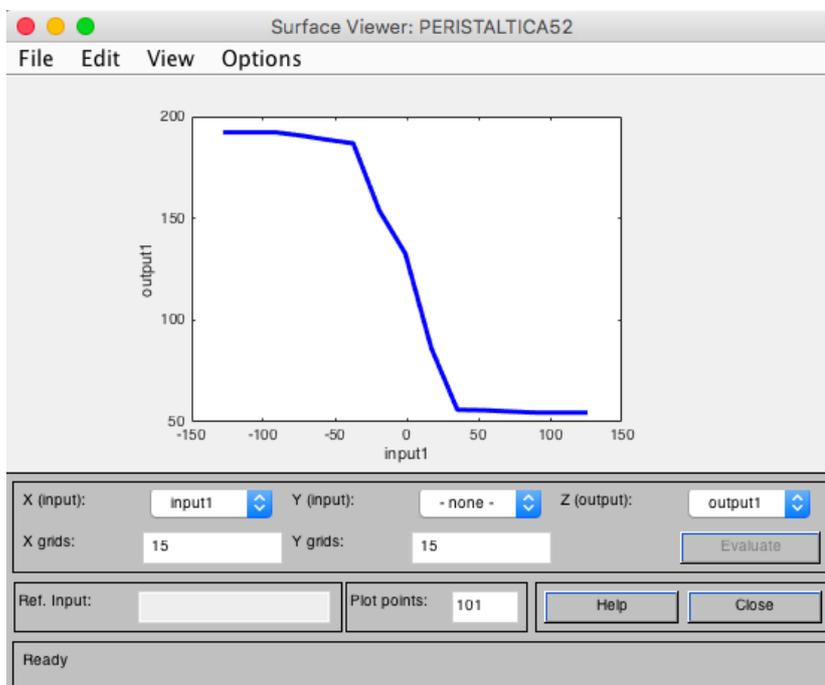
Tabla 3: Funciones de entrada y salida con las reglas difusas del sistema embebido en la IOT 2040.

<u>Funciones en el fuzzificador</u> (entrada)	<u>Sistema de reglas difusas</u>	<u>Funciones en el defuzzificador</u> (Salidas)
El error pH es N1	If (input N0) then (output P0)	La Bomba se ajusta a P1
El error pH es N2	If (input N1) then (output P1)	La Bomba se ajusta a P1
El error pH es N3	If (input N3) then (output P3)	La Bomba se ajusta a P3
El error pH es N4	If (input N4) then (output P4)	La Bomba se ajusta a P2
El error pH es N0	If (input N5) then (output P5)	La Bomba se ajusta a P0
El error pH es N5	If (input N6) then (output P6)	La Bomba se ajusta a P5
El error pH es N6	If (input N8) then (output P8)	La Bomba se ajusta a P6
El error pH es N7	If (input N7) then (output P7)	La Bomba se ajusta a P7
El error pH es N8	If (input N2) then (output P7)	La Bomba se ajusta a P8

Elaboración Propia

Las reglas del Sistema difuso son 9. Para el cálculo del error tiene 9 funciones de membresía. La respuesta tiene 9 funciones de membresía.

Figure 13.
Curva de respuesta del sistema difuso.



Elaboración Propia

Finalmente, la curva de respuesta (figura 13) depende directamente de los valores de entrada en el tratamiento del agua depende de la experiencia del ingeniero a cargo del proceso, de esta forma la experiencia del operador se ha trasladado al sistema difuso a través de las reglas descritas.

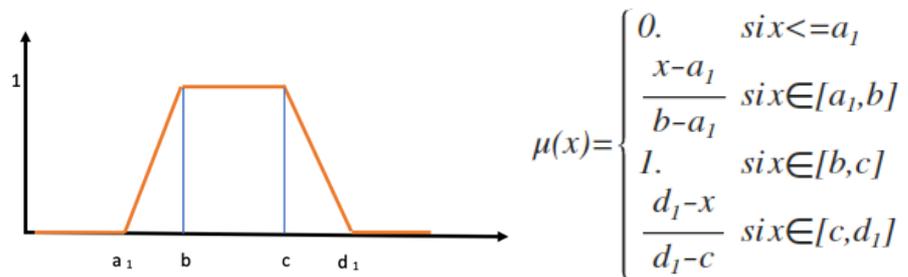
2.7 Desarrollo del controlador Difuso

La finalidad de diseñar e implementar este controlador de carga para baterías de plomo-ácido es la de complementar un componente del módulo de purificación de agua de la unidad de tratamiento diseñada para desastres naturales. Esta unidad contiene un sistema de paneles solares que brinda energía al módulo mediante la carga de baterías utilizando un controlador compuesto por un procesador Atmega328, cuyo voltaje es entregado por el panel solar a la batería a través del software basado en lógica difusa, capaz de dejar pasar hasta un máximo de 6 A CC por el circuito de potencia del controlador. Como resultado se logra la carga de la batería en menos tiempo (en promedio 7 horas a máxima capacidad), en donde la duración de la vida útil de la batería guarda relación con la frecuencia predeterminada de la onda de carga, siendo nuestro software adaptable a diferentes algoritmos de control mientras se conserva el mismo hardware.

El objetivo de esta propuesta es desarrollar un cargador a medida, que tenga las prestaciones antes descritas y que esté construido con componentes electrónicos disponibles en el mercado local. Las ventajas de esta forma de desarrollo incluyen: un diseño ad hoc apto para la operación a la intemperie en condiciones climáticas locales; acceso fácil para el recambio de componente electrónicos -como la tarjeta de control y la tarjeta de potencia que en este caso son diferentes e independientes- y la disminución sensible de los costos de importación de un producto terminado con dichas características. Ello podrá contribuir aún más a la disminución de los costos operativos que se viene registrando en el Perú desde 1993 en lo referido a la electrificación rural fuera de la red .

Las funciones de pertenencia usadas (Chevrie, F., & Guely, F. , 1998) tanto para el fuzzificador como para el defuzzificador son de tipo trapezoidal (figura 14) el programa cuenta con 4 funciones de pertenencia para el fuzzificador y en igual número para el de defuzzificador.

Figura 14
Funciones trapezoidales del control difuso.



Elaboración Propia

III. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3. Diseño de Investigación Realizada

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es Tecnológica-Aplicada, basado en conocimientos existentes obtenidos mediante la investigación y/o experiencia práctica. Esta investigación se guía por un interés eminentemente práctico y vinculado a producir artefactos, modificar el medio para generar bienestar y satisfacer las necesidades humanas (Valderrama Mendoza, S., 2020). Esta investigación se adapta a la siguiente clasificación:

- a) Por su finalidad es Aplicada, por que busca resolver problemas utilizando los conocimientos para hacer, actuar y ponerlos en práctica. (Valderrama Mendoza, S., 2020).
- b) Por su carácter será es Cuantitativa, considerando que los aspectos objetivos y susceptibles de cuantificación del fenómeno deben ser calculables y cuantificables. (Valderrama Mendoza, S., 2020).
- c) Por su naturaleza experimental, esta investigación se apoya en la observación de fenómenos provocados o manipulados en laboratorios o ambientes artificiales. (Valderrama Mendoza, S., 2020).
- d) Por su diseño será Pre experimental, diseñada para un grupo con Pre-Prueba y Post Prueba con la manipulación de la variable dependiente, mencionado por Ary Donald (2006, (Valderrama Mendoza, S., 2020)).

Diseño Pre Experimental

Pre-Prueba	Variable Independiente	Post Prueba
Y_1	X	Y_2

Tabla 4: Diseño experimental.
Adaptado de: (Valderrama Mendoza, S., 2020)

Mencionado por Ary Donald (2006, (Valderrama Mendoza, S., 2020)).

Donde:

Y_1 : Se pretende medir la variable dependiente con un conjunto de pruebas previas, el Sistema experto con lógica difusa (Pre-Prueba), medido a través del

conjunto de pruebas realizados con los simuladores de pH y ORP, para probar la eficacia del software antes de probarse en el sistema de la planta automatizada.

X: Es el tratamiento experimental, el cambio de la variable independiente, reducción del arsénico (III) y el arsénico (V).

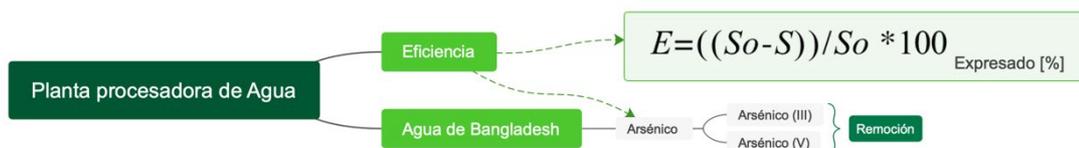
Y₂: Se pretende medir nuevamente la variable dependiente, el Sistema experto con lógica difusa (Post Prueba) después de su funcionamiento de la planta, logrando los datos mostrados en el acápite 3.4 y 3.5.

- e) Por el marco en que se desarrolla serán observaciones de campo experimentales realizadas a través de sensores montados en la planta de tratamiento de agua. (Valderrama Mendoza, S., 2020)

3.2 Variables Operacionalización de la investigación

El esquema que se muestra a continuación, planteado para esta investigación se ha detallado en: (anexo 1 y anexo 2).

Figura.15
Constructo utilizado en el proyecto de investigación



Elaboración Propia

3.2.1 Variable Independiente (V.I): Sistema experto con lógica difusa

3.2.1.1. Definición Conceptual:

Un sistema experto con lógica difusa es un conjunto de herramientas que se encuentran compuestas por software y hardware y que trabajando en conjunto contienen la información de un especialista (Ponce, C. V., & Rojas, B., 2019) y que son capaces de procesar señales analógicas para obtener una respuesta

en los actuadores con el fin de suministrar para este caso la mezcla justa y necesaria del ferrato y el cloruro férrico.

3.2.1.2. Definición Operacional:

La implementación del sistema experto con lógica difusa se realizará en la planta piloto diseñada y armada sólo para este fin de comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas propuestos.

3.2.1.3. Indicadores:

Uno de los indicadores es la remoción de metales y metaloides que fueron corroborados en la planta de INIA, con fondos concursables en el año 2015 que se muestran en el en el acápite 3.10.

3.2.2. Variable dependiente: Reducción del arsénico

3.2.2.1 Definición Conceptual:

El arsénico y sus compuestos son considerados como cancerígenos para los seres humanos que podrían alterar la salud ante el consumo prolongado de este presente en aguas arsenicales. (Francisca, 2014).

3.2.2.2 Definición Operacional:

Se ejecutará utilizando los datos experimentales para realizar el levantamiento de información con los datos a través del tiempo Pre-Test.

3.2.2.3 Dimensiones:

Eficiencia: La remoción de algunos de los contaminantes en el tratamiento de agua se determina por la siguiente ecuación que relaciona solo un parámetro biofísico en el efluente frente al efluente como se muestra en la siguiente ecuación (Farrell, M. J., 1957) (Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., 1978). Instalar tecnología inteligente usando sensores de pH y ORP es parte de la respuesta a mejorar la eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales

para reducir el As(III) y As(V), ya que los servicios inteligentes serán el nuevo estándar dentro de los 10 a 15 años. (Tecnología para la industria., 2018)

3.2.2.4 Indicadores de Eficiencia

La eficiencia mide la razón entre las salidas y las entradas de un sistema donde los recursos empleados son escasos para obtener un resultado en la producción, es decir reducir los costos en transformar las entradas específicas en salidas aceptables para el sistema (Katz, D., & Kahn, R, 1977) (Fernández-Rios y Sánchez, 1997) (Pal, P., 2015).

$$Eficiencia = \frac{Salidas}{Entradas}$$

Fórmula de Eficiencia.
Adaptado de (Pal, P., 2015)

Escala:

La escala usada es la ratio de la razón del cálculo se obtiene un valor que es la medida de la eficiencia.

3.3. Población y Muestra de la Investigación

3.3.1 Población de la investigación:

La población representa a un grupo de elementos a partir de algunos criterios predefinidos para luego obtener una muestra (Valderrama Mendoza, S., 2020).

Es un conjunto de elementos o individuos que poseen, al menos una característica en común delimitado de un espacio y tiempo. (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016)

En el presente trabajo de investigación la población estará formada por la data obtenida a través de los sensores de pH y ORP conectados al PLC S7-1500 y la nube, en donde se almacena la data.

3.3.2 Muestra de la investigación

Es el subconjunto de elementos del que se va a recolectar datos que representan a toda la población. (Valderrama Mendoza, S., 2020) .

Una muestra debe mostrar las características típicas que poseen los elementos de toda la población. (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016). Podemos tener acceso a una población pequeña, afirma (Horna, A. A. V., 2010) se puede trabajar con ella en su totalidad y no es necesario extraer una muestra.

La población es pequeña debido a que en el proceso, la toma de datos es el cuello de botella debido a que la máquina que procesa la cantidad de arsénico en el agua toma un tiempo en procesar “HPLC acoplado a un sistema de generación de hidruros y como detector un espectrómetro de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AFS) PSA Millennium Excalibur (PSA Analytical Ltd, Kent, U.K.” y esto se hace en tiempo real, es decir el agua sigue siendo tratada y se toman 3 muestras cada intervalo de tiempo, una muestra es de respaldo y las otras dos son para encontrar la cantidad de As(III) y As(V) para un proceso de 40 minutos, en la planta, bajo estas condiciones la cantidad de muestras es de 10 muestras. (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016).

3.4 Las técnicas, los instrumentos de recolección de datos, la validez y confiabilidad de estos.

3.4.1 Técnica de investigación Aplicada:

Las técnicas para recopilar información son: La observación, las entrevistas, los cuestionarios, la revisión de documentos. (Daen, S. T. , 2011). Dependiendo del nivel de conocimiento científico al que espera llegar el investigador, es decir de acuerdo al tipo de información que espera obtener. También se tendrán en cuenta los objetivos y las hipótesis planteadas con anterioridad. (Hidalgo, I. V., 2005).

La técnica utilizada será: La revisión de archivos generados en Excel (documentación) (Valderrama Mendoza, S., 2020) como consecuencia de la toma de datos a través de los sensores instalados en la planta de tratamiento.

El tipo de investigación será Causal, teniendo en cuenta los siguientes atributos: De finalidad tecnológica y aplicada, de nivel exploratorio, de profundidad explicativa, de fuentes Primarias, de medios usados documentales, de marco correspondiente de laboratorio, y los estudios se realizan en una planta piloto. (Valderrama Mendoza, S., 2020) .

La técnica usada será: La toma de datos de forma estructurada usando los medios tecnológicos disponibles en los sistemas automatizados con el hardware y software usados en esta investigación: PLC S7-1500, IOT 2040 y el software implementado para esta tesis, a través de estos sistemas permite la manipulación de tablas para el análisis . (Stenerson, J., & Deeg, D., 2015).

3.4.2 Instrumento Aplicado: Instrumentos a través de medios electrónicos.

Son sistemas complejos y completos que nos permiten detectar las variables a medir (Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R., 2018) y que los valores obtenidos tienen una calidad bastante alta en la medición, porque estos sensores industriales de encuentran calibrados en fábrica, la Concentración del arsénico As(III) y As(V) se determinada por Cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC= acoplada a generador de hidruros)HG= y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF).

3.4.3 Validez de la recopilación de datos en la investigación aplicada.

Los requisitos que debe de cumplir un instrumento son: La confiabilidad, la validez del contenido (Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R., 2018), para que el instrumento sea preciso en la toma de datos y válido en el valor medido de los sensores.

3.4.3.1 Validez

La validez se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir. (Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R., 2018).

3.4.3.2 Validez de Expertos.

Se refiere a recopilar las opiniones de expertos en el tema de estudio de la investigación y que verifican el instrumento seleccionado para validar el indicador que se quiera medir. (Valderrama Mendoza, S., 2020).

Los siguientes expertos que dan validez al instrumento de medición de esta tesis de investigación aplicada son:

Nombres	Especialidad
Ph.D. Lisbeth Vilma Flores del Pino	Ingeniería Ambiental y Toxicología Ambiental
Ph.D Javier Martín Quino Favero	Ingeniería Ambiental y Microbiología
Dra. Ana Cecilia Valderrama Negrón	Especialidad en Química.
Dr. Erich Arturo Saettone Olschewski.	En Ciencias con mención en Física.
Dr. José Luis Castillo Sequera	En Computer Science.

Expertos que validaron los instrumentos de investigación

Los temas revisados por los expertos son verificables en el anexo 3.

3.4.3.3 Confiabilidad:

Los instrumentos son confiables si son aplicados en diferentes situaciones y dan como respuesta resultados consistentes. (Valderrama Mendoza, S., 2020).

Para el experimento de remoción del arsénico se ha realizado de la siguiente manera: consta de dos ciclos, el primero con pH de 9.5 y el segundo ciclo 6.5 pH, todo esto de forma continúa y un tiempo de 40 minutos. Esto con el fin de verificar la validez del instrumento a diferentes valores de pH. Esto determina la confiabilidad del instrumento de medición (Valderrama Mendoza, S., 2020).

En el anexo 4 podemos observar los datos recopilados para probar la confiabilidad del instrumento.

3.4.3.4 Fiabilidad del Indicador de Eficiencia

Resultados de prueba, para verificar el grado de relación lineal entre dos variables aleatorias X e Y que son obtenidos a partir de una muestra de tamaño n, se ha utilizado el coeficiente de Pearson, este coeficiente toma valores entre -1 y 1. (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016).

Para el calculo del Test se ha utilizado el paquete informático SPSS V.27

Correlaciones

		As total	As(III)
As total	Correlación de Pearson	1	,911**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
As(III)	Correlación de Pearson	,911**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaboración Propia

Tabla 5 de correlación del Arsénico total con el Arsénico (III) en la prueba. El coeficiente de Pearson (r) es +0,911, lo que nos indica una relación positiva fuerte. La prueba es significativa considerando que P=0.000, menor al valor P<0.05.

Correlaciones

		As total	As(V)
As total	Correlación de Pearson	1	,933**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
As(V)	Correlación de Pearson	,933**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaboración Propia

Tabla 6 de correlación del Arsénico total con el Arsénico (V) en la prueba.

El coeficiente de Pearson (r) es +0,932, lo que nos indica una relación positiva fuerte. La prueba es significativa considerando que $P=0.000$, menor al valor $P<0.05$.

3.4.3.5 Determinación de la concentración del As (III) y As(V)

El análisis del arsénico se ejecutó con un HPLC acoplado a una máquina que es capaz de generar hidruros y el detector utilizado es un espectrómetro de fluorescencia atómica. Para la investigación se preparó un documento científico donde se describe el uso de esta máquina y se hace el procedimiento descrito a continuación. (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

El arseniato que fue utilizado fue una solución Merck Certipur trazable a SRM de NIST H_3AsO_4 en HNO_3 0,5 mol/l 1000 mg/l As. El estándar de arsenito de sodio fue preparado disolviendo 989,2 mg de As_2O_3 (base de metal traza 99.995%, Aldrich) con unos cuantos pellets de NaOH en aproximadamente 100 mL de agua ultrapura y neutralizando la solución con HCl y registrando el pH con un electrodo de vidrio (Kelkar, B., & Postlethwaite, B., 1994); el volumen de 1000 mL para obtener una solución 0,010 mol/L As (III). Todas las muestras fueron filtradas con 0,2 μm y analizadas inmediatamente. En este experimento se tenían muestras que no se analizaron inmediatamente y que fueron preservadas, de EDTA 50 mg/mL. (Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J., 2017); (Hao, L., Liu, M., Wang, N., & Li, G., 2018).

3.5 Método de análisis de datos de la investigación realizada

La cantidad de muestras es menor a 30, se comprobará que la distribución T-Student comprobando que los datos de la muestra del experimento cumplen una normalidad en los mismos, con el objetivo es de encontrar diferencias entre ellos (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016).

Para el trabajo de investigación se realizaron las siguientes pruebas estadísticas.

- a) Se aplicará esta condición con una prueba de distribución T-Student.
- b) Y luego se le someterá a la prueba de Normalidad Shapiro Wilk.

A continuación, se somete a los datos a la prueba de normalidad, para realizar estas pruebas se utiliza el paquete informático SPSS v.27.

3.6 Aspectos Éticos de la investigación realizada

La investigación tiene como propósito generar nuevas teorías, descubrir nuevos teoremas, que sumadas todas ellas dan lugar al desarrollo de nuevos conocimientos científicos propios de los seres humanos. Si se rompe el aspecto ético en donde se varían los datos de la investigación o se manipula la investigación que generará datos no reales se considera una falta de ética en la investigación. (Hernández Islas, M., 2016).

La ética es importante en el proceso de investigación, si no se cumple esta premisa, deja de tener sentido el propósito de la investigación. (Balbuca Encalada, L. K, 2017).

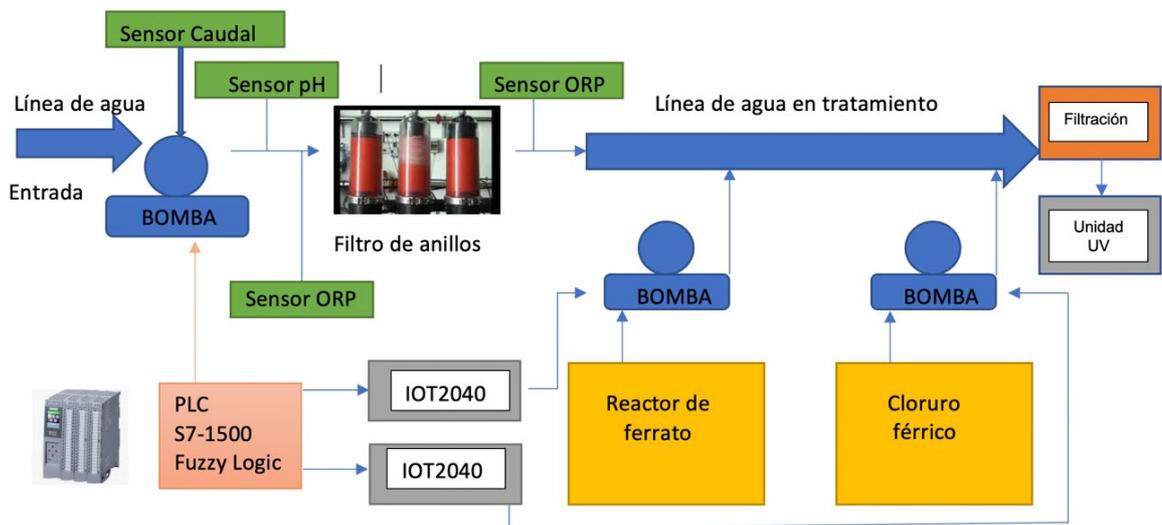
3.7 Materiales y métodos empleados para realizar la investigación.

La figura muestra del prototipo compuesto por 2 bombas peristálticas de flujo variable. Un sensor de pH y dos sensores de ORP de marca Endress Hauser. El sensor de caudal de marca Siemens, todo el sistema se encuentra en una tubería de ½" con una capacidad de tratar agua hasta de 2 l/min.

El primer módulo se encuentra compuesto por la bomba de alimentación con el sensor de caudal. Esta bomba de voltaje continuo es capaz de regular su voltaje para poder controlar el caudal deseado a través de una PWM (Pulse Width Modulation).

El segundo módulo es el que se encuentra compuesto por el sensor de pH, el filtro de anillos, los dos sensores ORP, la bomba del reactor de ferrato y la bomba del cloruro férrico.

Figura 16.
Sistema de tratamiento de agua.



Elaboración Propia

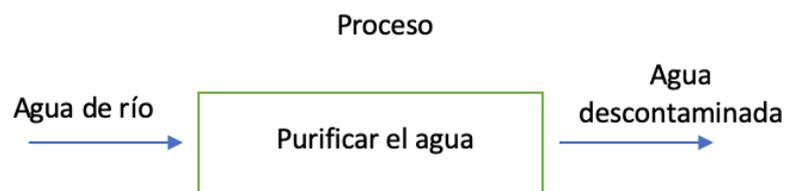
La figura 16 muestra el sistema de procesamiento del agua con los diferentes procesos involucrados. Las dos bombas peristálticas que se aprecian son los motores de corriente continua que se encargan de mover los fluidos, estas tienen una característica especial, los líquidos en ningún momento tocan las partes metálicas de la bomba.

Los métodos utilizados para el desarrollo de la investigación se fundamentan en: Experimentos basados en los documentos científicos analizados durante el capítulo II. Algunos de estos experimentos han sido diseñados y experimentados y fueron realizados en el laboratorio para obtener los métodos que se mencionan a continuación.

- El primer método, es el uso de un filtro de anillos, proceso unitario que en una primera etapa permite la separación de los sólidos de mayor tamaño que ingresan al módulo de purificación del agua.
- El segundo método es el uso del reactor de ferrato para la desinfección del agua como un sistema automatizado, que forma parte de una de las etapas de todo el sistema.
- El tercer método es la preparación del agua con una concentración de caolín de 10 ml, esta suspensión se encuentra diluida en 50 litros de agua. Esta concentración es determinada a través de la prueba de jarras para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento,
- El cuarto método consiste en crear el sistema de tratamiento de agua con un sistema de mezcladores estáticos que permitirán la mezcla de forma homogénea del coagulante y el floculante.

A continuación (figura 17) se muestra el proceso de operaciones de forma sencilla que permiten cumplir los procesos estratégicos planteados en la propuesta.

Figura 17.
Entrada y salida del Proceso.

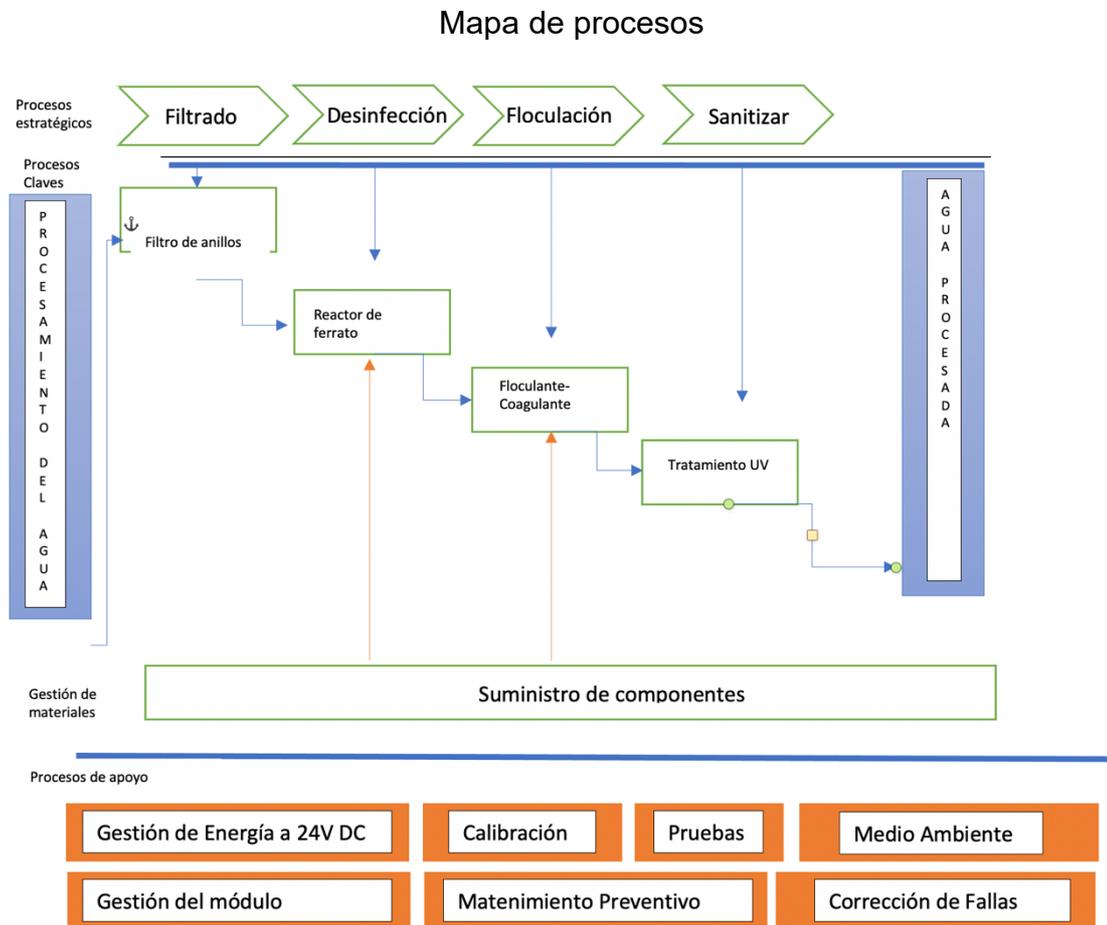


Elaboración Propia

A continuación, se muestra (figura 18) el mapa de procesos, en ellos se describen los procesos operacionales, asimismo mostramos los procesos de apoyo que dan soporte a la realización de los procesos operacionales en base

que estos permiten cumplir los procesos estratégicos planteados en la propuesta.

Figura 18.
Mapa del proceso del sistema de purificación del agua.



Elaboración Propia

3.8 Procesos para realizar la propuesta.

Para realizar el experimento de lograr obtener el floculante adecuado, y la formación debida de este, empleamos procedimientos químicos que permiten aglomerar sustancias de tipo “coloidales” empleadas en el agua a tratar. Todo ello, con el fin de permitir la “decantación del floculante” usando los filtros elaborados para ello. En otro tipo de procedimientos se ha logrado obtener procesos de coagulación y floculación, consiguiendo que la coagulación sea un proceso que permita la estabilización de las partículas coloidales causadas por

la adición de un reactivo. Este es el caso del “Siflog 3940”, el cuál neutraliza sus cargas electrostáticas permitiendo que las partículas tiendan a unirse entre sí.

Para lograr que el proceso sea más efectivo utilizamos un aglomerado de partículas llamados microfloculos y luego utilizamos los floculos más grandes (que tienden a ser retenidos en los filtros). El factor que promueve la coagulación y la floculación es la gradiente de velocidad estos son importantes porque aumentan la posibilidad de que las partículas se unan y aumente el tiempo que estas puedan descender; las otras variables utilizadas son el tiempo y la variable pH, tal como se plantearon en las hipótesis de trabajo.

La variable pH ayuda a desestabilizar el floculante y el coagulante. En otro tipo de procesos; como por ejemplo en la minería los floculantes son polímeros de tipo sintéticos de un gran peso molecular que posee una gran cadena y que tienen más afinidad con las superficies sólidas (estas moléculas se fija por absorción a las partículas y así se origina la floculación).

La propuesta de solución para el tratamiento de agua para consumo humano se realiza en plantas donde la separación de los contaminantes tiene como objetivo producir efluentes reutilizables para el medio ambiente; así como los lodos para ser reutilizados.

El objetivo principal de este trabajo es usar el agua que puede provenir de un río (en el mejor de los casos); y potabilizarla a través del presente trabajo, acogiéndose a las regulaciones y controles estatales. Como resultado final, la masa biológica tratada será removida en base al reactor de ferrato, y aplicando el floculante y el coagulante propuesto que luego pasará a un sistema de filtros y se implementará una unidad UV. Este proceso propuesto constituirá un efluente natural, donde los sólidos segregados experimentaran un tratamiento de neutralización.

3.9 Procedimientos de la propuesta.

Para simular el agua sucia en el laboratorio, se utiliza un producto llamado caolín, este se realiza en una mezcla controlada de 10 ml de esta suspensión diluida en 50 l de agua, esta mezcla ayuda a trabajar con un sistema en estado controlado para tener puntos de operación conocidos para que el sistema pueda

funcionar en estados previamente establecidos y tener una respuesta apropiada en las bombas de mezcla. Las mezclas del floculante y el coagulante se deben de ingresar por medio de bombas peristálticas, donde el control de ellas se hace con el PLC en donde se encuentra alojado el programa de lógica difusa.

3.10 Materiales y métodos de la propuesta.

A continuación, describimos y detallamos cada uno de los materiales utilizados. Dentro de los materiales y métodos utilizados a lo largo de las experiencias realizadas se tiene:

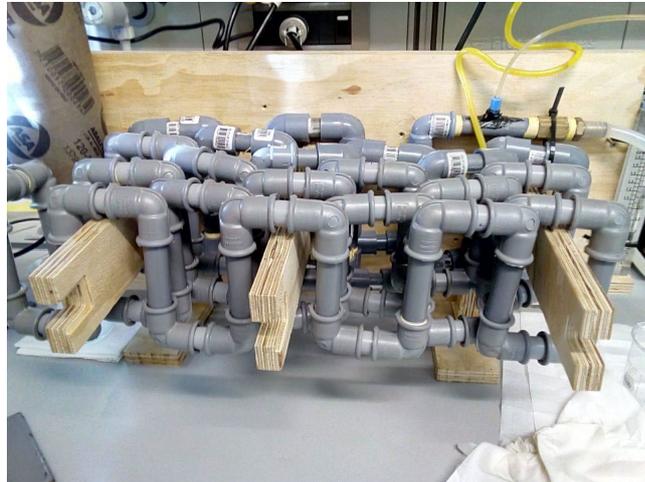
Para el ingreso del floculante es a través de la bomba peristáltica de la izquierda, si aprecia en la entrada de la tubería de mezcla, la bomba pequeña de la derecha es la que inyecta el sistema el caolín (figura 19).

Figura 19.
Sistema de inyección del floculante y del caolín.



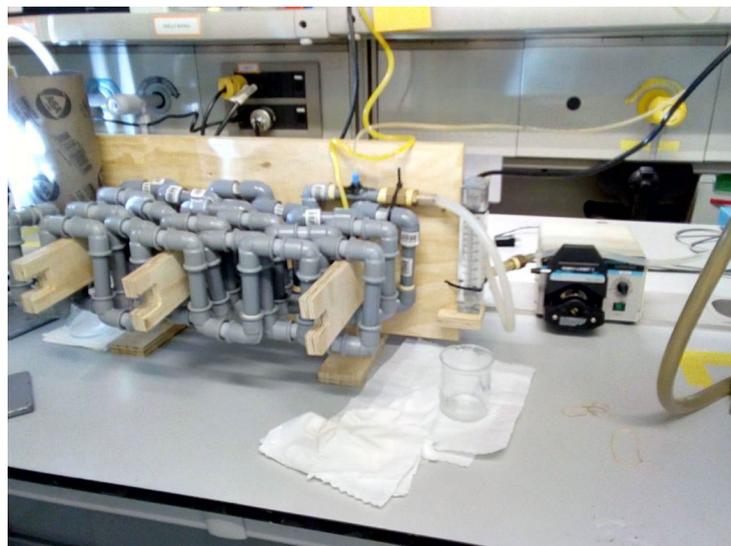
Para una mezcla uniforme se ha realizado un serpentín figura 19, en una tubería de $\frac{1}{2}$ " pulgada con una distancia equivalente de 2.5 m, a la derecha de la figura se aprecia un medidor de caudal para determinar el correcto caudal del sistema. El diámetro de la tubería se debe al caudal del procesamiento (figura 20).

Figura 20.
Serpentín de mezcla en tubería de ½ pulgada.



A la derecha de la (figura 21) se aprecia una bomba peristáltica que permite regular el agua a tratar, el medidor de flujo permite la correcta dosificación de esta.

Figura 21.
Sistema propuesto, primeras pruebas en la tubería de ½ pulgada.



Para preparar el caolín figura 21, se utiliza un sistema de batidora en el laboratorio. La mezcla a través de este sistema se consigue más uniforme con una RPM en promedio de 200.

Figura 22.
Sistema de preparación del caolín.



Se muestra la siguiente fotografía 22, donde se puede ver el caolín obtenido con el sistema de adquisición de datos a través del Matlab. Se aprecia el proceso de floculación.

Figura 23.
Floculación Obtenida.



El sistema debe ser capaz de mezclar el caolín con el floculante para obtener el óptimo floculante como se aprecia en la (figura 23).

Figura 24:
La solución patrón de Caolín.



El caolín 10 ml de esta suspensión diluida en 50 l de agua produce una turbidez 140 NTU. Este es el elemento que simula la suciedad del agua, se crea en el laboratorio con una concentración determinada para el proceso. La unidad de turbidez es la NTU.

Figura 25.
Prueba de jarras para evaluar dosificación preliminar del coagulante y floculante.



La prueba de jarras es una metodología que se emplea para hacer un procedimiento de cuantas RPM y que cantidad de caolín es necesaria para tener un NTU determinado.

Figura 26.
Se adiciona con una pipeta de precisión 10 ml de suspensión de caolín.



Para tener una precisión al realizar la mezcla adecuada en la batidora del laboratorio se adiciona la cantidad de caolín con la cantidad mencionada de tal forma que las mezclas de todos los experimentos son iguales y con la misma calidad, esa es la importancia de repetir el proceso.

Figura 27.
Agitación continuamente para evitar que se sedimente el caolín.



A lo largo del proceso el sistema de batido se mantiene constante y una de las bombas peristálticas alimenta al sistema de producción, es decir el agua entra al sistema de purificación de forma directa de este sistema manteniendo la uniformidad de la mezcla.

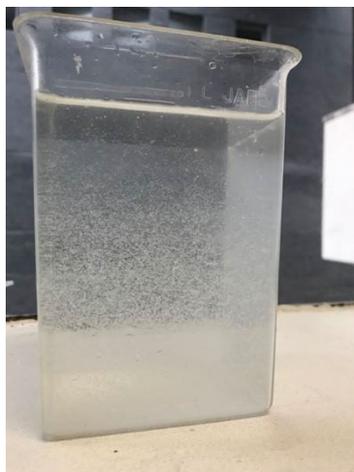
Figura 28.
Equipo para medir la turbidez.



Cada vez que se prepara una mezcla de agua con caolín se hace una toma de la turbidez de esta para llevar un control de esta. El equipo mostrado saca una muestra en tiempo real de la turbidez.

En la siguiente cuba se aprecia como el agua sale de la prueba de jarras y se observa como el agua se encuentra con partículas flotando tanto en la superficie como a lo largo del recipiente.

Figura 29.
Inicio del proceso de sedimentación.



Al producirse la sedimentación las partículas de sólidos se comienzan a decantar en el fondo del recipiente.

Figura 30.
Flocs en el fondo del recipiente.



En el fondo del recipiente se puede observar los Flocs aglomerados, es decir las partículas pesadas se quedan en el fondo, en la práctica se extraen con un sistema de filtros de 5 micras.

Figura 31.
Extracción de muestra para medir turbidez.



Luego después de un tiempo las partículas decantan, se toma una muestra de la parte superior, se toma la turbidez del sistema mezclado y se obtiene una muestra de la superficie y luego se toma el nuevo valor de la turbidez.

Figura 32.
Turbidez final después del tratamiento.



La turbidez tomada de la superficie es de 6.13 NTU, eso luego después del sistema de tratamiento de agua.

Figura 33.
Bomba peristáltica para impulsar el agua.



La bomba peristáltica mostrada es la que inyecta el agua con el caolín en el sistema de tratamiento. Es la bomba que hace pasar a través del serpentín y el sistema de del mezclador estático el agua a tratar.

Figura 34.
Bomba peristáltica para impulsar el floculante.



Esta es la bomba que se encarga de suministrar el floculante en un caudal de 0.5 ml/min al Sistema de purificación de agua. Esto en concordancia al diámetro de la tubería y al caudal necesario en el sistema propuesto.

Figura 35.
Bomba peristáltica para impulsar el coagulante.



Esta bomba es la encargada de impulsar al sistema de procesamiento de agua el coagulante. Para poder sedimentar los coloides es necesario tener un determinado tamaño de partícula, esto se hace posible a la coagulación. Por otro lado, el floculante es el encargado de reunir las partículas que ya fueron coaguladas transformando partículas individuales en aglomerados.

3.11 Instrumentación del sistema de procesamiento del agua

En el sistema del procesamiento del agua se utiliza la siguiente instrumentación.

3.11.1. Sensor de caudal.

Sensor SITRANS FM MAG 5100 W . Diámetro nominal: DN 15 (1/2") (solo revestimiento de PTFE) Norma de brida y presión nominal: ANSI B16.5: Clase 150 (1/2" - 24") Bridas de acero al carbono ASTM A 105, Revestimiento resistente a la corrosión la categoría C4 Material de revestimiento: Goma dura NBR Material de los electrodos Hastelloy C276 Transmisor con indicador: MAG 5000, (poliamida) 115 - 230 V AC Ninguna comunicación por bus Pasa cables/ caja de bornes: 1/2" NPT: Caja de bornes de poliamida. SIEMENS. Código: 7ME6520-1VJ13-2LA2.

Figura 36.
Sensor de flujo sin contacto directo en el agua.



3.11.2. Sensores de pH.

Sensor tipo vidrio

El elemento sensor del electrodo de vidrio de pH estándar es una capa de gel en el bulbo de vidrio con un grosor sub micrométrico. Esta capa puede incorporar H^+ y esto resulta en un cambio del potencial electrostático a través del bulbo de vidrio. Este cambio potencial se mide en relación con un elemento de referencia que está en contacto con el medio por el diafragma para crear un circuito eléctrico cerrado.

Figura 37.
Sensor de vidrio: Orbisint CPS11 / CPS11D



3.11.3 Sensor de ORP.

Sensores combinados de ORP

Esto permite la medición del potencial de ORP para una mejor visión general del proceso. Alternativamente, el elemento de platino se puede usar para medir la impedancia de referencia para anticipar disminuciones en la calidad del sensor. Los sensores combinados entregan directamente valores de HR que dan información sobre un medio oxidante, neutral o reductor.

Figura 38.
Glass sensor: Ceragel CPS71/CPS71D.



3.11.4. Simatic PLC S7-1500.

Es la computadora del sistema. El CPU es de gama alta dentro de la familia de PLC de la marca Siemens.

La CPU 1512C-1 PN es la CPU compacta para aplicaciones con requisitos medios de velocidad de procesamiento y velocidad de respuesta en tecnología de producción discreta.

La CPU 1512C-1 PN tiene 5 entradas analógicas, a través de las cuales se pueden adquirir señales de proceso analógicas, como presión o temperatura. De estos, se pueden usar cuatro entradas para la medición de corriente o voltaje y una entrada para la medición de resistencia.

Las salidas analógicas integradas directamente en la CPU convierten un valor digital de 16 bits en corriente o voltaje y lo envían al proceso. Son adecuados para controlar válvulas proporcionales, por ejemplo.

Mediante las 32 entradas digitales integradas, las señales de 24 V CC de la planta se pueden grabar directamente en el controlador.

Las 32 salidas digitales integradas conmutan voltajes de 24 V CC y, por lo tanto, transfieren señales internas desde el controlador a la planta.

Los contadores integrados ofrecen la posibilidad de grabar señales tan rápido como 100 kHz y evaluar el estado del contador o la velocidad actual directamente en el controlador sin la necesidad de módulos adicionales. La velocidad se puede emitir como una frecuencia o período, o como una velocidad normalizada por el usuario.

Las funciones de control de movimiento de la CPU pueden usar los contadores como un valor de posición real y las salidas analógicas como una salida de velocidad de consigna.

Figura 39.
PLC S7-1500.



3.11.5. IOT 2040

SIMATIC IOT2040 es ideal como puerta de enlace entre la nube o el nivel de TI de la empresa y la producción. La apertura del sistema permite soluciones personalizadas.

Numerosas posibilidades de programación en lenguajes de alto nivel

Soporte Yocto Linux

Fácilmente ampliable con Arduino shields y tarjetas miniPCIe

Diseño industrial compacto y montaje en rieles DIN

Pasarela IOT 2040 con Procesador Quark de Intel con características: 1 GB de RAM, 2 puertos Ethernet, 2 puertos RS232/485, reloj de tiempo real respaldado por batería, Calidad SIMATIC probada y extremadamente robusta. (Ramon, M. C., 2014)

Figura 40.
IOT 2040



3.11.6. Bombas peristálticas.

Una **bomba peristáltica** es una máquina de desplazamiento positivo usada para mover un fluido a través de una manguera, donde este no toca ninguna parte metálica.

Figura 41.
Bomba peristáltica.



3.11.7. Materiales y métodos de la propuesta del controlador solar.

El diseño del circuito se elaboró con el software Eagle® de Autodesk; el mecanizado de la tarjeta electrónica se realizó con un CNC Roland provisto de una fresa de diámetro 0.3 mm con la cual se obtuvieron las pistas para el circuito en la placa de cerámica.

Actualmente los procesadores Atmega 328 brindan la posibilidad de crear nuevos dispositivos electrónicos en donde la potencia del procesador, acompañado de un software adecuado, puede generar soluciones bastantes interesantes. El desarrollo de la tarjeta de potencia junto con la tarjeta electrónica, donde se encuentra el software de control, origina una capacidad inigualable al materializar el diseño de un dispositivo electrónico.

La etapa posterior al desarrollo de las tarjetas es la de encapsular toda esta electrónica en un modelo optimizado. Los trazos y diseños iniciales se vuelcan a través de tabletas de dibujo electrónicas que acompañan a los computadores donde se enmarcan los softwares de diseño para crear las nuevas formas que contendrán las tarjetas electrónicas diseñadas en la etapa anterior. Estos diseños pueden ser mejorados día tras día, hasta convertirse en algo tangible por primera vez a través de la impresión 3D. Estos modelos de prototipado muestran un trabajo cercano a un producto final. Para el desarrollo del diseño del empaque de la electrónica se utilizó Solidworks® y la impresión se hizo en ácido poli láctico (PLA).

3.11.8. Sistema de Potencia

El desarrollo de este controlador de carga de baterías de plomo ácido el circuito cuenta con dos sistemas de protección, un fusible a la salida del panel solar y otro en la entrada de la batería. También cuenta con un diodo Shotty Barrier rectificador MBR 2545 como protección de la inversión de polaridad en el circuito. Como medida de protección de sobretensiones en la entrada también se cuenta con el diodo NTE 4941. El circuito desarrollado tiene tres compuertas Power Mosfet IRF 9540. La primera compuerta es accionada por un pulsador,

que sirve para desconectar los paneles solares si así se desea. La segunda compuerta se encarga de accionar la señal de PWM (Govidan, N., & Rajasekaran Indra, M., 2018), esta señal es la que realiza la acción de carga de la batería a una frecuencia determinada programada en el microprocesador. La tercera compuerta se puede utilizar para la desconexión de la carga a alimentar, según criterios del operador. En el circuito se han dejado pines libres, esto con el fin de conectar un conjunto de sensores adicionales, por ejemplo, uno de voltaje o de corriente para futuros análisis a través de un datalogger.

En las figuras 42-46 y se muestran las piezas diseñadas, así como las figuras 50-51 se muestran los componentes electrónicos.

Figura 42.
Parte inferior del controlador.

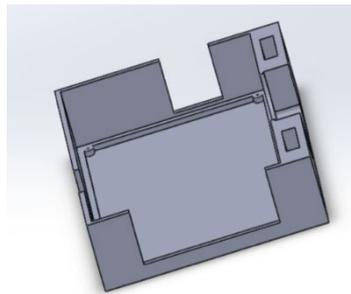
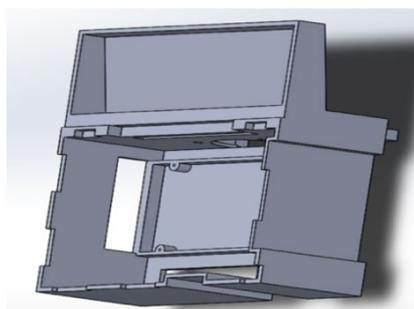


Figura 43.
Parte superior del controlador.



En la (figura 42) es la caja del controlador que está diseñada en dos partes para facilitar el montaje. En ella se muestra el área donde estará alojada la tarjeta de potencia, el espacio interior también debe permitir el pase de los cables hacia las demás tarjetas. En la (figura 43) se muestra la caja donde se encontrará el controlador, que se encuentra empernado a la caja en la parte superior.

Figura 44.
Tapa de testigos del controlador.

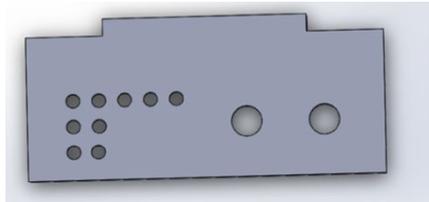
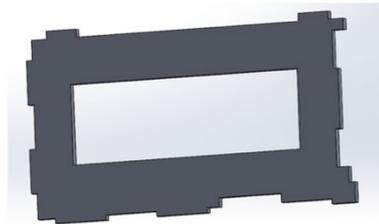


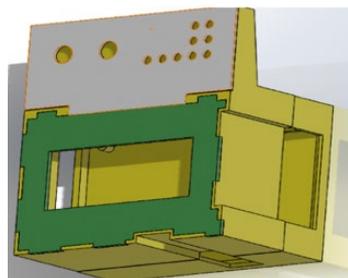
Figura 45.
Máscara superior del controlador.



En (figura 44) se muestra la tapa de los testigos, donde se encuentra el conjunto de LED, además de los pulsadores que sirven para conectar el panel y para conectar la carga a alimentar.

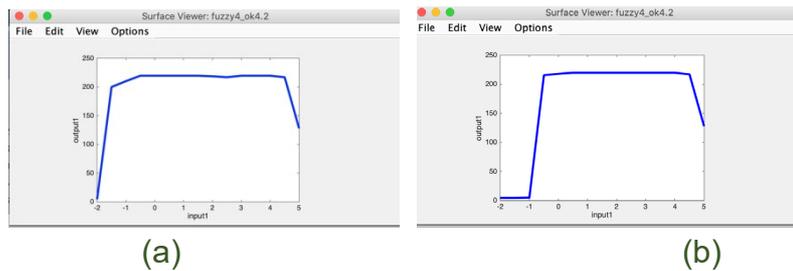
La máscara (figura 45), es el marco que contiene la pantalla LCD de 20 caracteres y 4 líneas. Esta pantalla nos proporciona información acerca del voltaje del panel solar, si esta conectado o desconectado y si la carga esta habilitada.

Figura 46.
Ensamble de piezas en Solidworks.



La optimización de las reglas del fuzzificador se realizó cambiando los valores de los coeficientes del sistema difuso en las reglas del fuzzificador a través de la simulación en el MatLab® con la herramienta Surface Viewer (Figura 47-a). Al cambiar los coeficientes, la gráfica que muestra el cálculo del error se vuelve más uniforme (Figura 47-b) y el comportamiento de la carga más estable.

Figura 47.
Herramienta de Matlab-Surface Viewer.



Posteriormente, estos nuevos coeficientes se han llevado a la librería fuzzy logic en el entorno de desarrollo Integrado IDE-Atmega328.

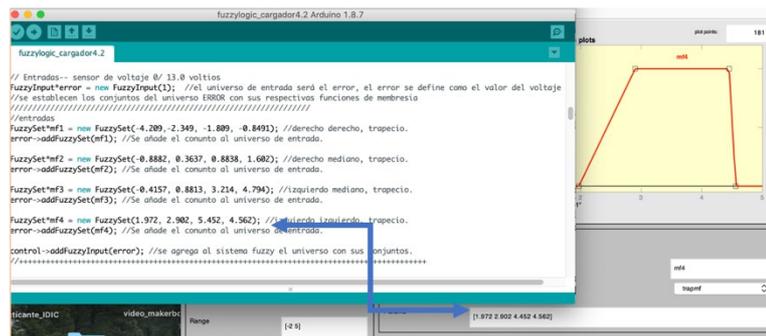
3.11.9. Diseño y Desarrollo del Controlador para carga solar

Las bases del diseño abordado se cimientan en la robustez de la tarjeta de potencia, la fácil construcción, una carga fácil del firmware y del programa de control desarrollado, puesto que el sistema en su totalidad de debe ser capaz de ser replicado a un bajo costo. La variable que conforma las reglas del control es la del error, que resulta del cálculo de la diferencia del set point y el valor del voltaje de la batería; no se tomó en cuenta para la solución el error acumulado porque en las pruebas el procesador se ralentizaba. Otros puntos tomados en cuenta para el desarrollo fueron el uso de la librería "Embedded Fuzzy Logic" de libre acceso, un procesador de fácil disponibilidad local, integración sencilla en la placa de desarrollo además de soportar el algoritmo con las reglas planteadas.

El software programado para este proceso fue desarrollado inicialmente con el entorno de MatLab® a través de la librería de lógica difusa (Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N., 2007) .Una vez encontrados los coeficientes a través de la simulación, estos fueron utilizados en la librería Fuzzy Logic del

procesador Atmega328 (Bawa, 2013). El error calculado se lleva a las cuatro funciones trapezoidales de entrada del sistema difuso (Çelik, B., Birtane, S., Dikbıyık, E., & Erdal, H., 2015).

Figura 48.
Valores generados en el Matlab del fuzzificador llevados a la librería de Fuzzy Logic del procesador.



Elaboración Propia

Las reglas optimizadas (Lara-Rojo, F., Sánchez, E. N., Zaldívar-Navarro, D., & Sur, P. L. M., 2001) para este controlador solo son cuatro, esto debido a que todo el programa que controla los periféricos demanda tiempo de procesamiento excesivo y consumo de memoria que ralentiza la operación (Malkhandi, 2006).

Tabla 7 -Reglas del control llevados a la librería de Fuzzy Logic del procesador.

<u>Reglas en el fuzzificador</u> (entrada)	<u>Sistema de reglas difusas</u>	<u>Reglas en el defuzzificador</u> (Salidas)
Entrada izquierda	If X then output Y, then ΔZ^1	Salida izquierda
Entrada izquierda media	If M then output N, then ΔZ^2	Salida izquierda media
Entrada derecha media	If L then output F, then ΔZ^3	Salida derecha media
Entrada derecha	If O then output P, then ΔZ^4	Salida derecha

Elaboración Propia

La salida, es la señal Pulse-Width Modulation (PWM) que es la respuesta obtenida a través de las reglas de pertenencia (Thao, N. G. M., & Uchida, K., 2017) y que resultan del cálculo del Centro de Gravedad obtenido por la expresión matemática (1) (Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J. , 2017).

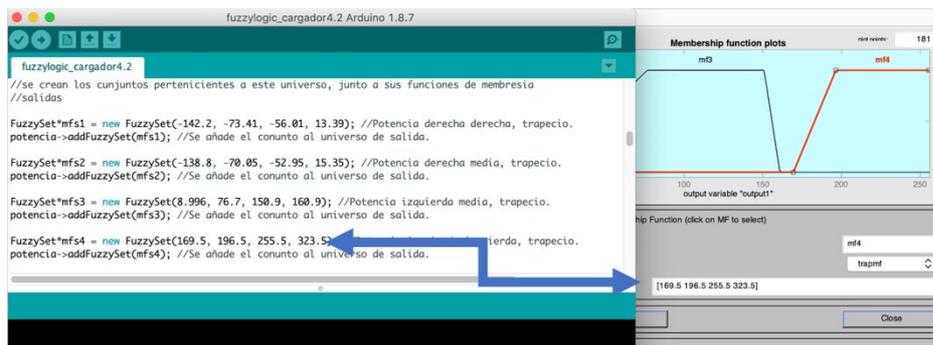
En la ecuación (1), Z^* representa el lugar geométrico del Centro de Gravedad de todas las posibles reglas involucradas en las soluciones.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{Z}W_i}{\sum_{i=1}^M W_i} \quad (1)$$

Donde $W_i = \mu(M_i) = \min \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k \}$ (2)

En la ecuación (2), el término μ_k representa el valor difuso involucrado en el antecedente de la regla i -ésima, donde M representa el número de salidas difusas, con las ponderaciones W correspondientes los valores máximos de los consecuentes involucrados.

Figura 49.
Valores Generados en el Matlab llevados a la librería de Fuzzy Logic del procesador.



Elaboración Propia

En la figura 49, se aprecia que los valores simulados y probados en el Matlab (Driankov, 2013) son llevados a la librería del microprocesador, en donde se verifica el funcionamiento real de la simulación en MatLab.

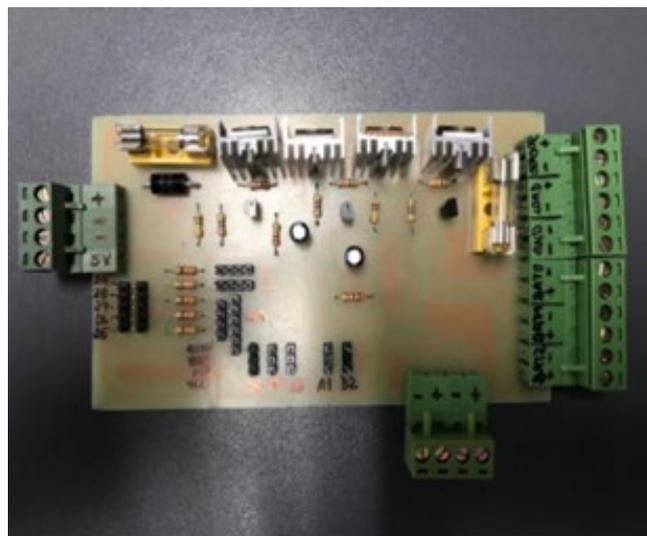
A través de estas herramientas de desarrollo se puede hacer una programación en menor tiempo, reduciendo así las horas de trabajo en la puesta en marcha de un sistema de este tipo cuya programación se realiza en lenguaje C++. La diferencia entre el voltaje de entrada proveniente del panel solar y el voltaje de la batería es el parámetro que se utiliza como referencia para el algoritmo, por ello, el diseño de la placa incorporó divisores de tensión para conocer el valor del voltaje de la batería y del panel solar. En condiciones de bajo voltaje en la

batería, el controlador ha llegado a entregar, según las pruebas de laboratorio, hasta 6 A. Cuando el voltaje de la batería ha llegado al máximo, el ciclo de trabajo disminuye y el sistema se encarga de mantener el valor de la batería dentro del setpoint propuesto.

3.11.10. Implementación del Controlador

En el interior del cargador solar se encuentran las tarjetas electrónicas. Una de ellas es la tarjeta de potencia que consta de tres transistores de potencia. Uno de los transistores permite realizar el PWM para realizar la carga de la batería, el segundo transistor permite conectar y desconectar al panel solar y el tercer transistor permite activar o desactivar la carga (consumo). Esta tarjeta de potencia está preparada para soportar una carga de trabajo de hasta 8 A.

Figura 50.
Tarjeta de Potencia.

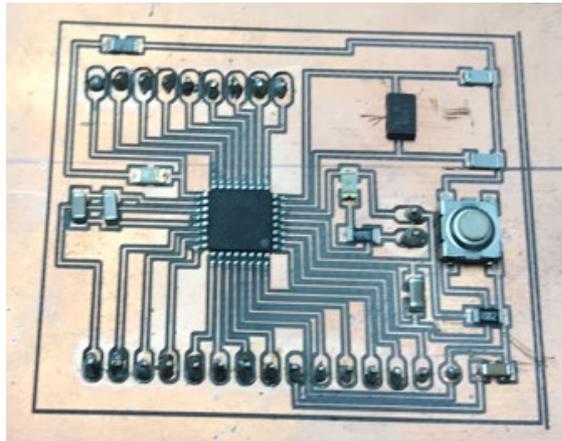


Elaboración Propia

Para controlar la carga de la batería de plomo ácido (Bandara, G. E. M. D. C., Ivanov, R., & Gishin, S., 1999) se utiliza un microprocesador basado en un Atmega328 en donde se encuentra el software de control. Los divisores de tensión hacen la función de sensores de voltaje para que el controlador de batería logre realizar el trabajo de forma programada. En un primer momento el

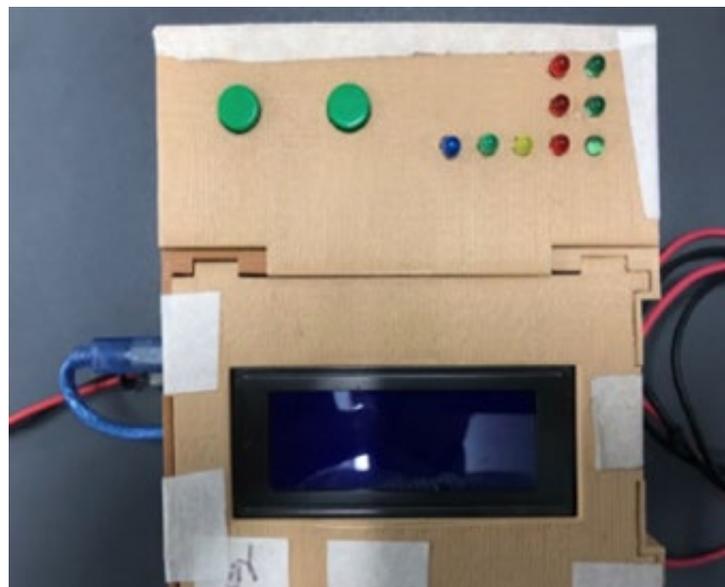
voltaje comienza a cargar la batería a través del control PWM, esto hace que el voltaje pueda vencer la impedancia de la batería. Al encontrarse cerca del valor deseado (set point) el controlador desconecta el voltaje del panel.

Figura 51.
Tarjeta de control.



Elaboración Propia

Figura 52.
Controlador Solar. (Perú Patente n° PE20181963A1, 2018)



Elaboración Propia

Figura 53
Testigos de Carga. (Perú Patente n° PE20181963A1, 2018).



Elaboración Propia

La figura 51 muestra la tarjeta de control usando un Atmega328P-AU con un cristal de 16MHz, con dos condensadores cerámicos de 22 pF, para el uso del resonador. El software desarrollado se instaló en una placa con elementos SMD (Superficial Mounted Devices). La figura 52 muestra el prototipo de controlador solar completamente funcional. Los testigos (LED), figura 53, indican si la carga de la batería se está realizando, si la batería está totalmente cargada o si está totalmente descargada. También se muestran los pulsadores: el de izquierda es para desconectar los paneles solares y el de la derecha permite desconectar la carga alimentada.

Figura 54.
Sistema de Ventilación.



Elaboración Propia

La Figura 54 muestra el sistema de ventilación forzada, integrado al sistema para que los MOSFET puedan tener una menor temperatura de trabajo logrando así extender la vida útil de los mismos. El ventilador es alimentado a 12V, es de fácil reemplazo y mantenimiento. Las baterías seleccionadas para el sistema, baterías de plomo ácido, no son las idóneas para los sistemas fotovoltaicos puesto que no son capaces de soportar descargas profundas, sin embargo, son las más baratas y están disponibles fácilmente en las zonas rurales. El controlador de carga desarrollado toma en cuenta la desventaja inherente de estas baterías y la adapta a la necesidad.

3.12 Configuración del sistema del mezclador estático.

Este sistema está basado en un desarrollo realizado en una simulación hecha en Ansys. Los primeros prototipos fueron hechos en una impresora 3D en PLA. Los modelos desarrollados fueron diseñados en el Inventor de Autodesk simulados, y luego cortados en una mesa de corte por plasma. El material usado es de acero inoxidable 316 L y luego ensamblados a mano y montados en una tubería de una 1".

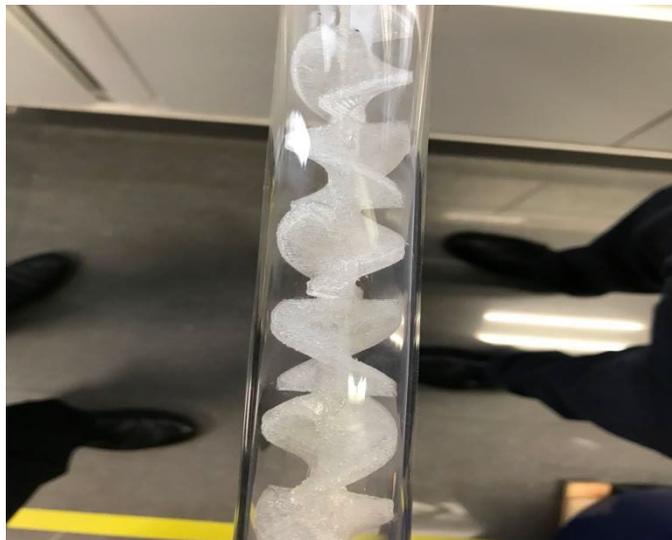
Figura 55.
Mezcladores estáticos para mejorar la mezcla del coagulante y floculante, a la derecha fabricado en PLA y fibra de carbono y la izquierda fabricada en acero Inoxidable.



Elaboración Propia

El primero de la izquierda el modelo impreso en 3D de material PLA, y el de la derecha acero inoxidable 316 L.

Figura 56.
Mezclador estático dentro de un tubo de vidrio.



Ejemplo del mezclador estático dentro de un tubo de vidrio de 1" de diámetro interno. Los tubos utilizados en el sistema de tratamiento de agua son de PVC.

Figura 57.
Filtros de salida de 5 micrones para remover la turbidez residual.



Para el proceso de filtrado sea pensado en utilizar un filtro de 5 micrones que permitirá atrapar los Floccs en su interior.

Figura 58.
Filtro de 5 micrones.

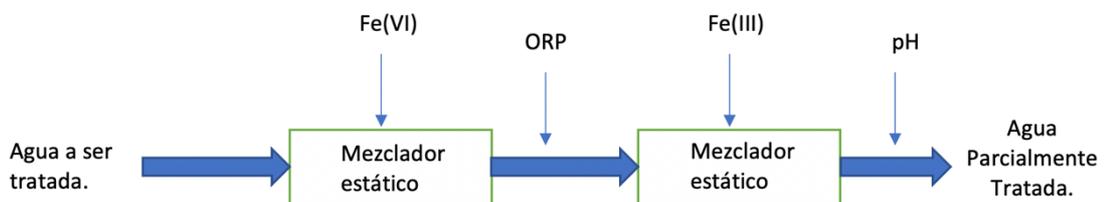


Este es el tipo de filtro que se ha pensado utilizar para atrapar los Floccs, debido a que nos permite filtrar el tamaño de partícula adecuado, además es un filtro fácil de reemplazar y de encontrar en el mercado.

El diagrama que se muestra a continuación se muestra la parte sólo del reactor de ferrato, en la etapa de los mezcladores estáticos en donde se producen los Flocs se producen en el sistema.

3.13 Diagrama de bloques sólo del proceso del Agua en la parte de la inyección del ferrato y el cloruro férrico.

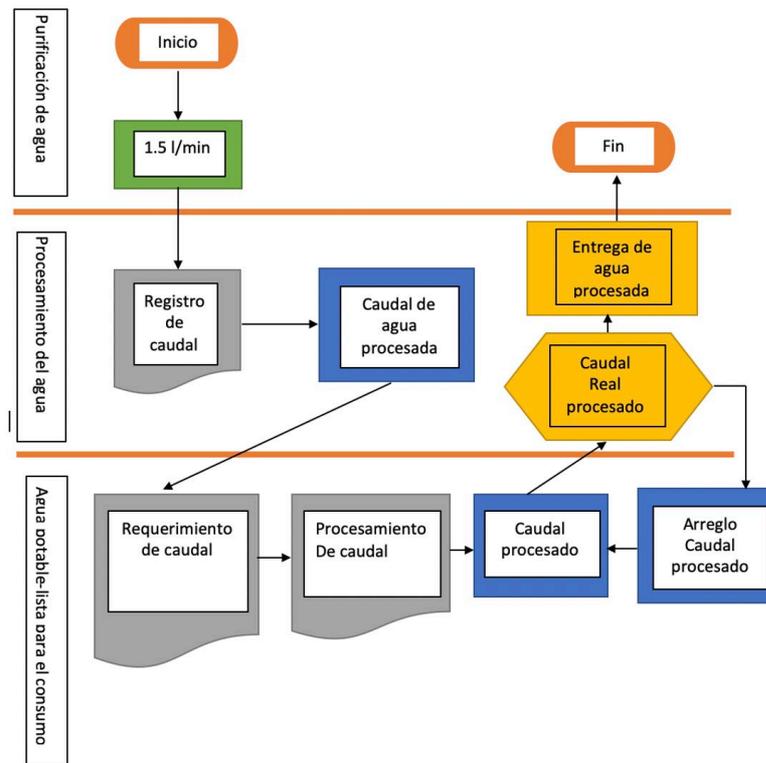
Figura 59.
Sistema después reactor del ferrato.



Elaboración Propia

A continuación, se muestra un sistema que debe ser capaz de encontrar una relación directa entre el estado actual en ese instante (t) con el “set-point”, propuesto para el proceso. Este proceso ocurre en tiempo real una respuesta en forma de digital que será la señal de respuesta que recibirá el PLC, de tal manera que interpretará una trama de datos para una respuesta óptima en el proceso, la cantidad de bombas peristálticas para este proceso son en número de 2. En el futuro se implementará un sistema que tenga la capacidad de aprender usando la inteligencia artificial de tal forma que el costo se vea reflejada en una disminución para un segundo prototipo en donde la cantidad de electrónica respecto a los sensores se vea reducida, y sólo quede aquellos que son los necesarios, tales como el de pH y el ORP.

Figura 60.
Diagrama de flujo: Sistema de purificación de Agua.



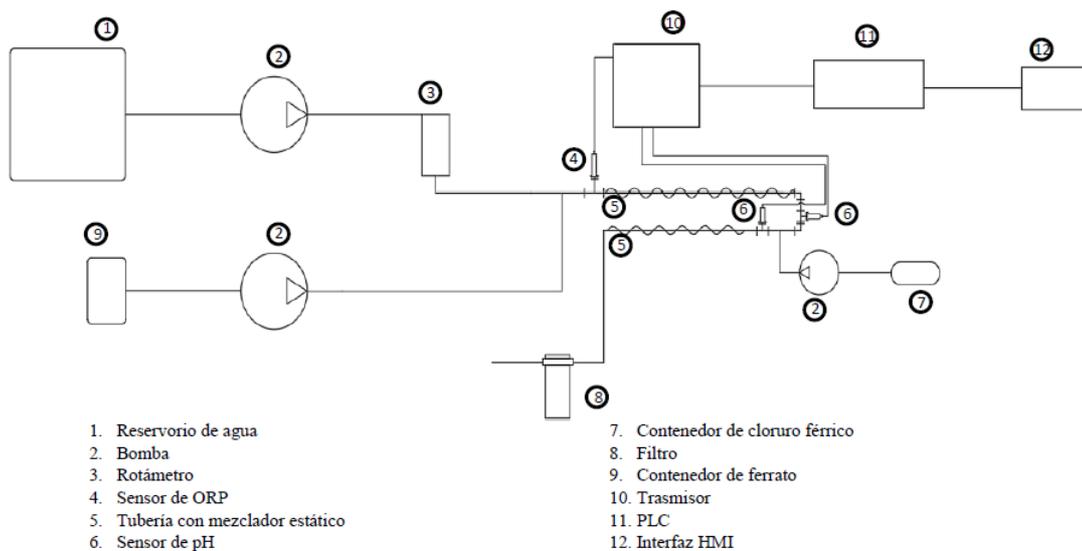
Elaboración Propia

3.14 El diseño de la planta experimental

El diseño de la planta de tratamiento experimental (Figura 61) tiene una bomba centrífuga modelo 75211-15. El flujo de trabajo de 120 L/h, el líquido elemento ingresa a una tubo de 2,3 m de longitud y 1 pulgada de diámetro, en donde se le adiciona el ferrato(VI) utilizando una bomba peristáltica, al añadir el ferrato se hace una toma del (ORP) con un sensor Endress Hauser CPS12D, y el total se desplaza por una tubería que esta en su interior tiene un dispositivo de acero inoxidable 316L. (el tiempo de residencia es de aprox. 40 s a lo largo de toda la tubería, siendo 20 s el correspondiente a la mezcla solamente del ferrato(VI) en el agua, como se muestra en la Figura 61. El ferrato(VI) obtenido por la electrólisis de (NaOH) a 20 mol/litro este aumenta el pH en el agua tratada. Para hacer la modificación se uso $FeCl_3$ al 40% que fue inyectada por una bomba

peristáltica. Al ingresar el FeCl_3 es por la mitad de la longitud total de la tubería y al principio de la tubería se encuentra el sensor de pH Endress Hauser Orbisint CPS11D. Los sensores que miden ORP y los sensores que miden el pH estas señales son llevadas por el transmisor Endress Hauser que se comunica a través del router con el PLC, quien tiene el control de las bombas peristálticas. La lectura del ORP fue de 800 mV y la de la señal del sensor de pH fue 6,45. Los valores anteriores nos asegura que el arsenito se oxide hasta convertirse en arseniato y la reacción con el hierro que será retirado del sistema por un filtro con un espeso de 5 μm . (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

Figura 61.
Diagrama de las partes del prototipo de planta de tratamiento de agua.



(Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

Figura 62.
Fotografía del mezclador estático y sus partes principales.



Figura 63.
PLC Siemens 1500 y las IOT 2040.



Elaboración Propia

La figura 63 muestra el PLC Siemens 1500 donde están conectados los sensores y las IOT que contienen el software de Fuzzy Logic.

Figura 64.
Transmisor y la pantalla HMI.



Elaboración Propia

La figura 64, la pantalla superior es el transmisor de pH y el ORP, y la pantalla inferior es la pantalla HMI, que es la pantalla donde control del sistema.

3.15 Producción de Ferrato (VI)

En el proceso de la producción de ferrato(VI) se utilizó un reactor electroquímico con celda dividida que constaba de una cámara anódica con electrodo de hierro y una cámara catódica con electrodo de grafito. Ambas cámaras estuvieron separadas por una membrana. El reactor fue operado con una corriente de trabajo de 80 A/m^2 , durante 5 horas de electrólisis, el anólito fue recolectado y utilizado para los ensayos, los parámetros de diseño y operación optimizada del reactor fueron descritos previamente (Mogrovejo-García, P., Prieto-Veramendi, P. M., Flores-del-Pino, L., Eyzaguirre-Pérez, R., & Quino-Favero, J., 2018) .

En lo que corresponde al método aplicado, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

3.15.1 Determinación de la concentración del Ferrato (VI)

La determinación de la concentración del ferrato(VI) se realizó por espectrofotometría visible utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-2600. La solución anódica obtenida en el reactor electroquímico fue diluida con NaOH 10 mol/L y leída a 505 nm se utilizó el coeficiente molar de $1070 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Kinninburg, D.G., Smedley, P.L., 2001).

3.16 Preparación del agua sintética de Bangladesh (SBGW)

En la planta de procesamiento de agua automatizada se utilizó el agua preparada subterránea sintética de Bangladesh (SBGW) para la remoción del arsénico (Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Wei, X., & Creed, J. T., 2001) se le agrega arsenito, arseniato, con agua des ionizada ($< 5 \mu\text{S/cm}$) y soluciones de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Na_2HCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , y $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ diluidas en agua ultra pura ($18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$) y ajustando el pH a 7.0 ± 0.2 con dióxido de carbono según se describió en otro estudio (Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Wei, X., & Creed, J. T., 2001) el agua preparada usada fue en base al otro experimento de estudio (Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Wei, X., & Creed, J. T., 2001), (Smith, R. B., & Giesy, P. M., 1923) la que se muestra en la Tabla 8. El agua se le añadió el arsenito con una preparación de As_2O_3 con arseniato con $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. La concentración ideal del arsénico se determinó por HPLC-HG-AFS.

Tabla 8. Composición del agua sintética de Bangladesh

	PO ₄ ³⁻	SiO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Fe
Concentración en mg/L	1.3	19.5	8	61	8	125	138	275	0

(Amrose, S., Gadgil, A., Srinivasan, V., Kowolik, K., Muller, M., Huang, J., & Kosteci, R., 2013)

Esta composición del agua sintética de Bangladesh fue utilizada en el documento científico cuyo nombre es: Water treatment plant prototype with Ph control model don Fuzzy Logic for removing arsenic using Fe(VI) y Fe(III) cuyos autores son:

(Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

IV. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis descriptivos de la investigación

Se describen los siguientes estadísticos descriptivos correspondientes al Arsénico total, el Arsénico (III) y el Arsénico (V). (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006)

	Estadísticos descriptivos									
	N Estadístico	Rango Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desv. Desviación Estadístico	Varianza Estadístico	Curtosis	
					Estadístico	Desv. Error			Estadístico	Desv. Error
As total	21	421.336000	.000000000	421.336000	32.1842325	21.2600176	97.4256400	9491,755	14,071	,972
As(III)	24	221.377700	.000300000	221.378000	14.1828554	9.12327629	44.6947434	1997,620	22,651	,918
As(V)	11	199,9577	,0003	199,9580	38,941536	22,7304535	75,3883855	5683,409	2,084	1,279
N válido (por lista)	11									

Elaboración Propia

Tabla 9 de los estadísticos descriptivos del Arsénico total, el Arsénico (III) y el Arsénico (V).

4.2 Prueba de Hipótesis de la investigación

4.2.1 Hipótesis General de la investigación

Hipótesis HGo:(Hipótesis General Nula)

El sistema experto de control de pH y ORP basado en lógica difusa tipo Mamdani no logra controlar con rapidez y precisión las variables pH y ORP lo que se traduce en la remoción del arsénico con una eficiencia superior al 90%.

Hipótesis HGa:(Hipótesis General Alterna)

El sistema experto de control de pH y ORP basado en lógica difusa tipo Mamdani si logra controlar con rapidez y precisión las variables pH y ORP lo que se traduce en la remoción del arsénico con una eficiencia superior al 90%.

4.2.2. Hipótesis Específicas de la investigación

Estas serán:

EF1s: El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani no logra mantener el pH dentro de los límites preestablecidos.

EF1_d: El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener la variable pH dentro de los límites preestablecidos.

Hipótesis H1₀: (Hipótesis Específica 1 Nula)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **no logra** mantener la variable pH dentro de los límites preestablecidos.

$$H1_0: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

Hipótesis H1_a: (Hipótesis Específica 1 Alterno)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **si** logra mantener la variable pH dentro de los límites preestablecidos.

$$H1_a: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

EF2_s: Sin El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener el ORP dentro de los límites preestablecidos.

EF2_d: El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani si se logra mantener el ORP dentro de los límites preestablecidos.

Hipótesis H1₀: (Hipótesis Específica 1 Nula)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **no** logra mantener la variable ORP dentro de los límites preestablecidos.

$$H1_0: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

Hipótesis H1_a: (Hipótesis Específica 1 Alterno)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **si** logra mantener la variable ORP dentro de los límites preestablecidos.

$$H1_a: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

EF3s: Sin el control de las variables pH y ORP no permite la remoción a caudal continuo del arsénico manteniendo la concentración total por debajo de los 10 µg /litro cuando el ingreso es de 400 µg /litro.

EF3d: El control de las variables pH y ORP si permite la remoción a caudal continuo del arsénico manteniendo la concentración total por debajo de los 10 µg /litro cuando el ingreso es de 400 µg /litro.

Hipótesis H1₀: (Hipótesis Específica 1 Nula)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **no** permite la remoción del arsénico manteniéndola debajo de los 10 microgramos por litro cuando en el ingreso son de 400 µg /litro.

$$H1_0: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

Hipótesis H1_a: (Hipótesis Específica 1 Alterno)

La implementación de un sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani **si** permite la remoción del arsénico manteniéndola debajo de los 10 microgramos por litro cuando en el ingreso son de 400 µg /litro.

$$H1_a: EFI_d - EFI_a \leq 0$$

4.2.2.1 Prueba de Normalidad de los datos del experimento

Se aplicará la prueba de normalidad a los datos que provienen del experimento realizado en la planta automatizada. (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006) (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016)

Contraste de Hipótesis: Prueba de normalidad

H0: La variable si tiene distribución normal ($p > 0,05$)

H1: La variable no tiene distribución normal ($p < 0,05$)

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	As total	32.1842325	21	97.4256400	21.2600176
	As(III)	15.5623168	21	47.7391202	10.4175301

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	As total & As(III)	21	,894	,000

Elaboración Propia

Tabla 10 para comprobar que los datos del Arsénico(III) no son de una distribución normal.

Se comprueba la hipótesis H1 La variable no tiene distribución normal ($p < 0,05$).

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	As total	61.0458182	11	130.607814	39.3797377
	As(V)	38,941536	11	75,3883855	22,7304535

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	As total & As(V)	11	,932	,000

Elaboración Propia

Tabla 11 para comprobar que los datos del Arsénico(V) no son de una distribución normal.

Se comprueba la hipótesis H1 La variable no tiene distribución normal. ($p < 0,05$).

4.2.2.2 Se usará el estadístico de Mann-Whitney Wilcoxon para probar que los datos no pertenecen a una distribución normal.

Como los datos no corresponden a una distribución normal ya no se someterá a la prueba de Normalidad Shapiro Wilk. (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006) (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016)

Se debe realizar la prueba no paramétrica de Mann Whitney Wilcoxon aplicada a dos muestras independientes no normales. (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006)

Prueba de Mann-Whitney Wilcoxon de los datos del experimento:

Contraste de Hipótesis: Prueba de no normalidad

H0: Las dos poblaciones tienen distribución Normal versus ($p > 0,05$)

H1: Las dos poblaciones no tienen distribución normal. ($p < 0,05$)

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
As(III) - As total	Rangos negativos	9 ^a	13,22	119,00
	Rangos positivos	12 ^b	9,33	112,00
	Empates	0 ^c		
	Total	21		

a. As(III) < As total

b. As(III) > As total

c. As(III) = As total

Estadísticos de prueba^a

	As(III) - As total
Z	-,122 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,903

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

ç

Elaboración Propia

Se comprueba la hipótesis H1 La variable As(III) no tienen distribución normal ($p < 0,05$).

Tabla 12 para comprobar los datos del Arsénico(III) no es una distribución normal.

Contraste de Hipótesis: Prueba de no normalidad

H0: Las dos poblaciones tienen distribución Normal versus ($p > 0,05$)

H1: Las dos poblaciones no tienen distribución normal. ($p < 0,05$)

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
As(V) - As total	Rangos negativos	4 ^a	4,50	18,00
	Rangos positivos	2 ^b	1,50	3,00
	Empates	5 ^c		
	Total	11		

a. As(V) < As total

b. As(V) > As total

c. As(V) = As total

Estadísticos de prueba^a

	As(V) - As total
Z	-1,577 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,115

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Elaboración Propia

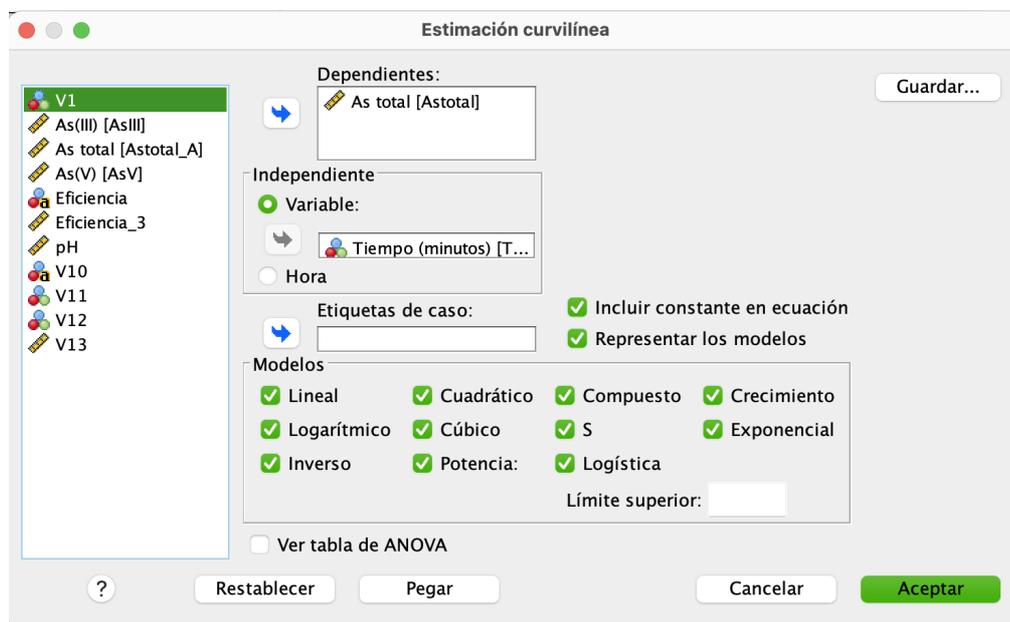
Tabla 13 para comprobar los datos del Arsénico(V) no es una distribución normal.

Se comprueba la hipótesis H1 La variable As(V) no tiene distribución normal ($p < 0,05$).

4.2.2.3 Prueba de Valores residuales para reafirmar que los datos no corresponden a una distribución normal.

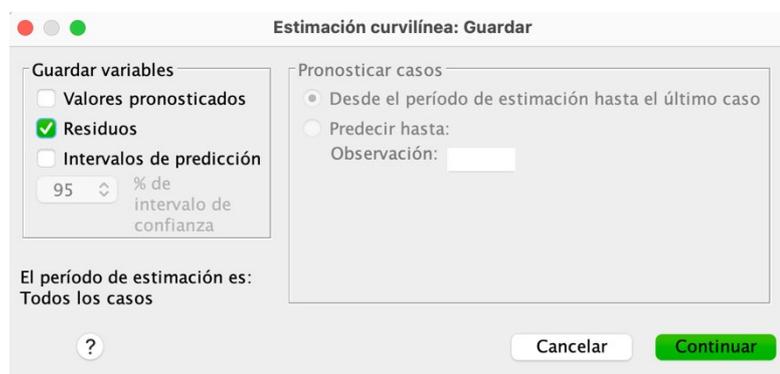
Para usar este método se debe utilizar el modelo de estimaciones curvilínea para conocer cuál de ellos se aproxima más a los valores de un ensayo, donde la variable independiente es el tiempo y la variable dependiente es el Arsénico total, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 65.
De estimación curvilínea.



En la ventana generada Figura 65, de guardar se debe seleccionar los residuos de todas las posibles ecuaciones que podrán contener los valores del experimento realizados. (Tusell, F., 2011). (Estévez-Valdés, I., & González-Izquierdo, E., 2001).

Figura 66.
Ventana de estimación curvilíneas, con la opción de residuos.



Al generar el pronóstico probable de curvas que podrían contener mejor a los puntos del experimento se en el se resumen de la siguiente tabla, esta muestra los modelos probables y las estimaciones de parámetro, aquellas que carecen

de valor, serán descartadas y aquellas que tienen el R cuadrado más alto (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B., 2006) podrían ser las mejores soluciones para reafirmar que los datos no corresponden a una distribución normal.

Figura 67.
Resumen de modelo y estimaciones de parámetros.

Resumen de procesamiento de variables

	Variables	
	Dependiente	Independiente
	As total	e Tiempo (minutos)
Número de valores positivos	11	10
Número de ceros	0	1 ^{a,b}
Número de valores negativos	0	0
Número de valores perdidos	0	0
	Perdido por el usuario	0
	Perdido por el sistema	20

a. El modelo inverso o S no se puede calcular.
b. El modelo logarítmico o de potencia no se puede calcular.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: As total

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,424	6,637	1	9	,030	185,746	-6,532		
Logarítmico ^a	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverso ^b	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cuadrático	,801	16,093	2	8	,002	316,453	-27,961	,537	
Cúbico	,951	44,845	3	7	,000	381,030	-58,476	2,714	-,038
Compuesto	,621	14,738	1	9	,004	493,275	,753		
Potencia ^a	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S ^b	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Crecimiento	,621	14,738	1	9	,004	6,201	-,284		
Exponencial	,621	14,738	1	9	,004	493,275	-,284		
Logística	,621	14,738	1	9	,004	,002	1,329		

La variable independiente es Tiempo (minutos).
a. La variable independiente (Tiempo (minutos)) contiene valores no positivos. El valor mínimo es 0. Los modelos Logarítmico y de Potencia no se pueden calcular.
b. La variable independiente (Tiempo (minutos)) contiene valores de cero. Los modelos Inverso y S no se pueden calcular.

Elaboración Propia

Se toman aquellas posibles curvas que tienen el R cuadrado más alto.

Figura 68.
Resumen de modelos cuadrático y cúbico para estimaciones de parámetros.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

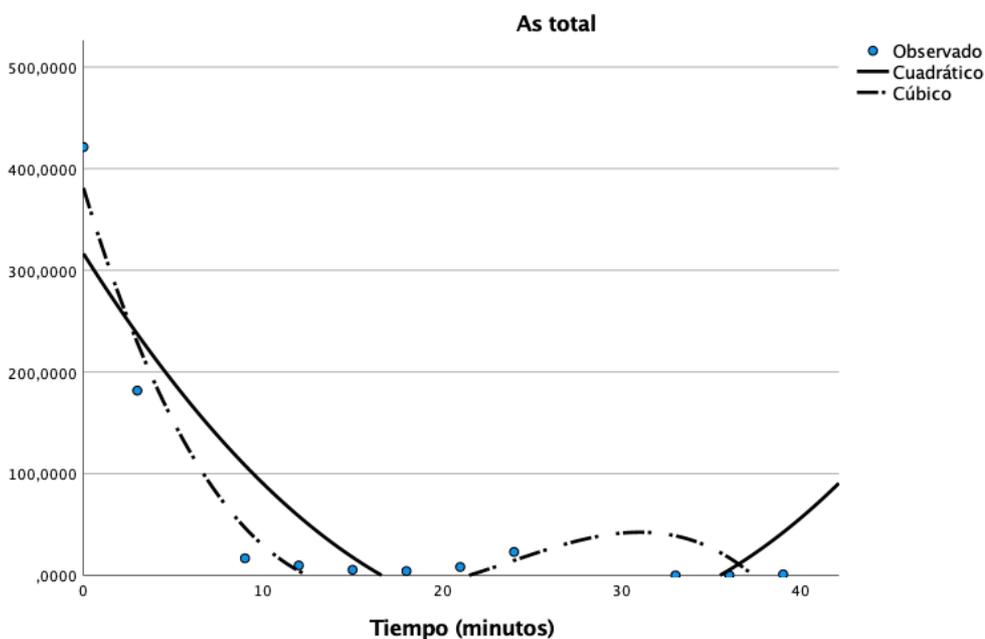
Variable dependiente: As total

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cuadrático	,801	16,093	2	8	,002	316,453	-27,961	,537	
Cúbico	,951	44,845	3	7	,000	381,030	-58,476	2,714	-,038

La variable independiente es Tiempo (minutos).

Elaboración Propia

Figura 69.
Curvas de los posibles modelos que ajustan a los datos del sistema de tratamiento del agua con estimación de parámetros residuales.



Luego se le aplica las pruebas de normalidad a ambas curvas y se obtiene las siguientes respuestas.

Contraste de Hipótesis: Prueba de normalidad

H0: La variable Arsénico total si tiene distribución normal ($p > 0,05$)

H1: La variable Arsénico total no tiene distribución normal ($p < 0,05$)

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: As total

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cuadrático	,801	16,093	2	8	,002	316,453	-27,961	,537	
Cúbico	,951	44,845	3	7	,000	381,030	-58,476	2,714	-,038

La variable independiente es Tiempo (minutos).

Elaboración Propia

Se comprueba la hipótesis H1: La variable Arsénico total no tiene distribución normal en ninguno de las dos ecuaciones mostradas ($p < 0,05$).

Cuadrática: $0,02 < 0,05$.

Cúbico: $0,0 < 0,05$.

Por lo tanto, se reafirma que los valores obtenidos durante el experimento de la planta automatizada de agua no tienen un comportamiento normal.

4.2.2.4 Prueba de significancia.

No es posible realizar el estadístico correspondiente a la aplicación de la prueba de distribución T- Student, ya que los datos no tienen una distribución normal, comprobada en los puntos 4.2.2.2 y 4.2.2.3.

4.2.2.5 Conclusión: Los datos no provienen de una distribución normal.

4.2.2.6 Respuestas a la Prueba de Hipótesis General

Si bien los datos no tienen una distribución normal, la hipótesis del investigador es aceptada o también llamada Hipótesis General Alterna debido a que los datos del anexo 4 y el acápite 3.4 , 3.5 y 3.6 refrendan esta afirmación, la conclusión final es: al no pertenecer los datos a una distribución normal luego del procesamiento del agua la remoción del arsénico As(III) y As(V) disminuye y como consecuencia los datos dejan de tener distribución normal, aquí se demuestra la efectividad de la planta.

4.2.2.7 Respuestas a la Prueba de Hipótesis Específicos

1. Si bien los datos no tienen una distribución normal, la hipótesis del investigador es aceptada o también llamada Hipótesis Específica 1 Alterno debido a los datos en el acápite 3.4 , 3.5 y 3.6 refrendan esta afirmación.
2. Si bien los datos no tienen una distribución normal, la hipótesis del investigador es aceptada o también llamada Hipótesis Específico 2 Alterno debido a los datos en el acápite 3.4 , 3.5 y 3.6 refrendan esta afirmación.

3. Si bien los datos no tienen una distribución normal, la hipótesis del investigador es aceptada o también llamada Hipótesis Específico 3 Alterno debido a los datos en el acápite 3.4 , 3.5 y 3.6 refrendan esta afirmación.

La conclusión final sobre las hipótesis específicas es: al no pertenecer los datos a una distribución normal luego del procesamiento del agua la remoción del arsénico As(III) y As(V) disminuye, aquí se demuestra la efectividad de la planta.

4.2.2.8 Análisis de los resultados obtenidos en la planta de INIA, ejemplo adicional que complementa y corrobora el estudio de esta investigación.

En este apartado se compara un ejemplo realizado en la planta de INIA con agua purificada en base a Ferrato y Cloruro Férrico donde se demuestra que los datos obtenidos luego del tratamiento de agua no son una distribución normal. Lo que se quiere es demostrar es un ejemplo complementario en donde se hace un estudio que sirve de refuerzo para las bases teóricas de la investigación realizada. Sin embargo, los datos obtenidos antes del procesamiento del agua sí son una distribución normal que se demuestra estadísticamente a partir del apartado 3.2.2.8

La concepción del sistema de purificación de agua inicialmente fue desarrollado y probado en el proyecto de INIA con fondos concursables, este se realiza en el período Octubre-2015 hasta Agosto-2018 se realiza con un tratamiento de agua de 8 m³ de agua diariamente procesados, este sistema a pesar de ser automatizado en la parte del reactor de ferrato no era tan avanzado y automatizado en la parte de control, sólo controlaba el pH con cloruro férrico y el pH con un algoritmo PID, construido en la planta piloto del año 2020 motivo de estudio de esta investigación, es donde se plantea la remoción del arsénico. Los datos mostrados en los siguientes diagramas corresponden a un proceso realizado en el río Rímac al final de la vertiente, proyecto INIA.

En el proyecto de INIA se obtuvieron los siguientes Datos donde se utiliza el ion ferrato y cloruro férrico para el tratamiento de las aguas para la cosecha de lentejas, apartado 4.9.

4.2.2.9 Análisis descriptivos de la planta de INIA.

Se describen los siguientes estadísticos descriptivos correspondientes al Arsénico total, el Arsénico (Total).

(William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006)

Estadísticos descriptivos								
	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Desv. Desviación Estadístico	Varianza Estadístico	Curtosis Estadístico	Desv. Error
Arsénico_Inicio	14	,01874	,02760	,0228629	,00269017	,000	-,740	1,154
Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico	14	,00249	,00654	,0030857	,00103807	,000	11,216	1,154
N válido (por lista)	14							

Elaboración Propia

4.2.2.10 Prueba de Pearson para los datos de la planta de INIA.

Correlaciones

		Arsénico_Inicio	Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico
Arsénico_Inicio	Correlación de Pearson	1	-,068
	Sig. (bilateral)		,817
	N	14	14
Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico	Correlación de Pearson	-,068	1
	Sig. (bilateral)	,817	
	N	14	14

Elaboración Propia

(William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006) (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016)

Prueba de Hipótesis para la planta de INIA.

4.2.2.11 Hipótesis de normalidad.

Pruebas de normalidad

Contraste de Hipótesis: Prueba de normalidad

H0: La variable si tiene distribución normal ($p > 0,05$)

H1: La variable no tiene distribución normal ($p < 0,05$)

(William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006) (Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S., 2016)

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 0

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Arsénico_Inicio	31,799	13	,000	,02286286	,0213096	,0244161
Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico	11,122	13	,000	,00308571	,0024864	,0036851

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arsénico_Inicio	,114	14	,200 [*]	,967	14	,835
Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico	,313	14	,001	,547	14	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 14 para comprobar que los datos del Arsénico de la planta de INIA al ser procesados no son de una distribución normal.

Elaboración Propia

Se comprueba la hipótesis H1 La variable no tiene distribución normal ($p < 0,05$).

4.2.2.12 Prueba de Valores residuales para reafirmar que los datos no corresponden a una distribución normal, luego del tratamiento de agua en la planta de INIA.

Para usar este método se debe utilizar el modelo de estimaciones curvilínea para conocer cuál de ellos se aproxima más a los valores de ensayo, donde la variable independiente es el tiempo y la variable dependiente es el Arsénico total, como

se muestra en la siguiente figura. Se toma el R más grande ajustado. (William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. , 2006).

Figura 70
Resumen de modelo y estimaciones de parámetros.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Arsénico_M1

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,008	,096	1	12	,762	,023	-1,224E-5		
Logarítmico	,063	,814	1	12	,385	,024	-,001		
Inverso	,046	,580	1	12	,461	,023	,002		
Cuadrático	,418	3,948	2	11	,051	,026	,000	5,616E-6	
Cúbico	,533	3,811	3	10	,047	,025	4,805E-5	-1,189E-5	2,007E-7
Compuesto	,011	,128	1	12	,726	,023	,999		
Potencia	,070	,897	1	12	,362	,024	-,025		
S	,052	,660	1	12	,432	-3,799	,098		
Crecimiento	,011	,128	1	12	,726	-3,767	-,001		
Exponencial	,011	,128	1	12	,726	,023	-,001		
Logística	,011	,128	1	12	,726	43,258	1,001		

La variable independiente es Tiempo- DIAS.

Elaboración Propia

Se toman aquellas posibles curvas que tienen el R ajustado más alto. Luego se le aplica las pruebas de normalidad a ambas curvas y se obtienen las siguientes respuestas.

Contraste de Hipótesis: Prueba de normalidad

H0: La variable Arsénico total procesado si tiene distribución normal ($p > 0,05$)

H1: La variable Arsénico total procesado no tiene distribución normal ($p < 0,05$).

Figura 71
Resumen de modelos cuadrático y cúbico para estimaciones de parámetros.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Arsénico_Inicio

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cúbico	,533	3,811	3	10	,047	,025	4,805E-5	-1,189E-5	2,007E-7

La variable independiente es Tiempo- DIAS.

Se comprueba la hipótesis H1: La variable Arsénico total procesado no tiene distribución normal ($p < 0,05$); en la curvilínea: Cúbica: $0,047 < 0,05$.

Por lo tanto, se reafirma que los valores obtenidos en el experimento de la planta de INIA no tienen un comportamiento normal al igual que la planta automatizada estudiada en esta tesis.

4.2.2.13 Arsénico procesado con Ferrato y Cloruro Férrico Final en la planta de INIA.

Se concluye que los datos del arsénico total de la planta de INIA (procesamiento del río Rímac) que se construyó entre los periodos del a finales del 2015 hasta 2018, tiene como hipótesis que es una distribución normal, se aprecia en el acápite 3.10 tiene una disminución del arsénico total, además de metales y algunos metaloides. La experimentación con ambos modelos se concluye que el arsénico disminuye, pero en la segunda planta automatizada expuesta en esta tesis, tiene una mejor desempeño debido a que en los ensayos se determinó que tipo de arsénico desaparece primero el As(III) que es el más peligroso para el ser humano y que el As(V). Al tener más datos estadísticos no hace que sea una distribución normal, esto debido a que el comportamiento al extraer arsénico no se ajusta a ello debido a que este es un fenómeno químico, ocurre en un tiempo muy rápido lo que es beneficioso para el sistema planteado y se afirma la extracción de las especies por el correcto control con lógica difusa; por otro lado, luego:

Si partimos de la siguiente premisa, los datos de la planta de INIA antes de procesar el arsénico pertenecen a una muestra normal, que a continuación se muestra:

fecha	Muestras_INIA	Tiempo- DIAS	Arsénico Inicio	Arsénico Ferrato y Cloruro Férrico
22.10.19	1	1	0.02364	0.00322
24.10.09	2	2	0.02495	0.00249
29.10.19	3	7	0.0276	0.00264
05.11.19	4	12	0.02186	0.00312
07.11.19	5	14	0.02039	0.0026
14.11.19	6	22	0.0221	0.00278
18.11.19	7	26	0.02393	0.00255
21.11.19	8	28	0.02118	0.00654
26.11.19	9	33	0.02104	0.00267
04.12.19	10	41	0.01874	0.00263
06.12.19	11	47	0.01904	0.00253
10.12.19	12	51	0.02447	0.00324
12.12.19	13	53	0.02438	0.0028
18.12.19	14	59	0.02676	0.00339

Tabla 15 comprobar los datos del Arsénico de la planta de INIA son de una distribución normal antes de empezar el tratamiento del río Rímac.

Fuente datos de la planta de INIA-2015-2018

Pruebas de normalidad

Contraste de Hipótesis: Prueba de normalidad

H0: La variable si tiene distribución normal ($p > 0,05$)

H1: La variable no tiene distribución normal ($p < 0,05$)

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arsénico_Inicio	,114	14	,200*	,967	14	,835
Arsénico_Ferrato y Cloruro Férrico	,313	14	,001	,547	14	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Elaboración Propia

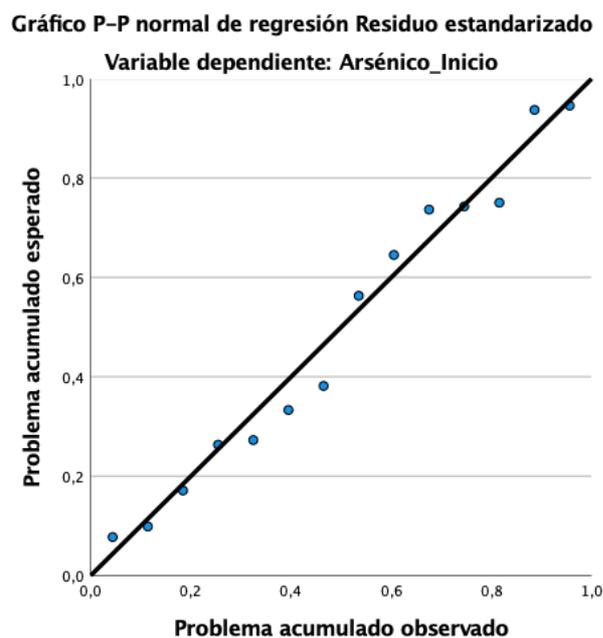
Se toma la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la muestra es menor de 14 datos,

Se comprueba la hipótesis H0, tiene distribución normal ($p > 0,05$). $0.835 > 0.05$

Por lo tanto, para que esta distribución pueda ser aceptada se afirma que se encuentran presentes en el agua del río Rímac las especies de Arsénico. Al contrario, al realizar el tratamiento los datos dejan de ser normales lo que indica que el tratamiento esta funcionando ya que las especies de estudio desaparecen y también disminuyen otros elementos como lo indica los valores en la planta de INIA.

Figura 72.

Gráfico que relaciona el Arsénico total de la planta de INIA donde se aprecia el residuo estandarizado del Arsénico, antes del tratamiento del agua.



Elaboración Propia

4.3 Cálculo de la eficiencia

Esta eficiencia se ha calculado en base a datos del anexo 5. Para el calculo de la eficiencia de la planta automatizada, se ha utilizado la ecuación formulada de eficiencia (Pal, P., 2015) a través del tiempo dará el siguiente valor promedio:

$$\eta = 94,06 \% \text{ de arsénico total en la planta automatizada.}$$

Como se comentó en el capítulo II, la metodología es de tipo experimental, debido a que se controlan las variables del experimento pH y ORP, se prueban y procesan diferentes escenarios (pH=9,5 y pH=6,5) para encontrar las mejores soluciones experimentalmente. Además, es del tipo cuantitativa debido a que la cantidad de datos que se pueden procesar para obtener los valores de pH y ORP son altos, pero no así con el arsénico debido a que la máquina que procesa este dato es costosa en su operación, necesita un operario especialista y los insumos son controlados, además que la manipulación del arsénico es peligrosa.

4.3.1 Análisis descriptivo de la eficiencia

Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. Desviación	Varianza
Eficiencia_3	11	56.8657793	100.000000	1034.68757	94.0625059	12.5126040	156,565
N válido (por lista)	11						

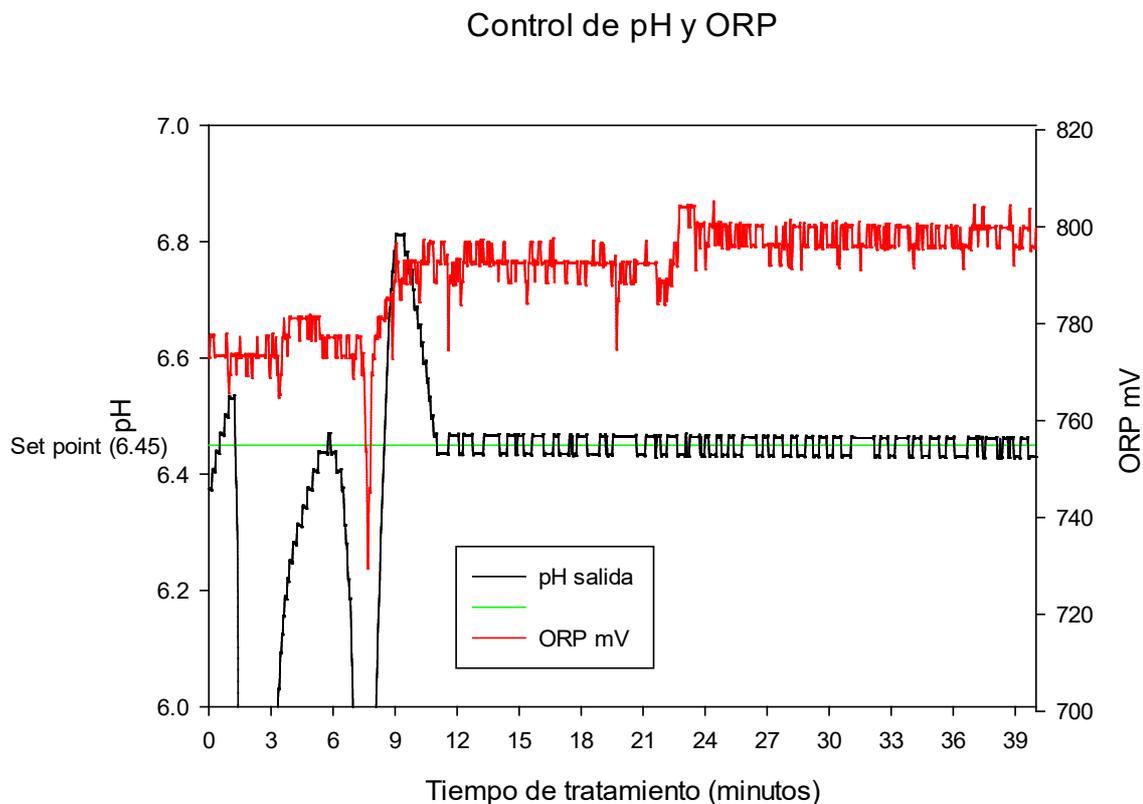
Elaboración Propia

4.4 Variables medidas para controlar el pH y el ORP en la planta de tratamiento automatizada.

La adición de ferrato(VI) en el sistema reacciona de forma muy rápida con el agua a tratar, por lo que los sensores de tipo industrial han permitido una adecuada recopilación de datos y rápida respuesta del sistema además de tener una vida más prolongada.

Al sistema de control instalado le toma 9 minutos alcanzar un control de pH estable al valor establecido (Figura 73). El valor de pH con un punto de operación de 6,45 es 6,455 con $u \pm 0.015$ fluctuando en ese rango. El ORP se estabiliza en el minuto 9 en donde alcanza un valor referencial de $792 \pm 3,07$ mV hasta el minuto 22. Desde el inicio del experimento hasta el final en el minuto 40, el valor del ORP fue de $798,41 \pm 3,31$ mV. El control con el sistema de lógica difusa de ambas variables se presenta en los intervalos esperados. (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020).

Figura 73.
Valores obtenidos de pH y ORP en la planta de tratamiento de agua.



(Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

4.5 Remoción del Arsénico tipo (III) y Arsénico tipo (V)

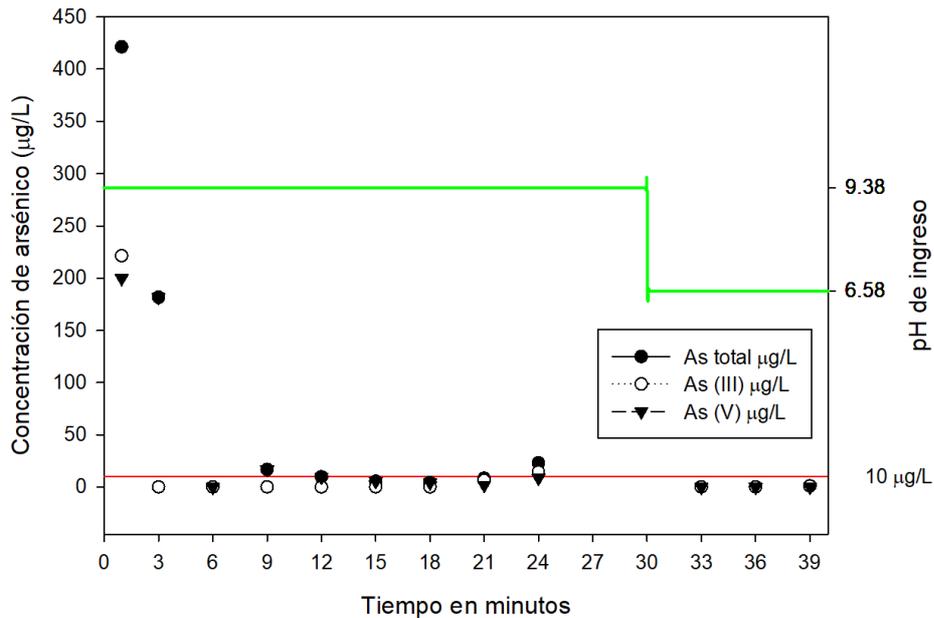
La planta piloto fue alimentada con agua sintética de Bangladesh que se le añadió arseniato con 200 $\mu\text{g/litro}$ y arsenito con de 220 $\mu\text{g/litro}$. Esta agua presenta iones que no permiten procesos de remoción de arsénico con en el uso del hierro.

La reacción de oxidación del arsenito ocurre en el minuto 3. Desde este tiempo al minuto 18 el arsenito disminuyó y se encontró por debajo del mínimo valor que puede registrar el equipo.

En el minuto veintiuno sube a 6,43 $\mu\text{g/litro}$ alcanzando los 14,328 $\mu\text{g/litro}$ en el tiempo veinticuatro de minuto. El grado de concentración del arseniato a la salida es de $6,66 \pm 5,647 \mu\text{g/litro}$. Se registró que los tiempos 9 minutos hasta los 24 minutos donde la concentración del arsénico llegó a un valor 10 $\mu\text{g/litro}$. Al controlar el pH de 6,58 según las lecturas en los minutos 33 y 36 ya no se

registraba valor alguno y en minuto 39 el arsenito fue de 1,012 $\mu\text{g/litro}$ de concentración y del arseniato no se registró valor alguno. Como se muestra en la Figura 74. (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

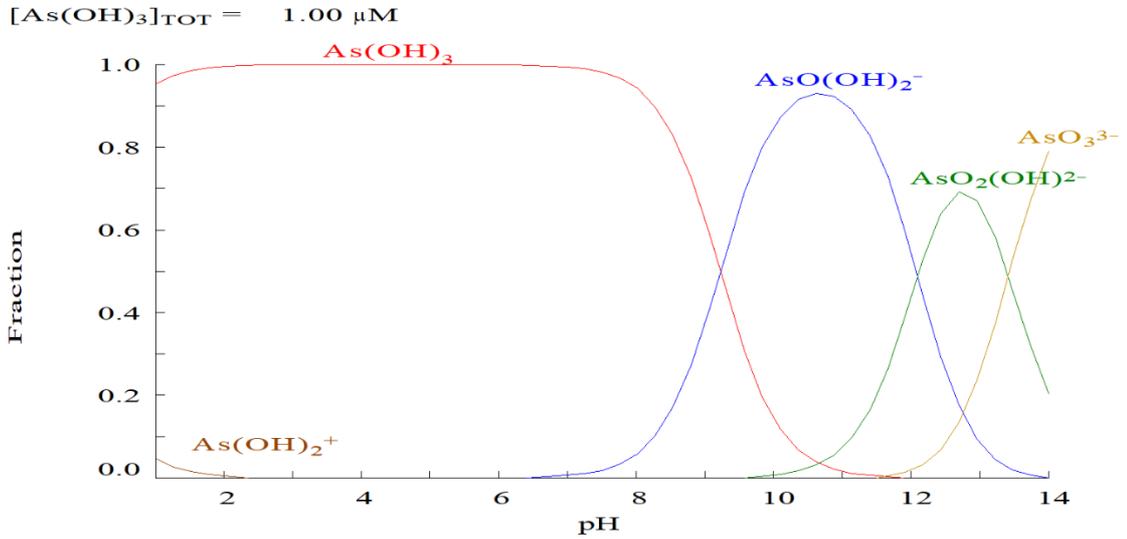
Figura 74.
Concentración de arsénico y sus especies durante del tratamiento.



(Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

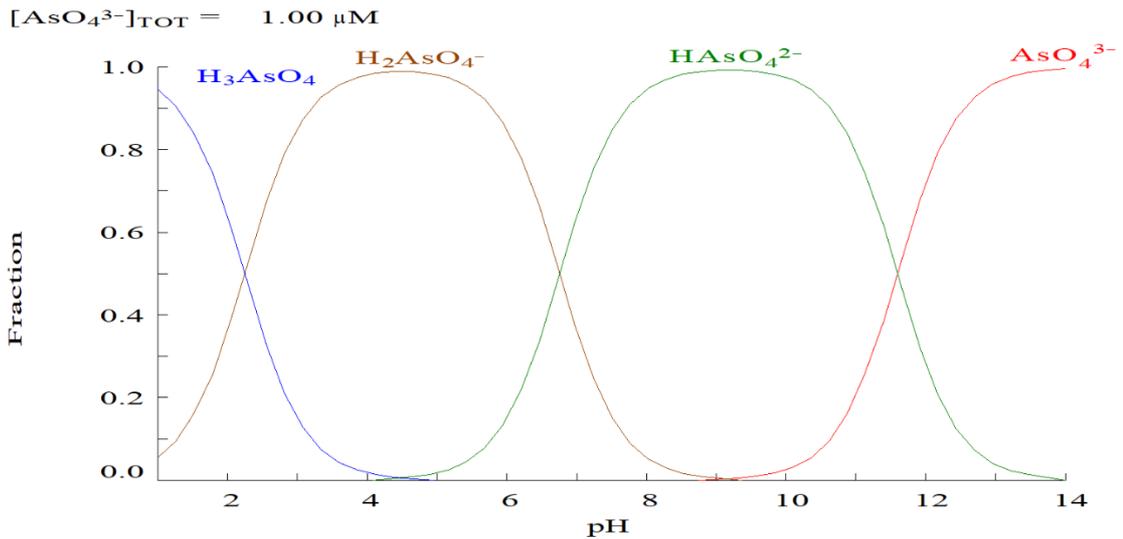
Figura 75. Concentración de arsénico y sus especies durante del tratamiento. La remoción del As(III) con cationes metálicos como el Fe(III) es poco eficiente a diferencia del As(V) debido a que el As(III) se encuentra principalmente como una especie neutra a pH inferiores de 9,2 (figura 74) mientras que las especies dominantes del As(V) son el H_2AsO_4^- y el HAsO_4^{2-} (figura 74) (Hao, L., Liu, M., Wang, N., & Li, G., 2018). Una manera para mejorar la eficiencia de la remoción es a través de la oxidación del As(III) y la subsecuente adsorción del As(V) en los oxihidróxidos que forma Fe(III) (Roberts, L. C., Hug, S. J., Ruettimann, T., Billah, M. M., Khan, A. W., & Rahman, M. T., 2004).

Figura 75.
Diagrama de especiación del As(III) a 25°C generado con el software Hydra/Medusa .



(Puigdomenech, 2004). (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020).

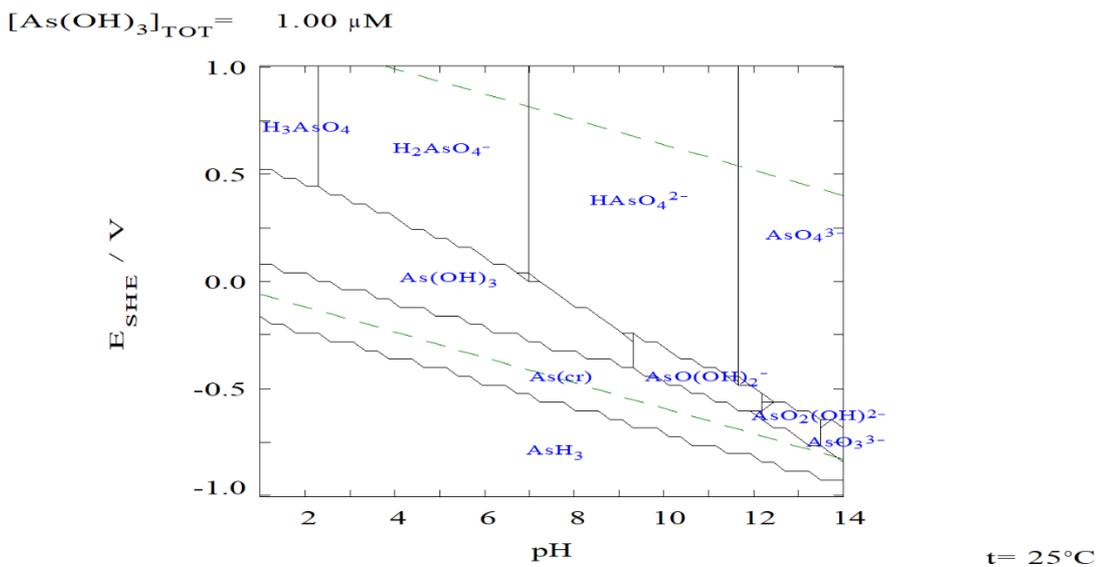
Figura 76.
Diagrama de predominancia del arsénico a 25°C generado con el software Hydra/Medusa.



(Puigdomenech, 2004).
 (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

La dosificación de ferrato utilizada en los ensayos de planta asegura que el ORP alcance un valor de 800 mV, en estas condiciones la especie predominante es el As(V) (figura 77) que es sensible de ser removido con iones Fe(III). El pH de 6,45 se seleccionó por dos razones, para modificar lo menos posible el pH del agua de ingreso ($7,00 \pm 0,20$) y al mismo tiempo asegurar la acción del FeCl3 para remover el arsénico remanente; los iones Fe(III) provenientes del FeCl3 actuando a pH cercano al 6 asegurarán la remoción será máxima posible (Hua, 2009). (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

Figura 77.
Diagrama de predominancia del arsénico a 25°C generado con el software Hydra/Medusa i.



(Puigdomenech, 2004)

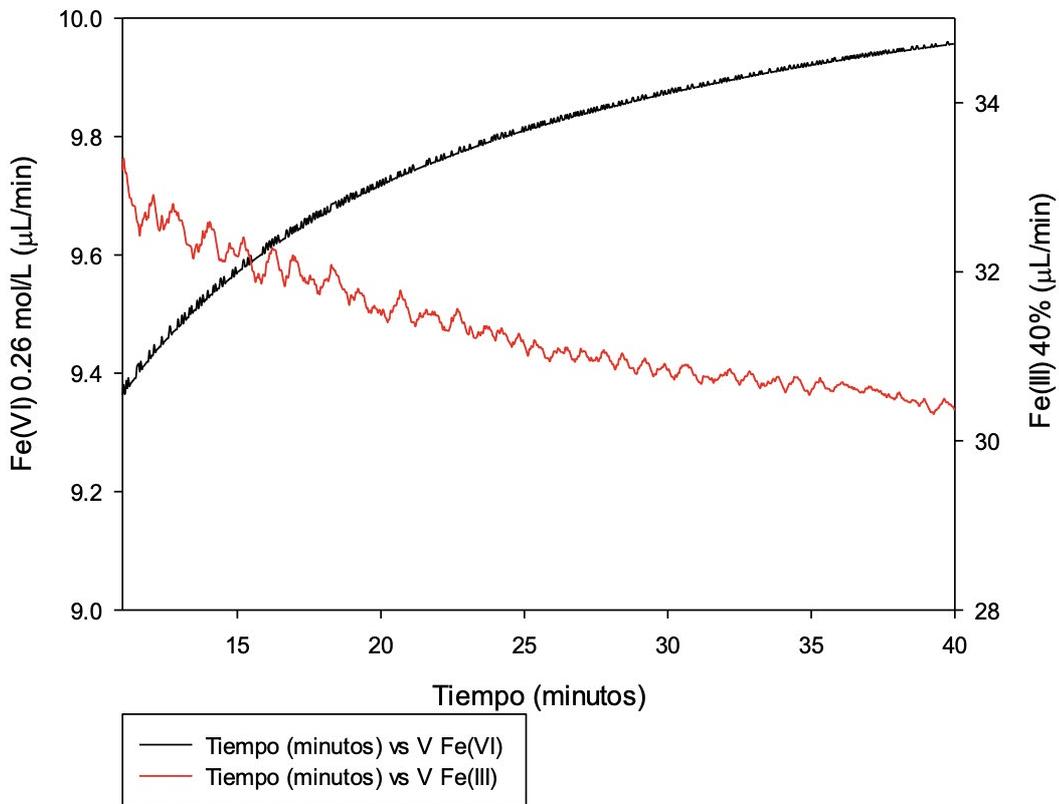
4.6 Dosificación en línea al agua del ferrato(VI) y del cloruro férrico (FeCl3)

La dosificación en línea de Fe(VI) y Fe(III) se registró a través de los sistemas electrónicos durante 40 minutos de tratamiento, el cual se muestra en la Figura 74. En esta figura se observa un aumento en la dosificación de Fe(VI), desde 9,4 hasta 9,95 $\mu\text{L}/\text{min}$, es decir, solo aumentó un 5,8% de la dosificación inicial. Simultáneamente, ocurre una disminución en la dosificación de Fe(III), desde

9,75 hasta 9,4 $\mu\text{L}/\text{min}$, equivalente a una disminución de solo el 3,6% de la dosificación inicial. La discontinuidad en la dosificación de Fe(III) se hace más pequeña a medida que el sistema mejora, lo que evidencia que el sistema de control está siendo efectivo.

Tratamiento en línea con ferrato(VI) y FeCl_3

Figura 78.
Dosificación en línea del Ferrato y Cloruro Férrico durante el tratamiento.



(Paredes-Larroca, F. H., Saettone-Olschewski, E. A., Quino-Favero, J., Rosales-Huamaní, J., & Castillo-Sequera, J. L. , 2020)

4.7 Costo estimado del agua tratada

La tasa de dosificación de las soluciones del ferrato y el cloruro férrico permite calcular el costo de los productos químicos utilizados para el tratamiento. Las tasas de dosificación utilizadas para los cálculos son las del último minuto del tratamiento, cuando la dosis se estabilizó eliminar el arsénico se realizó de mejor manera.

El flujo de dosificación de ferrato (VI) en una solución de 0,26 mol/litro es aproximadamente 9,90 µL/minuto y el costo estimado por gramo de ferrato (VI) en el reactor es de US \$ 0.020 (Mogrovejo-García, P., Prieto-Veramendi, P. M., Flores-del-Pino, L., Eyzaguirre-Pérez, R., & Quino-Favero, J., 2018) , los costos calculados son:

$$\frac{10^3 L}{1 m^3} \times \frac{1 h}{120 L} \times \frac{60 m}{h} \times \frac{9,90 \mu L}{min} \times \frac{1 L}{10^6 cm^3} \times \frac{0.26 mol Fe(VI)}{1 L} \times \frac{119,84 g}{1 mole Fe(VI)} \times \frac{US\$ 0,020}{1 g} = 0.0031 \frac{US\$}{m^3}$$

Costo producido por el reactor químico.

El caudal de dosificado de la solución de FeCl₃ con 40% y la densidad de 1,40 g / cm³, fue de 29 µL/minuto, con este flujo de dosificación más el agua cruda con un el precio de US \$ 38 por un total de 40 kg, el costo será:

$$\frac{10^3 litros}{1 m^3} \times \frac{1 hora}{120 litros} \times \frac{60 min}{1 hora} \times \frac{29 \mu litros}{1 m} \times \frac{1 cm^3}{10^3 \mu litros} \times \frac{1,40 g}{1 cm^3} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times \frac{US\$ 38,01}{40 kg} = 0.019 \frac{US\$}{m^3}$$

Costo por metro cúbico de agua tratada.

El costo total de los insumos se calcula en US \$0,022 por metro cúbico de agua tratada. (Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

4.8 Resultados Obtenidos en el controlador solar.

Como resultado de las pruebas realizadas durante un período acumulado de 2 meses en donde la batería de plomo ácido se ha cargado y descargado durante 60 ciclos, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La carga completa de la batería se realiza en menos tiempo respecto de cargadores disponibles comercialmente, casi unas 7 horas en promedio frente a 12-14 horas de los cargadores comercializados localmente.
- Al llegar la batería a su carga máxima el sistema se desconecta y deja de entregar carga a la batería, evitando la sobrecarga de tensión.

Las gráficas, a continuación, muestran los estados de trabajo del controlador en diferente régimen de carga.



Figura 79.
Señal PWM cuando la batería esta descargada. (Paredes-Larroca, F. H., Saettone-Olschewski, E. A., Quino-Favero, J., Rosales-Huamaní, J., & Castillo-Sequera, J. L. , 2020)

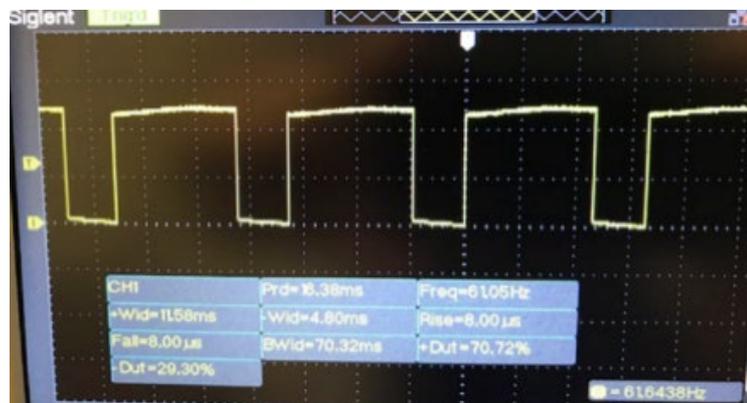
Cuando el MOSFET genera la señal de PWM (Silva, S., Soares, S., Valente, A., & Marcelino, S. T., 2015) aumenta su temperatura y enciende el ventilador de aire forzado.

El PWM es generado por la frecuencia previamente establecida en el microprocesador, el porcentaje del tiempo en que el pulso se encuentra en su nivel máximo respecto del periodo completo de dicho pulso se denomina el Duty Cycle, y se expresa en porcentaje. Por ejemplo, un Duty Cycle de 91% trabajando a una frecuencia de 61.05 Hz, corresponde a un pulso de 16.40 ms, de los cuales durante 14.91 ms se entrega la máxima corriente y en 1.49 ms deja de entregarse (figura 79). Este es un caso en que el procesador ha tomado una regla de correspondencia que decide operar a plena carga debido a que la batería está por debajo o igual a 10.5 V (figura 80).

Figura 80.
Corriente de la batería.



Figura 81.
Señal de PWM, la batería está cerca de su máxima carga.



Por otro lado, cuando la batería está cargada aproximadamente a un 80%, el Duty Cycle cambia a 70%, quiere decir que el controlador ha tomado una de las reglas de correspondencia y decide cargar el acumulador cuando este se encuentra a 12.8 V, aproximadamente. El voltaje que se entrega a la batería es controlado por el MOSFET, la operación de este actuador es dependiente de las órdenes del microprocesador que ejerce el control difuso. El voltaje entregado disminuye continuamente a medida que el batería se está cargando. Por ejemplo: si la batería se encuentra a un valor cercano a la carga completa, la corriente disminuye a 0.5 A y el algoritmo de control desconecta al sistema dejando de entregar voltaje a la batería (figura 81). Es en este punto que la corriente y el voltaje proveniente de los paneles es desconectado, dejan

encendido el ventilador para que los MOSFET que aún están con una temperatura elevada se enfríen.

El Duty Cycle o la fracción del periodo, disminuye a medida que la batería se carga hasta el punto de la desconexión, donde desconecta la inyección de voltaje y la batería se ha cargado totalmente.

Tabla 16 –Pruebas realizadas al cargar una batería de ácido plomo. Comportamiento del controlador durante un ciclo típico de carga completa.

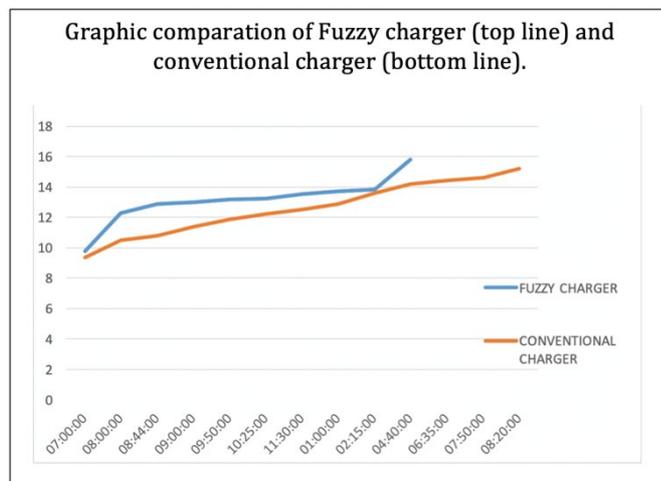
Hora	Duty Cycle (%)	Voltaje (V)	Corriente (A)
8:00	94.19	9.76	6.11
8:15	80.02	12.25	4.76
9:55	82.78	12.85	4.96
10:15	85.52	12.98	5.06
10:45	82.78	13.18	5.09
11:00	86.30	13.23	5.28
12:00	89.04	13.53	4.49
12:30	91.04	13.70	4.06
1:00	93.84	13.84	3.86
3:15	60.66	15.78	1.57

Elaboración Propia

Los datos mostrados en la Tabla-16 corresponden a un ciclo de trabajo de carga en donde la batería de plomo ácido con un voltaje nominal de 12V y con una capacidad de 53 Ah, tomó aproximadamente unas 7 horas para completar el proceso de carga. Se probaron unos 60 ciclos de carga y descarga.

Figura 82.

Comparación de un cargador convencional contra el cargador de lógica difusa.



(Paredes-Larroca, F. H., Saettone-Olschewski, E. A., Quino-Favero, J., Rosales-Huamaní, J., & Castillo-Sequera, J. L. , 2020)

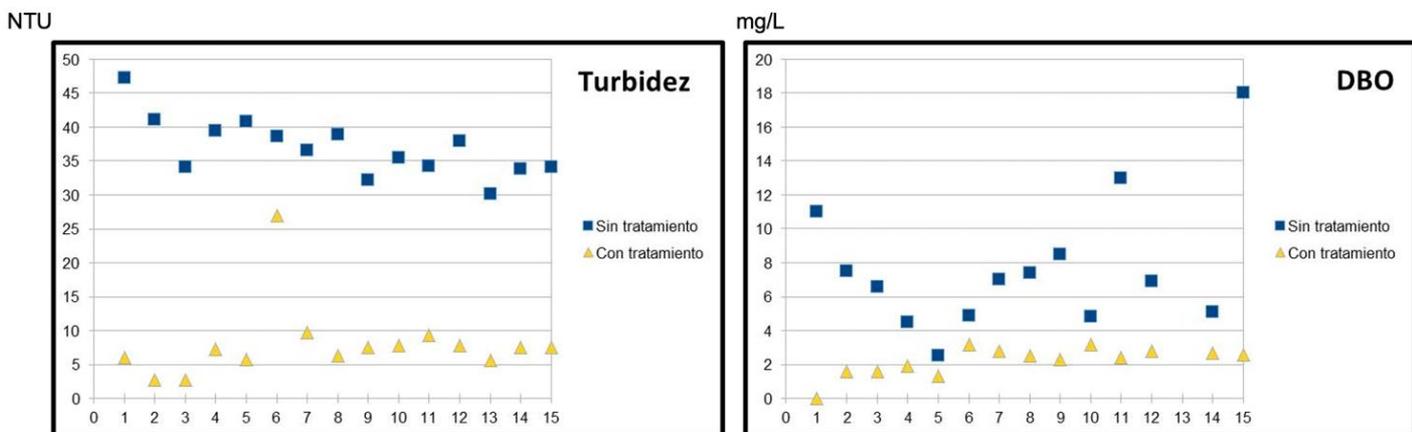
4.9 El ion ferrato con respecto a la remoción de la Turbidez, DBO₅, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Plomo.

La eficacia es el nivel de remoción de los compuestos con la capacidad del ion ferrato para lograr lo que se propuso en la planta de INIA.

4.9.1 Remoción de la DBO₅ y turbidez de agua para riego del reservorio del INIA

Figura 83.

Remoción de la DBO₅ y turbidez de agua para riego del reservorio del INIA



Datos del proyecto INIA-2015/2018

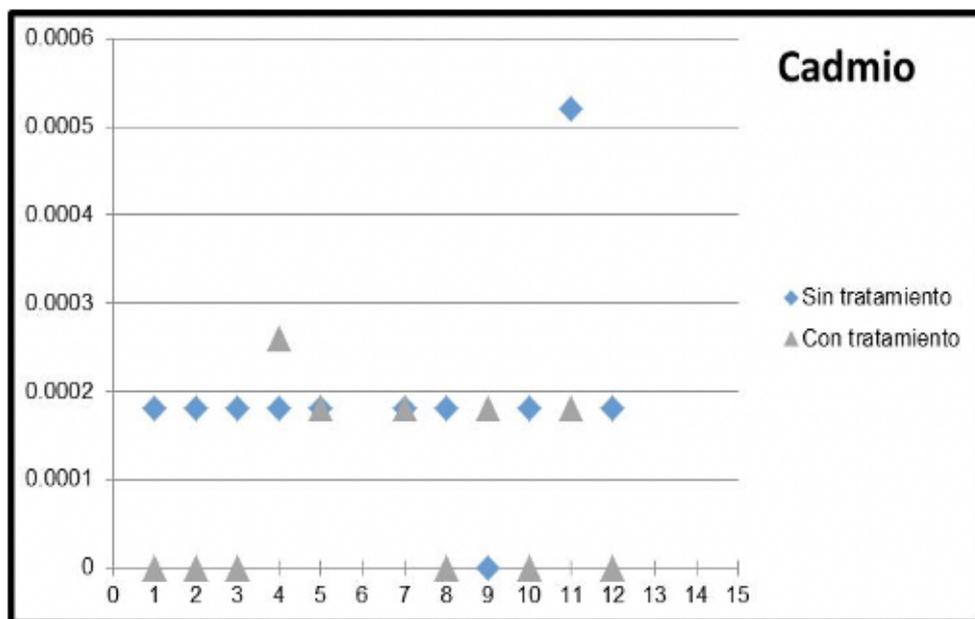
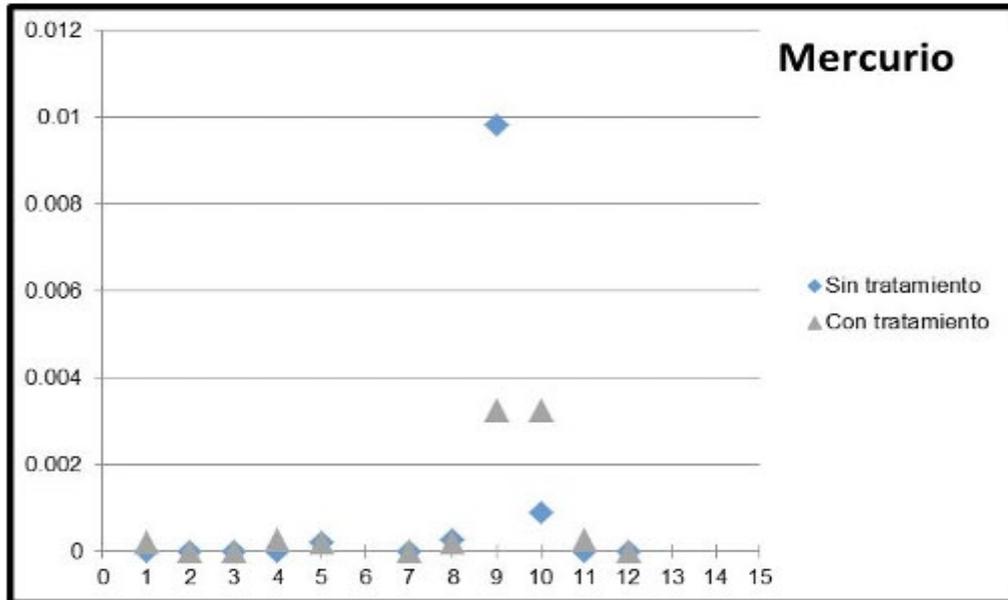
La eficiencia de utilizar el ion ferrato: mejora la Turbidez (NTU) y disminuye la bioquímica de oxígeno (DBO₅) según lo expuesto en las pruebas realizadas que se muestran en los cuadros anteriores. Los datos de los gráficos mostrados fueron analizados por la empresa TYPESA Perú. Según los parámetros de la OMS el valor del NTU debe ser 5 y el DBO₅ debe ser de 100 mg/L. (Truque, 2011)

El ion ferrato dentro de sus características también tiene la capacidad de remover algunos metales, en las siguientes gráficas se habla sobre ello.

4.9.2 Remoción de metales y metaloides del agua para Riego del reservorio del INIA

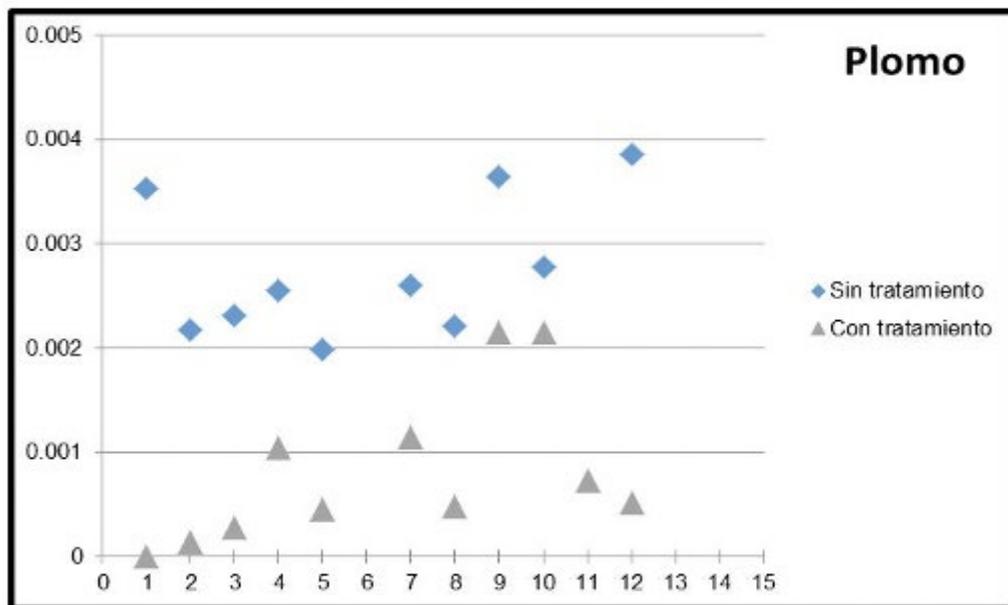
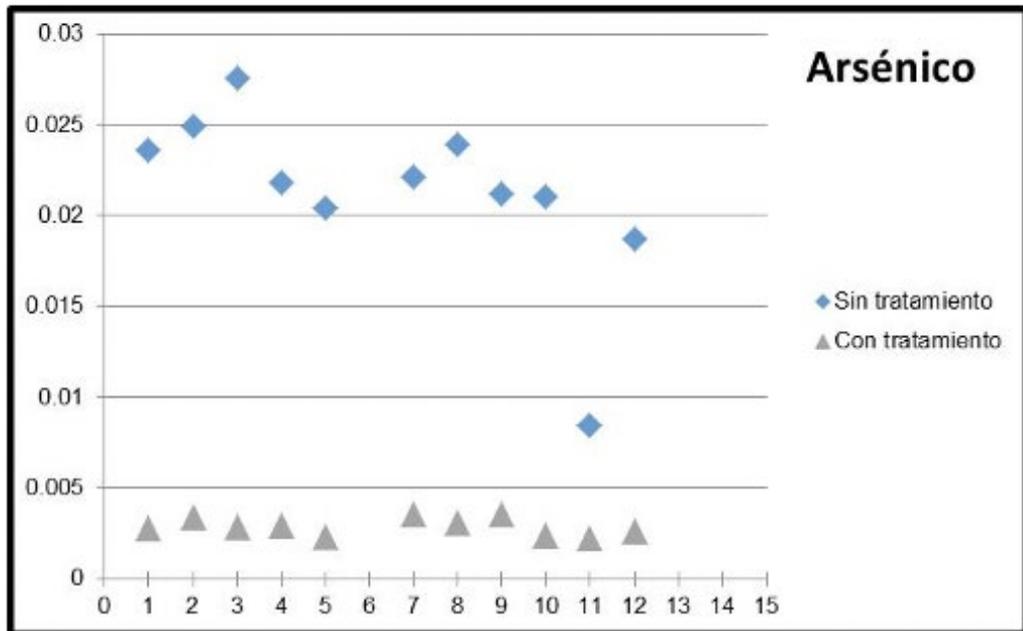
Figura 84.

Remoción de metales y metaloides del agua para Riego del reservorio del INIA



Datos del proyecto INIA-2015/2018

Figura 85.
Remoción de metales y metaloides del agua para Riego del reservorio del INIA



Datos del proyecto INIA-2015/2018

El ion ferrato: también tiene la capacidad de remover metales como el mercurio, cadmio, el plomo, así como el metaloide arsénico como se puede apreciar en las gráficas anteriores realizadas en la toma de datos según los experimentos

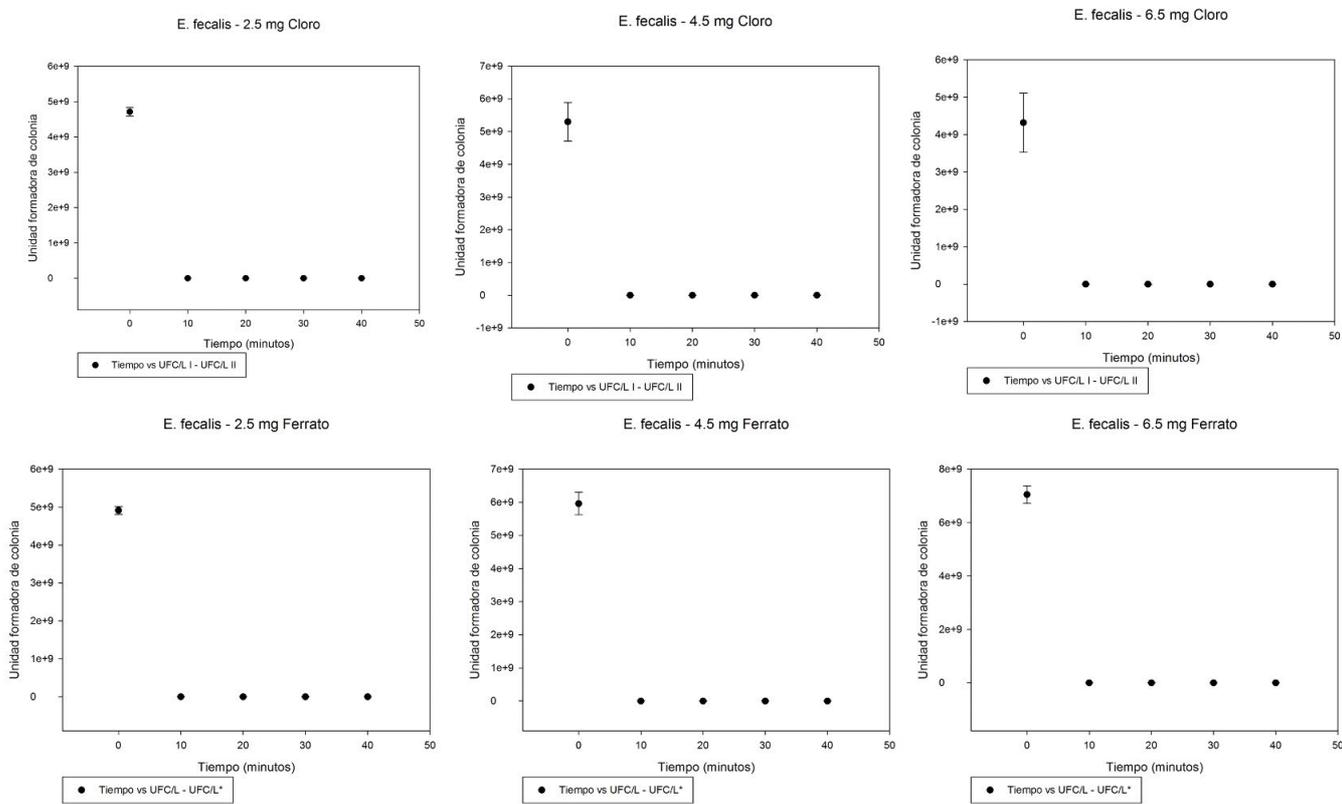
realizados en la planta de INIA-2018. Los datos de los gráficos mostrados fueron analizados por la empresa TYPASA Perú. Según los parámetros de la OMS el valor del mercurio debe ser 0,001 mg/L, el cadmio 0,003 mg/L, arsénico 0,01 mg/L y plomo 0,01 mg/L. (Truque, 2011).

4.9.3 El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en *Enterococcus faecalis* se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.

Muerte bacteriana *Enterococcus faecalis* ATCC 14506

Figura 86.

El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en *Enterococcus faecalis* se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.



Datos del proyecto INIA-2015/2018

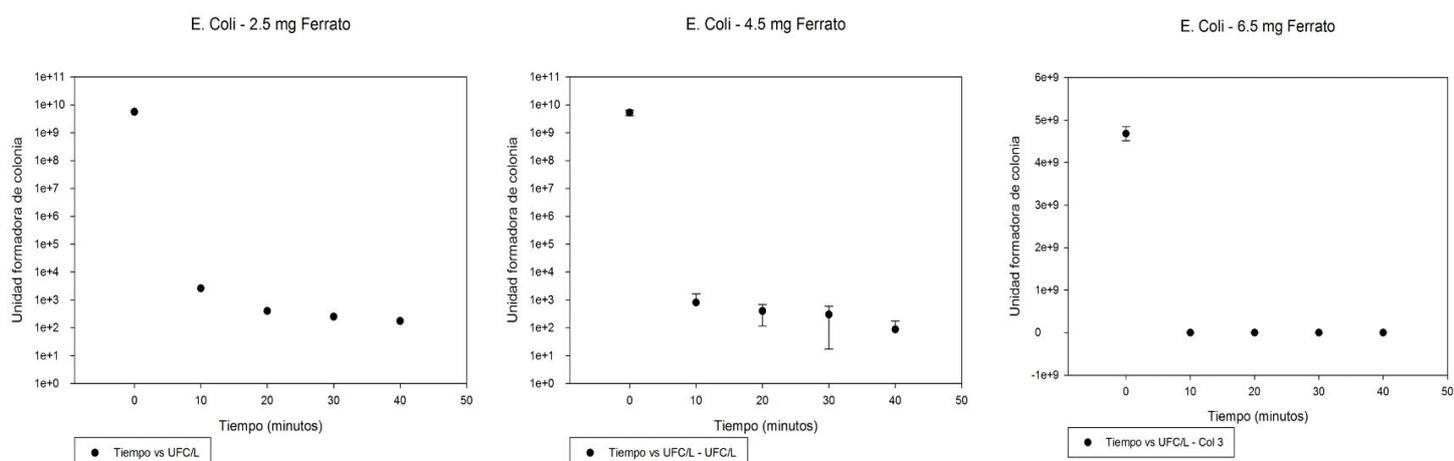
La eficiencia entre el uso entre del cloro y el ferrato a diferentes cantidades como 2,5mg, 4,5mg y 6,5mg se puede apreciar que la cantidad de colonias usando el ferrato disminuye notablemente. Los datos de los gráficos mostrados fueron analizados por la empresa TYPASA Perú. Según los parámetros de la OMS el valor de *Enterococcus faecalis* debe ser 0 UFC/100mL. (Truque, 2011).

4.9.4 El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en *Escherichia coli* se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.

Figura 87.

El ion ferrato también fue probado con una eficiencia en *Escherichia coli* se obtuvo las siguientes comparaciones frente al cloro.

Curvas de muerte de Escherichia coli ATCC 25922 con ferrato (VI)



Datos del proyecto INIA-2015/2018

La eficiencia del ferrato a diferentes cantidades como 2,5mg, 4,5 mg y 6,5 mg se puede apreciar que la cantidad de colonias usando el ferrato disminuye en la muerte del *Escherichia coli*. Los datos de los gráficos mostrados fueron analizados por la empresa TYPESA Perú. Según los parámetros de la OMS el valor de *Escherichia coli* debe ser 0 UFC/100mL. (Truque, 2011).

4.9.5 Planta piloto de INIA-2018

Figura 88.
Planta piloto de INIA-2018



Fotos del proyecto INIA-2015/2018

La primera planta de prototipo fue fabricada y montada en el INIA-2018, es uno de los primeros prototipos que fueron construidos.

- El ferrato(VI) es un agente oxidante y coagulante polivalente efectivo para facilitar la remoción de metales, metaloides, bacterias y otros contaminantes del agua.
- El ferrato(VI) puede ser producido in situ, acoplándose a sistemas convencionales.
- El ferrato(VI) es un agente de tratamiento “verde”, ya que una vez efectuada su acción el único producto residual es Fe(III) que en las concentraciones post tratamiento es inocuo.

V. DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de forma experimental son una muestra pequeña debido a que el cuello de botella al tomar estos datos son la máquina conocida como Cromatógrafo líquido de alto desempeño con sistema de generación de hidruros y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF) para el cálculo del Arsénico. Esta necesita un operador especializado y un consumo de gases y el manejo adecuado del arsénico que es un producto controlado, además los insumos para preparar el agua subterránea sintética de Bangladesh no se encuentran fácilmente en el Perú, los cuáles toman tiempo desaduanar. El tiempo de ejecución para detectar la muestra de arsénico con la (HPLC-HG-AF) toma unos 30 minutos en promedio por muestra a un costo elevado. Al realizar el análisis de datos estadísticos encontrados en la planta automatizada no pertenecen a una distribución normal, debido a que sus valores descienden muy rápido debido al proceso controlado con el sistema de lógica difusa, es decir esto comprueba que se están controlando las variables adecuadamente para este tipo de proceso. Para poder tener el éxito en el experimento se tiene un conocimiento aprendido en el proyecto de INIA realizado a finales del 2015, en donde se purificaba agua del Río Rímac y se utilizaba el control de pH y la inyección del ferrato con cloruro férrico. El agua purificada en el proyecto de INIA se utilizó para el riego de las lentejas en una de las parcelas. Con este conocimiento se desarrolla una segunda planta piloto, el agua sintética subterránea y se le adiciona el Arsénico(III) y Arsénico(V), para el tratamiento utilizando un algoritmo de control Fuzzy Logic de tipo Mamdani se realiza el control de los dispensadores de ferrato y cloruro férrico en un proceso de tipo continuo. Para la simulación del sistema difuso se utilizó el Matlab-2019 para obtener los coeficientes que serán llevados a la programación. Para generar los valores de pH y ORP en las pruebas previas, se utilizan dispositivos electrónicos que simulan señales de pH y ORP y se programa el software de control con cada uno de ellos. Este proceso hace que las bombas dosificadoras puedan realizar su trabajo de forma idónea, las bombas dosificadoras se le adaptó un encoder que permite saber en todo momento el caudal de inyección del ferrato y del cloruro férrico. Es decir, es sistema funciona en lazo cerrado, programado en C++, ajustado y desarrollado ha sido probado y simulado antes de utilizarlo en el sistema de la planta automatizada que funciona de forma conveniente.

VI. CONCLUSIÓN

6.1 Conclusiones sobre el sistema de procesamiento del arsénico en el agua.

- El sistema de control de lógica difusa resulta adecuado a este tipo de sistemas donde el comportamiento no es lineal, la incertidumbre de las variables del proceso hace que mejor se adapten a un algoritmo como el utilizado.
- En el sistema propuesto no es fácil hacer un modelo matemático que relacione las variables medidas y las respuestas, el uso del sistema difuso ha sido programado en base a la experiencia del operador de la planta explicando el producto que se debe tener al final del proceso, el programador ha traducido esa experiencia en reglas para obtener el resultado mostrado.
- Las horas de desarrollo de programación con este tipo de sistemas son menores a los tradicionales debido a que los simuladores nos muestran gran similitud con la realidad.
- La flexibilidad de poder cambiar las reglas en el sistema de forma rápida permite diseñar y desarrollar en menor tiempo una solución para hacer que funcione mejor en tiempo real.
- Las respuestas en el sistema de control propuesto cambian de forma rápida como se muestra en la figura 18, el sistema se adecua en todo momento al régimen del agua que se encuentra fluyendo por la tubería, los cambios de las variables de entrada como pH y ORP tienen como respuesta una señal eléctrica que luego debe llegar a las bombas para inyectar adecuadamente los fluidos para tratar el agua. Los controladores obtienen respuestas adecuadas para el sistema y siempre se encuentran cerca del valor deseado.
- Uno de los factores importantes de este sistema radica en la calidad de los instrumentos de medición (sensores), ello obliga a que en un sistema con adversidades de trabajo el sistema sea robusto y fiable.
- A diferencia de sistemas de control basados en PID, este sistema propuesto tiene la ventaja de contener más de una entrada y una salida, es capaz de manejar muchas variables de entrada y dar como respuesta muchas señales hacia los actuadores. Es una ventaja por que puedo articular varias entradas para un solo proceso.

- El sistema de control propuesto puede adaptarse a condiciones diferentes en el tratamiento del agua, esta puede variar de forma continua y el sistema es capaz de adaptarse de forma rápida y dar una respuesta adecuada según la gráfica de la figura 63.
- Al aumentar el caudal del agua a tratar o al disminuir el mismo este sistema se adapta a condiciones de trabajo fluctuantes debido a que la complejidad del software en este tipo de procesadores tiene una velocidad de respuesta que permite la adecuación de las salidas de forma rápida.
- Todos los parámetros que se miden en este sistema propuesto que guardados en el PLC para que luego podamos comparar los valores predispuestos y las oscilaciones del control.
- El tratamiento en línea que consiste en la inyección de Fierro (VI) y Fierro (III) permite el decremento del arsénico en el líquido sintético preparado para el proceso, llegando el valor permitido 10 $\mu\text{g/L}$ cuando se partió de una mezcla equimolar de arsenito y arseniato que al inicio fue de 400 $\mu\text{g/litro}$.
- La programación del sistema de control automatizado ha conseguido ORP se encuentre dentro de los 800 mV lo que permite la oxidación del arsenito, de igual forma el control del pH controlado por la inyección del FeCl_3 ha determinado que el arseniato no pueda reaccionar con los iones del Fe (VI) mientras se hace el ajuste del pH a un valor parecido al neutro.

6.2 Conclusiones del controlador solar.

(Perú Patente nº PE20181963A1, 2018)

- El sistema propuesto ha permitido cargar la batería de plomo ácido en 7 horas, lo que permite alta flexibilidad teniendo en cuenta la disponibilidad de iluminación solar local.
- Cambios pequeños en las reglas del fuzzificador ocasionan cambios grandes en el Duty Cycle de la batería, lo produce el aumento en el tiempo de carga.

- En las zonas rurales con temperaturas ambientales muy bajas, el cambio de las reglas del fuzzificador logra que la batería tenga una temperatura adecuada para poder ser cargada.
- Considerando que las baterías de plomo ácido no están hechas para descargas profundas, y que la vida útil de ellas disminuye drásticamente, la función del controlador es evitar la descarga por debajo de 10.5V.
- El controlador desarrollado está fabricado con componentes que son fáciles de adquirir localmente a fin de que pueda ser replicado.
- La robustez del sistema quedó probada después de realizar pruebas durante unos 4 meses en el laboratorio sin ningún percance.

VII. RECOMENDACIÓN

- Los sistemas de control basados en lógica son utilizados en donde las condiciones de trabajo no se comportan linealmente.
- Las reglas de un sistema difuso se extraen del uso cotidiano del operador de un sistema, que luego son llevadas a un sistema lingüístico para su posterior adaptación.
- Los sistemas difusos ocupan poco espacio de memoria en los procesadores lo cuál ayuda a ser programados en sistemas de bajo consumo energético como procesadores de 3.3v.
- Los sistemas tradicionales de control como por ejemplo los que son de tipo PID, que representan un 80% de uso en la industria, sólo tiene la capacidad de aceptar una señal de entrada del sensor y una señal de salida para el actuador. A diferencia de un sistema basado en lógica difusa que permite una infinidad de señales de entrada que provienen de los sensores y una múltiple cantidad de señales de salida para los actuadores.
- Los sistemas difusos en la actualidad son utilizados en gran cantidad debido a su tiempo de procesamiento que es bastante corto y no requieren gran poder computacional, lo tenemos en la línea blanda de artefactos, así como en sistemas de frenos ABS en los automóviles.
- Son sistemas que se pueden adecuar a soluciones complejas de forma rápida, gracias a que los simuladores que se encuentran presentes en el mercado como Matlab o Labview, estas herramientas permiten un desarrollo adecuado según el tipo de aplicaciones.
- Una de las experiencias en el desarrollo de estos sistemas es que la calidad de los señores es crucial para el éxito del algoritmo, es decir usar sensores industriales homologados por los fabricantes dan un señal limpia y adecuada para el uso correcto de este tipo de algoritmos.
- En la actualidad se usará en mayor cantidad estos algoritmos debido a la potencia de los nuevos procesadores ya disponibles en el mercado.

Bibliografía

Trabajos citados

[PE], P. L., [PE], S. O., & [PE], G. D. (2018). *Perú Patente n° PE20181963A1*.

Adeel, Z., & Ali, M. A. (2002). A comparative evaluation and field implementation of treatment technologies for arsenic removal from groundwater. n Proceedings of International Workshop on Arsenic Mitigation in Bangladesh, (pp. 14-16).

Alaerts, G. J., & Khouri, N. (2004). Arsenic contamination of groundwater: Mitigation strategies and policies. *Hydrogeology Journal*, 12(1), 103-114.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Episiteme.

Amrose, S., Gadgil, A., Srinivasan, V., Kowolik, K., Muller, M., Huang, J., & Kostecki, R. (2013). Arsenic removal from groundwater using iron electrocoagulation: effect of charge dosage rate. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 48(9), 1019–1030.

Balbuca Encalada, L. K. (2017). *Responsabilidad ética y social del investigador*.

Bandara, G. E. M. D. C., Ivanov, R., & Gishin, S. (1999). Intelligent fuzzy controller for a lead-acid battery charger. . In *IEEE SMC'99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 99CH37028)*, (Vol. 6, pp. 185-189). IEEE.

Bawa, D. &. (2013). Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(12), 179-187.

Berger, H. (2014). *Automating with STEP 7 in STL and SCL. SIMATIC S7-300/400 programmable controllers*. John Wiley & Sons.

Çelik, B., Birtane, S., Dikbıyık, E., & Erdal, H. (2015). Liquid level process control with fuzzy logic based embedded system. In *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, (pp. 874-878). IEEE. ISO 690 .

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

Chevrie, F., & Guely, F. . (1998). *Fuzzy logic-Cahier technique no 191*. first issued, december 1998.

- Daen, S. T. . (2011). Tipos de investigación científica. . Revista de Actualización Clínica Investiga Boliviana.
- Dastidar, A., & Wang, Y. T. (2009). Arsenite oxidation by batch cultures of *Thiomonas arsenivorans* strain b6. *Journal of Environmental Engineering*, 135(8), 708-715.
- Driankov, D. &. (2013). Fuzzy logic techniques for autonomous vehicle navigation. (Vol. 61). *Physica*.
- Eng, Y. Y., Sharma, V. K., & Ray, A. K. (2006). Ferrate (VI): Green chemistry oxidant for degradation of cationic surfactant. *Chemosphere*, 63(10), 1785-1790.
- Estévez-Valdés, I., & González-Izquierdo, E. (2001). Estadística para administración y economía. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 131-135.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Editorial McGraw Hill.
- Francisca, F. M. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 177-190.
- Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Wei, X., & Creed, J. T. (2001). Speciation and preservation of inorganic arsenic in drinking water sources using EDTA with IC separation and ICP-MS detection. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(4), 371-376.
- Gallagher, P. A., Schwegel, C. A., Wei, X., & Creed, J. T. (2001). Speciation and preservation of inorganic arsenic in drinking water sources using EDTA with IC separation and ICP-MS detection. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(4), 371-376.
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. . (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en educación médica*, 2(8), 217-224.
- George, C. M., Sima, L., Arias, M., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., ... & Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92, 565-572.
- Govidan, N., & Rajasekaran Indra, M. (2018). Smart fuzzy-based energy-saving photovoltaic burp charging system. *International Journal of Ambient Energy*, 39(7), 671-677.
- Han, Q., Wang, H., Dong, W., Liu, T., Yin, Y., & Fan, H. (2015). Degradation of bisphenol A by ferrate (VI) oxidation: Kinetics, products and toxicity assessment. *Chemical Engineering Journal*, 262, 34-40.

Hao, L., Liu, M., Wang, N., & Li, G. (2018). A critical review on arsenic removal from water using iron-based adsorbents. *RSC advances*, 8(69), 39545-39560.

Hernández Islas, M. (2016). El plagio académico en la investigación científica. Consideraciones desde la óptica del investigador de alto nivel. *Perfiles educativos*, 38(153), 120-135.

Hidalgo, I. V. (2005). *Tipos de estudio y métodos de investigación*. Recuperado el Noviembre, 20.

Horna, A. A. (2010). *¿ Como hacer una tesis en ciencias empresariales? Manual Breve Para los Tesistas Administración, Negocios Internacionales, Recursos Humanos*. Lima: USMP.

Horna, A. A. V. (2010). *Cómo evaluar la rigurosidad científica de las tesis doctorales*. Lima-Perú: Universidad San Martín de Porras.

Hua, B. (2009). A fuzzy logic based coagulant real time control scheme for water purification system. In 2009 International Conference on Mechatronics and Automation, (pp. 2123-2127). IEEE.

Hyde, C. G., & Langelier, W. F. . (1935). Practical Aspects of Coagulation with Ferric Chloride. *Journal (American Water Works Association)*, 27(5), 631-661.

Javadi, F. S., Rismanchi, B., Sarraf, M., Afshar, O., Saidur, R., Ping, H. W., & Rahim, N. A. (2013). Global policy of rural electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 402-416.

Jiang, J. Q., Wang, S., & Panagouloupoulos, A. (2006). The exploration of potassium ferrate (VI) as a disinfectant/coagulant in water and wastewater treatment. *Chemosphere*, 63(2), 212-219.

Johnson, P. N., & Amirtharajah, A. P. P. I. A. H. (1983). Ferric chloride and alum as single and dual coagulants. *Journal-American Water Works Association*, 75(5), 232-239.

Justo, J. B. (2013). (2013). *El derecho humano al agua y al saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. ODM.

Katz, D., & Kahn, R. (1977). *Psicología social de las organizaciones*. Mexico: Trillas.

Kelkar, B., & Postlethwaite, B. . (1994). Study of pH control process using fuzzy modelling. *International Conference on Control-Control'94*, (Vol. 1, pp. 272-275).

Kinniburgh, D.G., Smedley, P.L. (2001). Arsenic Contamination of Groundwater in Bangladesh. *British Geological Survey Technical Report WC/00/19*;

Kocian, J., Koziorek, J., & Pokorny, M. (2011). Implementation of fuzzy logic control based on plc. In *ETFA2011*, pp. 1-8). IEEE.

Lara-Rojo, F., Sánchez, E. N., Zaldívar-Navarro, D., & Sur, P. L. M. (2001). Real-time fuzzy microcontroller for a didactic level system. In *Electro*, (Vol. 2001, pp. 153-158).

Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamaní, J. R., & Castillo Sequera, J. L. (2020). Water treatment plant prototype with pH control modeled on fuzzy logic for removing arsenic using Fe (VI) and Fe (III). *Water*, 13.

León, P., Lara, H., Aguilar, D., Vega, C., Sotomayor, D., & Espinosa, N. (2015). Fuzzy controller developed in a plc, based on weighted average method. *Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*, (pp. 55-60). IEEE.

Li, D. (1999). Fuzzy multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information. *Fuzzy Sets and Systems*, 106(2), 113-119.

Liviach, D., Creus, A., & Marcos, R. (2009). Genotoxicity analysis of two halonitromethanes, a novel group of disinfection by-products (DBPs), in human cells treated in vitro. *Environmental research*, 109(3), 232-238.

López, D. L., Bundschuh, J., Birkle, P., Armienta, M. A. (2012). Arsenic in volcanic geothermal fluids of Latin America. *Science of the total Environment*, 429, 57-75.

Machaca Fernández, D. S., Quispe Yanapa, B., & Carpio Fernández, J. (2018). Estudio hidrogeológico del distrito de Mórrope. Región Lambayeque, provincia de Lambayeque. 32.

Malkhandi, S. (2006). Fuzzy logic-based learning system and estimation of state-of-charge of lead-acid battery. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(5), 479-485.

Mendoza Flores, M. M. (2016). En la periferia de la ciudad y la gobernanza: un estudio de caso sobre la gestión local del agua y saneamiento en el Asentamiento Humano del Cerro Las Ánimas. Lima: Tesis.

Mogrovejo-García, P., Prieto-Veramendi, P. M., Flores-del-Pino, L., Eyzaguirre-Pérez, R., & Quino-Favero, J. (2018). Electrochemical synthesis of ferrate (Vi): Optimization of parameters and evaluation of their impact in production cost.

Montesinos Ruiz, L., Bayona Sambrano, Y., Cerna Figueroa, E., Llanos Miranda, K. N., & Pajuelo Rojas, S. (2016). *Estadística descriptiva y probabilidad: enfoque por competencias*. Perú: Fondo editorial USIL.

Nerurkar, S. S. . (1994). Design and implementation of fuzzy logic controller for a process control application.

Nicolae, A., Korodi, A., & Silea, I. (2019). Identifying data dependencies as first step to obtain a proactive historian: Test scenario in the water Industry 4.0. *Water*, 11(6), 1144.

OXFAM. (30 de Setiembre de 2021). Peru.oxfam.org. Obtenido de <https://peru.oxfam.org/qué-hacemos-ayuda-humanitaria/entre-7-y-8-millones-de-peruanos-no-tienen-acceso-agua-potable>

Pal, P. (2015). Groundwater arsenic remediation: treatment technology and scale UP. USA: Butterworth-Heinemann.

Paliwal, P., Patidar, N. P., & Nema, R. K. . (2012). Fuzzy logic based determination of battery charging efficiency applied to hybrid power system. *J. World Acad. Eng. Sci. Technol*, 71, 1164-1168.

Paredes-Larroca, F. H., Saettone-Olschewski, E. A., Quino-Favero, J., Rosales-Huamani, J., & Castillo-Sequera, J. L. . (2020). Development of a Fuzzy Logic-Based Solar Charge Controller for Charging Lead–Acid Batteries. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 16.

Patil, A. R., Atar, K. D., Potdar, A. A., & Mudholkar, R. R. (2013). Embedded fuzzy module for battery charger control. *International Journal of Advanced Research in Electrical, . Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(8), 4072-4078.

Pérez Chueca, P. (2017). Automatización de una planta de tratamientos de aguas residuales . Universitat Politècnica de València.

Ponce, C. V., & Rojas, B. (2019). Diseño de un Sistema Experto Difuso para la Determinación de la Densidad de Corriente en una Planta de Cromado. *Información tecnológica*, 30(2), 157-170.

Puigdomenech, I. (2004). Hydra/Medusa chemical equilibrium database and plotting software. KTH Royal Institute of Technology.

Quino Favero, J. M. (2020). Diseño de una unidad de tratamiento de agua basada en electrosíntesis de iones ferrato para la remoción de arsénico inorgánico. Lima.

Quino-Favero, J., & Eyzaguirre-Pérez, R. (2015). Unidad de producción de ion ferrato por métodos electroquímicos para el tratamiento de agua contaminada con arsénico.

Ramon, M. C. (2014). Intel galileo and intel galileo gen 2. In *Intel® Galileo and Intel® Galileo Gen 2*. California: Apress, Berkeley, CA.

Richardson, S. D., Plewa, M. J., Wagner, E. D., Schoeny, R., & DeMarini, D. M. (2007). Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 636(1-3), 178-242.

Roberts, L. C., Hug, S. J., Ruettimann, T., Billah, M. M., Khan, A. W., & Rahman, M. T. . (2004). Arsenic removal with iron (II) and iron (III) in waters with high silicate and phosphate concentrations. . *Environmental Science & Technology*, 38(1), 307-315.

Roca, A., & Bruner, C. A. (2011). Un análisis del origen del consumo excesivo de agua del beber inducido por el programa. . *Revista mexicana de análisis de la conducta*, 37(2), 177-204.

Rodríguez, F., & Gómez Bravo, L. (1991). Indicadores de calidad y productividad de la empresa. Venezuela: Corporación Andina de fomento.

Santini, J. M., Sly, L. I., Schnagl, R. D., & Macy, J. M. (2000). A new chemolithoautotrophic arsenite-oxidizing bacterium isolated from a gold mine: phylogenetic, physiological, and preliminary biochemical studies. *Applied and environmental microbiology*, 66(1), 92-97.

Serrano, M., Montesinos, I., Cardador, M. J., Silva, M., & Gallego, M. . (2015). Seasonal evaluation of the presence of 46 disinfection by-products throughout a drinking water treatment plant. . *Science of the Total Environment*, 517, 246-258.

Silva, S., Soares, S., Valente, A., & Marcelino, S. T. (2015). Digital sound processing using arduino and MATLAB. In 2015 . *Science and Information Conference (SAI)*, (pp. 1184-1191). IEEE.

Simeonova, D. D., Lièremont, D., Lagarde, F., Muller, D. A., Groudeva, V. I., & Lett, M. C. (2004). Microplate screening assay for the detection of arsenite-oxidizing and arsenate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 237(2), 249-253.

Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. (2007). Fuzzy rule-based system. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, 13-149.

Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB (Vol. 1)*. Berlin: Springer.

Smith, R. B., & Giesy, P. M. (1923). The titration of ferric chloride with sodium hydroxide, using the oxygen electrode: A proof of the non-existence on iron oxychloride. . *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 12(10), 855-856.

Song, Y., Bi, Z., & Liu, K. (2007). The PLC system of egg powder treatment based on fuzzy control algorithm. In *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007)*, (Vol. 4, pp. 530-534). IEEE.

Sowah, R., Ampadu, K. O., Ofoli, A., Koumadi, K., Mills, G. A., & Nortey, J. (2016). Design and implementation of a fire detection and control system for automobiles using fuzzy logic. . In *2016 IEEE industry applications society annual meeting*, (pp. 1-8). IEEE.

Stenerson, J., & Deeg, D. (2015). *Programming Siemens Step 7 (TIA Portal), a Practical and Understandable Approach*. . CreateSpace Independent Publishing Platform.

Tecnología para la industria. (22 de 10 de 2018). Tecnología para la industria. Obtenido de Tecnología para la industria: <https://tecnologiaparalaindustria.com/como-mejorar-la-eficiencia-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-industriales>.

Thao, N. G. M., & Uchida, K. (2017). A two-level control strategy with fuzzy logic for large-scale photovoltaic farms to support grid frequency regulation. *Control Engineering Practice*, 59, 77-99.

Tiwari, D., Sailo, L., & Pachua, L. (2014). Remediation of aquatic environment contaminated with the iminodiacetic acid metal complexes using ferrate (VI). *Separation and Purification Technology*, 132, 77-83.

Truque, P. (2011). Armonización de los estándares de agua potable en las Américas. Organización de Estados Americanos, Washinton DC,. EE.UU.

Tsai, S. L., Singh, S., & Chen, W. (2009). Arsenic metabolism by microbes in nature and the impact on arsenic remediation. *Current Opinion in Biotechnology*, 20(6), 659-667.

Tusell, F. (2011). Análisis de regresión. Introducción teórica y práctica basada en R. Adolescence. An age of opportunity.

Valderrama Mendoza, S. (2020). Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima: Editorial San Marcos.

Vargas Gutiérrez, Kryss; Eyzaguirre Pérez, Raúl; Paredes Larroca, Fabricio Humberto; Ponce Álvarez, Silvia; Quino Favero, Javier; Saettone Olschewski, Erich Arturo . (2018). Implementación del riego automatizado y mejora de la calidad de aguas no seguras para la agricultura. Lima: Universidad de Lima IDIC.

Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J. . (2017). A pH process control embedded on a PLC using Fuzzy Logic. In 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN), (pp. 1-6). IEEE.

Velázquez-González, R., Gómez-Lemus, T., & Rodríguez-Reséndiz, J. . (2017). A pH process control embedded on a PLC using Fuzzy Logic. n 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN), (pp. 1-6). IEEE.

William, H., Douglas, M., David, G., & Connie, B. . (2006). Probabilidad y Estadística para Ingeniería. México: CECSA.

Wise, J. M., Noble, D. C., Vidal, C. E., & Gustafson, L. B. (2004). Geology and structural control of the Huancavelica mercury district, central Peru. Abstracts with Programs—Geological Society of America , (Vol. 36, No. 4, p. 22).

Yamamura, S. &. (2014). Microbiology of inorganic arsenic: from metabolism to bioremediation. *Journal of bioscience and bioengineering*, 118(1), 1-9.

Yang, B., Ying, G. G., Zhao, J. L., Liu, S., Zhou, L. J., & Chen, F. . (2012). Removal of selected endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) during ferrate (VI) treatment of secondary wastewater effluents. *Water research*, 46(7), 2194-2204.

Yang, X., Guo, W., Zhang, X., Chen, F., Ye, T., & Liu, W. (2013). Formation of disinfection by-products after pre-oxidation with chlorine dioxide or ferrate. *Water research*, 47(15), 5856-5864.

Yokota, H., Tanabe, K., Sezaki, M., Yano, Y., Hamabe, K., Yabuuchi, K., ... & NIPSOM. (2002). Arsenic contamination in groundwater of Samta, Bangladesh. *Water science and technology*, 46(11-12), 375-380.

Zhao, J. C., Zhang, J. F., Feng, Y., & Guo, J. X. (2010). The study and application of the IOT technology in agriculture. In *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology* , (Vol. 2, pp. 462-465). IEEE.

Zhou, S., Shao, Y., Gao, N., Zhu, S., Li, L., Deng, J., & Zhu, M. . (2014). Removal of *Microcystis aeruginosa* by potassium ferrate (VI): Impacts on cells integrity, intracellular organic matter release and disinfection by-products formation. *Chemical Engineering Journal*, 251, 304-309.

IX. ANEXOS

Anexo 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA-Planta automatizada para remoción de Arsénico.

Objeto de estudio	Problemas de investigaciones	Objetivos de Investigación	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Desarrollar y Programar un sistema experto con lógica difusa para el control de las variables maestras que participan en la remoción de aguas subterráneas.	Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Sistema experto con lógica difusa. Concentración Arsénico	pH, ORP As (III), As(V)	mV µg As (III) /litro µg As(V) /litro	pH-metro ORP-metro HPLC-HG-AFS
	Determinar de forma efectiva la remoción de las diversas especies de arsénico en el agua subterránea requiriendo un ajuste del potencial de óxido-reducción (ORP) y del pH de forma rápida y precisa ¿Cuáles son las consecuencias de no controlar los factores de pH y ORP durante un tratamiento continuo de agua subterránea contaminada con arsénico que afecta en forma negativa los recursos hídricos, la salud y el medio ambiente?	Diseñar y desarrollar un sistema de remoción experto que permita ejecutar el control en flujo continuo del proceso de remoción de las especies de arsénico ajustando el pH y el ORP de forma óptima durante el tratamiento del agua subterránea sintética de tal forma que no afecte los recursos hídricos, la salud y el medio ambiente.	Un sistema experto de control de pH y ORP basado en lógica difusa tipo Mamdani logra controlar con rapidez y precisión las variables pH y ORP lo que se traduce en la remoción del arsénico con una eficiencia superior al 90%.				

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específica				
¿Qué limita la falta de control, en la adición de insumos químicos, variables, que no responden linealmente a la adición de dichos insumos?	Diseñar y programar un sistema experto de control de pH basado en lógica difusa de tipo Mamdani e implementarlo en una planta de tratamiento para remoción de arsénico.	El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener el pH dentro de los límites preestablecidos.	Sistema experto con lógica difusa.	pH	$\mu(X)$	pH-metro ORP-metro
	Diseñar y programar un sistema experto de control de ORP basado en lógica difusa de tipo Mamdani e implementarlo en una planta de tratamiento para remoción de arsénico.	El sistema experto con lógica difusa tipo Mamdani logra mantener el ORP dentro de los límites preestablecidos.		ORP	$\mu(X)$	HPLC-HG-AFS
¿En qué medida el inadecuado ajuste de las variables incrementa el tiempo que impide el control en un sistema continuo?	Programar un sistema que permita adquirir los datos de pH y ORP y procesarlos en tiempo real para lograr el control instantáneo de las variables maestras en una planta automatizada para la remoción del arsénico.	El control de las variables pH y ORP permite la remoción a caudal continuo del arsénico manteniendo la concentración total por debajo de los 10 μg /litro cuando el ingreso es de 400 μg /litro.	Remoción del arsénico	$\mu\text{g As (III) /litro}$ $\mu\text{g As(V) /litro}$	Eficiencia $E = \frac{(S_o - S)}{S_o} * 100$	

Anexo 02: OPERACIONALIZACIÓN _DE _VARIABLES.

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional y categorización	Dimensiones	Indicadores	Ítem /Fórmula	Escala
Sistema experto con lógica difusa.	Cruz-Gutiérrez, Viridiana, 2015, Describe el diseño en base al conocimiento mediante técnicas de Ingeniería del Conocimiento. El conocimiento plasmado contiene la información y experiencia de un especialista. Con el procesamiento y este conocimiento es factible diagnosticar y predecir resultados para la implementación	La manera en que se implementará el sistema experto con lógica difusa: -Categorización: Estructura. Metodología: Procedimientos racionales a través de la experimentación en el laboratorio para lograr los objetivos de control del pH y el ORP.	pH, ORP As (III), As(V)	mV µg As (III) /litro µg As(V) /litro		
Eficiencia	(Pal, P., 2015) La remoción de algunos de los contaminantes en el tratamiento de agua se determina por la siguiente ecuación que relaciona solo un parámetro biofísico en el efluente frente al efluente	Se presenta la variable Independiente " Sistema experto con lógica difusa" y la variable dependiente ,Eficiencia de remoción del As _(Total) de forma experimental y calculada con la fórmula, se utiliza como instrumento de medición.	Eficiencia	Índice Eficiencia	$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} * 100$	Razón

Anexo 03: VALIDACIÓN DE EXPERTOS

Breve CV de descripción del experto: Ph.D. Lisveth Flores del Pino.

Ph.D. en Ingeniería Ambiental y Toxicología Ambiental por Michigan State University, USA. Diploma en Ingeniería y Ciencias Ambientales por el IHE, Holanda. Magister en Química por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Ingeniero Químico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Actualmente, Profesora Principal, Directora de la Oficina de Transferencia Tecnológica y Propiedad Intelectual y Coordinadora del Programa Doctoral en Ingeniería y Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Agraria La Molina donde ha sido Directora del Departamento Académico de Química y Profesora Visitante en Michigan State University. Ha participado en proyectos de investigación en temas de I+D+i en las líneas de investigación relacionados a riesgos tóxicos y ecotoxicológicos, validación de metodologías para la cuantificación de contaminantes en el aire, agua suelos, sedimentos, alimentos, etc.; incluyendo contaminantes emergentes. Ha trabajado en consultorías relacionadas con Evaluación de Riesgos a las Salud Humana y el Ambiente en instituciones públicas y privadas, Implementación de Laboratorios de Residuos Tóxicos en Productos Agropecuarios y Control de Calidad de Insumos Agrícolas y Certificaciones de Calidad en Temas de Sanidad e Inocuidad para SENASA y el Proyecto del Banco Mundial-PCM “Apoyo para Mejorar la Oferta Productiva y Facilitar el Comercio Exterior”. Posee una patente en “Especiación de Arsénico” en USA.

Ficha de Validación del Instrumento:



IV. Certificado de validez de contenido del instrumento.

Número	Dimensiones	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencia
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	Eficiencia de remoción del arsénico.	X		X		X		
2	Concentración del arsénico As(III) y As(V) determinada por Cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC= acoplada a generador de hidruros)HG= y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF)	X		X		X		

¹Pertinencia: El Indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El Indicador es apropiado para representar la componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Observaciones: Hay Suficiencia [X] No hay Suficiencia []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de Corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del Juez Validador. Lisveth Flores del Pino de Wright, Ph.D.

Especialidad del validador: Química ambiental, Ecotoxicología, Toxicología Ambiental, Arsénico (patente en especificación)

12 de Octubre del 2021.

Firma del Experto Informante
 Coordinadora del Centro de Investigación en Química,
 Toxicología y Biotecnología Ambiental (CQTOBIA)
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 lisveth@lamolina.edu.pe

Breve CV de descripción del experto: Ph.D. Javier Martín Quino Favero.

Profesor e Investigador de la Universidad de Lima Biólogo, MSc en Microbiología y PhD en Ingeniería Ambiental. Su interés está relacionado al análisis y especiación del arsénico en agua. El uso de ferrato(VI) para la desinfección y remoción de contaminantes en agua. La aplicación de técnicas de microbiología para remediación de contaminantes a través del uso de sistemas de tratamiento mixtos (biológicos y no biológicos). Biotecnología de enzimas: amilasas, glucoamilasas, proteasas y tanasas para la valorización de materiales residuales bajo los esquemas de economía circular.

Ficha de Validación del Instrumento:



IV. Certificado de validez de contenido del instrumento.

Número	Dimensiones Dimensión 1	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencia
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	Eficiencia de remoción del arsénico.	X		X		X		
2	Concentración del arsénico As(III) y As(V) determinada por Cromatografía líquida de alto desempeño)HPLC= acoplada a generador de hidruros)HG= y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF)	X		X		X		

¹Pertinencia: El indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El indicador es apropiado para representar la componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Observaciones: Hay Suficiencia [X] No hay Suficiencia []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de Corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del Juez Validador: Quino Favero, Javier Martín

Especialidad del validador: Ingeniería ambiental, tratamiento de aguas con arsénico, análisis de especiación del arsénico.

12 de octubre del 2021.

Firma del Experto Informante.

Javier M. Quino Favero, PhD
 Profesor Asociado
 Universidad de Lima
 jquino@ulima.edu.pe

Breve CV de descripción del experto: Dra. Ana Cecilia Valderrama Negrón.

Licenciada en Química de la Escuela Profesional de Química, Facultad de Ciencias, UNI, con estudios de Maestría y Doctorado en el Instituto de Química de la Universidad de Sao Paulo Brasil (1998 – 2005). Actualmente se desempeña como Docente a tiempo completo en la Universidad Nacional de Ingeniería y docente a tiempo parcial en la Universidad de Lima. En la UNI soy responsable del grupo de investigación de Biopolímeros y Metal Fármacos de la Facultad de Ciencias y también soy Investigadora en la Universidad de Lima. Los temas de investigación que desarrollo están con relación a la Síntesis, Caracterización y Determinación de la Actividad Biológica de complejos formados por la interacción de fármacos de actividad conocida con metales de transición, así como el estudio del cargado y liberación controlada de fármacos y metales fármacos a partir de biopolímeros como quitosano, alginato y celulosa.

Ficha de Validación del Instrumento:



IV. Certificado de validez de contenido del instrumento.

Número	Dimensiones Dimensión 1	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencia
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	Eficiencia de remoción del arsénico.	X		X		X		
2	Concentración del arsénico As(III) y As(V) determinada por Cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC= acoplada a generador de hidruros)HG= y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF)	X		X		X		

¹Pertinencia: El Indicador corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El Indicador es apropiado para representar la componente o dimensión específica del constructo.
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Observaciones: Hay Suficiencia No hay Suficiencia []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de Corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del Juez Validador: VALDERRAMA NEGROÑ, ANA CECILIA

Especialidad del validador: Química

162 de Octubre del 2021.


 Firma del Experto Informante.

Breve CV de descripción del experto: Dr. Erich Arturo Saettone Olschewski.

Actualmente soy investigador de la Universidad de Lima. Me dedico a la física aplicada en energías renovables, específicamente trabajo con energía solar térmica para generación de vapor y desalación de agua marina. Pertenezco a la Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente (APES). Mi visión a futuro es que nuestro país tenga alternativas tecnológicas limpias para hacer frente a las consecuencias del cambio climático. En los últimos años me he propuesto a hallar alternativas que permitan la desalación de agua marina utilizando concentradores solares de tipo cilíndrico-parabólico, parabólico compuesto y Fresnel lineal, así como los destiladores por efecto invernadero como el de tipo cascada, y uno modificado con tubos de boro silicato al vacío que ha permitido incrementar la producción de agua desalada. Estoy colegiado y habilitado profesionalmente en el Colegio de Físicos del Perú (CFP0491).

Ficha de Validación del Instrumento:



IV. Certificado de validez de contenido del instrumento.

Número	Dimensiones Dimensión 1	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencia
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	Eficiencia de remoción del arsénico.	X		X		X		
2	Concentración del arsénico As(III) y As(V) determinada por Cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC= acoplada a generador de hidruros)HG= y detector de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AF)	X		X		X		

¹Pertinencia: El Indicador corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El Indicador es apropiado para representar la componente o dimensión específica del constructo.
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Observaciones: Hay Suficiencia No hay Suficiencia []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de Corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del Juez Validador. Saettone Olschewski, Erich Arturo

Especialidad del validador: Físico

12 de Octubre del 2021.


 Firma del Experto Informante.

Breve CV de descripción del experto: Dr. José Luis Castillo Sequera.

Doctor en Computer Science, Graduado Cum Laude por la Universidad de Alcalá, Madrid, España. Master en Dirección de Proyectos Informáticos y Master en Docencia Universitaria por la UAH, Madrid España. Además, es Master en Ciencias con Mención en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Ha dictado cátedra en diferentes universidades del país y en el extranjero a nivel de grado y postgrado, fundamentalmente en diversos Master y grados académicos de Europa. Posee múltiples publicaciones a nivel de revistas indexadas de alto nivel del JCR, y es autor de Libros y Capítulos de Libros relacionados al ámbito de Inteligencia Artificial. Lidera proyectos de innovación tecnológica orientados al uso de las TIC's en grupos de investigación universitaria en España. Sus líneas de investigación están en el campo de: Information retrieval, Knowledge extraction con técnicas de Machine Learning e inteligencia artificial, IoT con Big Data en el ámbito de e-Health e Industria y uso de Data Science en general. Gestiona proyectos de eLearning y teaching innovation con Web 2.0. En Perú, ha sido Jefe de Proyectos en Informática en el Ministerio de Economía y Finanzas, luego Director Ejecutivo de Sistemas en el INEI, y en España ha sido Ingeniero de Desarrollo de Software en el sector Bancario, en los Bancos Santander y Banesto. Ha sido Profesor Visitante de la Universidad de Ingeniería en el Programa de Doctorado de Ingeniería de Sistemas, y en el Doctorado de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Es revisor de publicaciones internacionales para revistas científicas en el ámbito del Journal Citation Report (JCR) y Scopus, su trayectoria profesional se ha realizado en diversas empresas, organizaciones y Universidades del sector público y privada en Perú y Europa, teniendo reconocido Sexenios de Actividad Investigadora por la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI) en España.

Ficha de Validación del Instrumento:



IV. Certificado de validez de contenido del instrumento.

Número	Dimensiones Dimensión 1	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencia
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	Eficiencia de remoción del arsénico.	X		X		X		
2	Análisis de especiación As(III) y As(V) con (HPLC-HG-AF)	X		X		X		Debe precisarse en el documento que la Concentración del arsénico As(III) y As(V) está determinada por la Cromatografía líquida de alto desempeño

¹Pertinencia: El Indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El Indicador es apropiado para representar la componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Observaciones: Hay Suficiencia [X] No hay Suficiencia []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de Corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del Juez Validador. Dr: José Luis Castillo Sequera

Especialidad del validador: Dr. en Computer Science con especialización en técnicas de Inteligencia Artificial

13 de octubre del 2021.

CASTILLO
SEQUERA
JOSE LUIS -
DNI
09054102Z

Firmado digitalmente por
CASTILLO SEQUERA JOSE LUIS -
DNI 09054102Z
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES, ou=UNIVERSIDAD DE
ALCALA, ou=CERTIFICADO
ELECTRONICO DE EMPLEADO
PUBLICO, ou=Ciencias de la
Computación, ou=0905410213
230200063,
serialNumber=0CE5-9054102Z,
sn=CASTILLO SEQUERA,
givenName=JOSE LUIS,
cn=CASTILLO SEQUERA JOSE LUIS
-DNI 09054102Z
Fecha: 2021.10.13 21:38:35 +02'00'

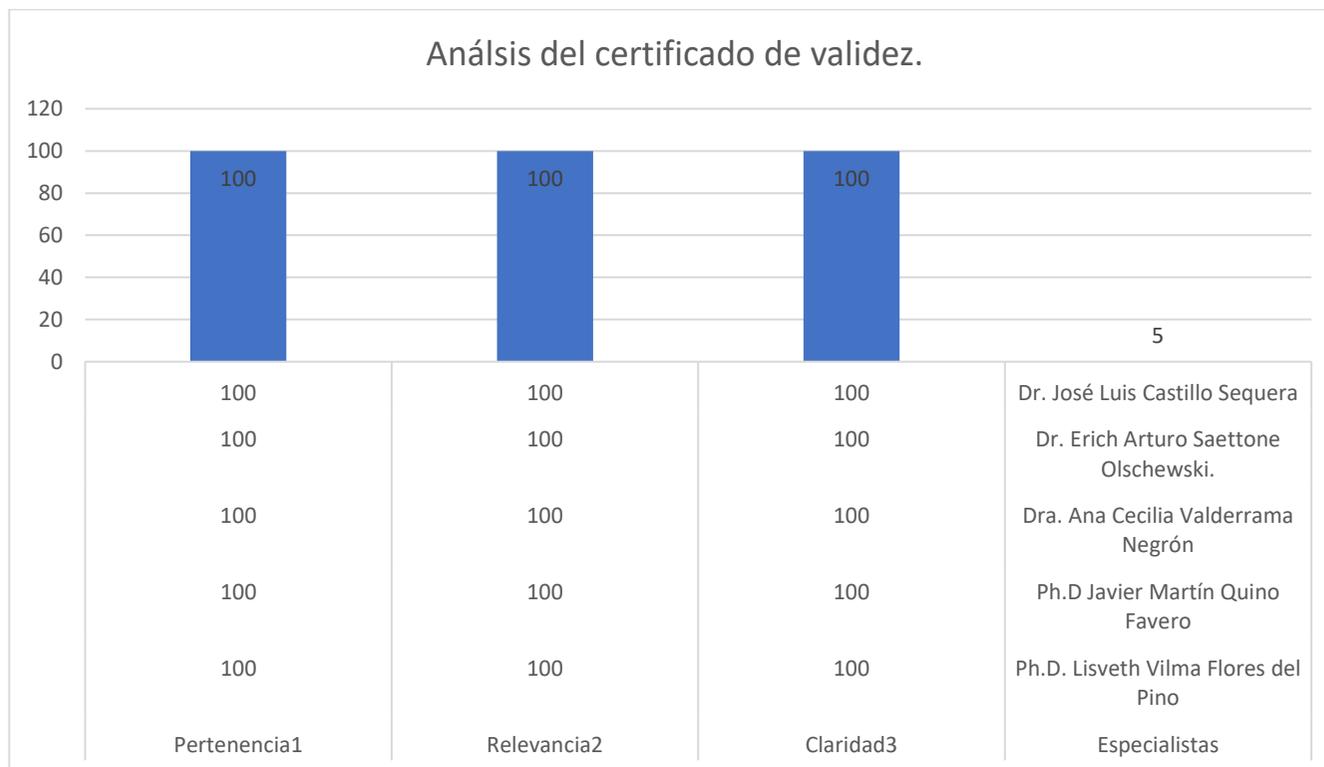
Resumen del certificado de VALIDACIÓN DE EXPERTOS

Los expertos comentan lo siguiente:

En los 5 casos expuestos a los expertos el íntegro de la tesis, validaron: la pertenencia, la relevancia y la claridad de:

- La eficacia de la remoción del Arsénico.
- El método de especiación As(III) y As(V) con (HPLC-HG-AF).

Resumen de los análisis del certificado de validez de acuerdo con los instrumentos utilizados.



Anexo 04: DATOS PARA CONTRASTAR LA CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO POST TEST

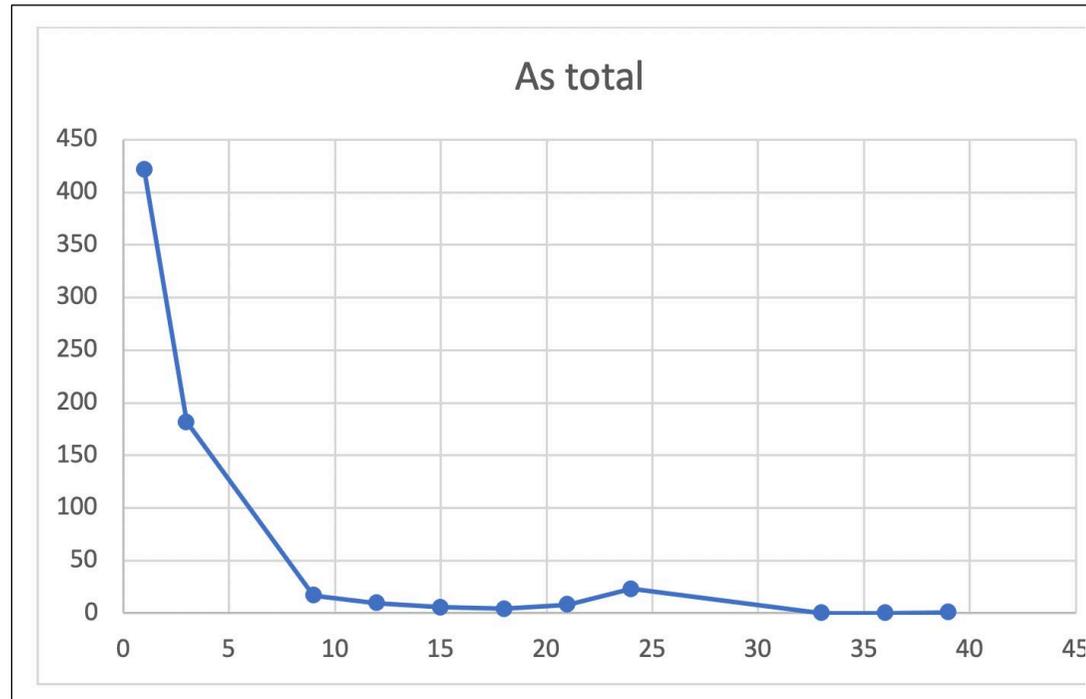
	Tiempo (minutos)	As total	As(III)	As(V)	pH
0	0	421.336	221.378	199.958	
1	3	181.74	0.0003	181.74	9.5
2	9	16.79	0.0003	16.79	9.5
3	12	9.694	0.0003	9.694	9.5
4	15	5.456	0.0003	5.456	9.5
5	18	4.182	0.0003	4.182	9.5
6	21	8.256	6.43	1.826	9.5
7	24	23.038	14.328	8.71	9.5
8	33	0.0003	0.0003	0.0003	6.5
9	36	0.0003	0.0003	0.0003	6.5
10	39	1.012	0.0003	0.0003	6.5

Datos generados durante el proceso de experimentación.
Fuente Propia

EL agua sintética subterránea de Bangladesh, al inicio no posee Arsénico. El proceso de procesamiento continuo dura aproximadamente unos 40 minutos, durante ese periodo se extrajeron 10 muestras que cada una de ellas toma unos 30 minutos para encontrar las especies de As(III) y As(V), el costo de cada prueba es de 500 dólares.

El análisis del arsénico ejecutó con un HPLC acoplado a un sistema de generación de hidruros y como detector un espectrómetro de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AFS) PSA Millennium Excalibur (PSA Analytical Ltd, Kent, U.K.). En la columna de As(III) se aprecia que el valor disminuye hasta el valor más pequeño obtenido que puede detectar la máquina. Por eso que la distribución normal no será posible obtenerla. Al igual que en As(V), que también no tiene una distribución normal. Las pruebas se realizaron en dos tramos uno a 9.5 pH y otro a 6.5 pH. Par reducir el pH a 9.5 se le añadió CO₂ al agua y se encontró que el As(V) disminuye notablemente. Parte de la eficiencia química del As(III) es que parte de este se convierte en As(V) en el proceso de uso del ferrato y el cloruro férrico.

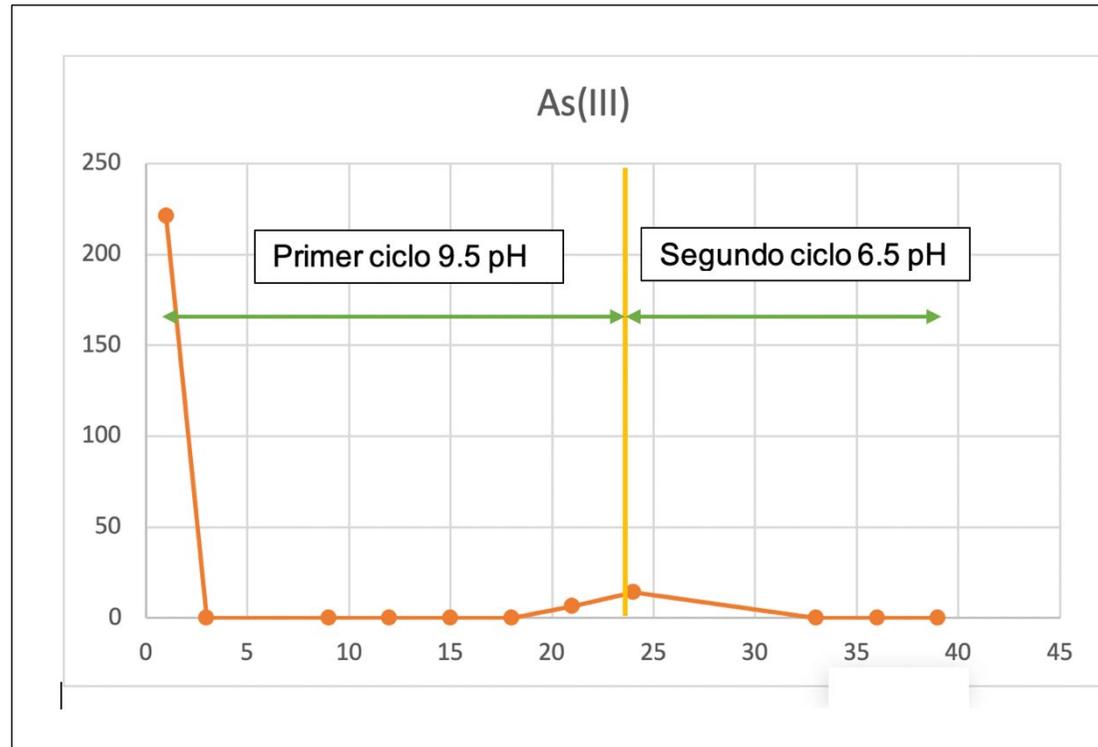
4.1 Remoción del As(Total) con la planta automatizada.



Donde el eje X: Tiempo, el Y: Arsénico en µgr.

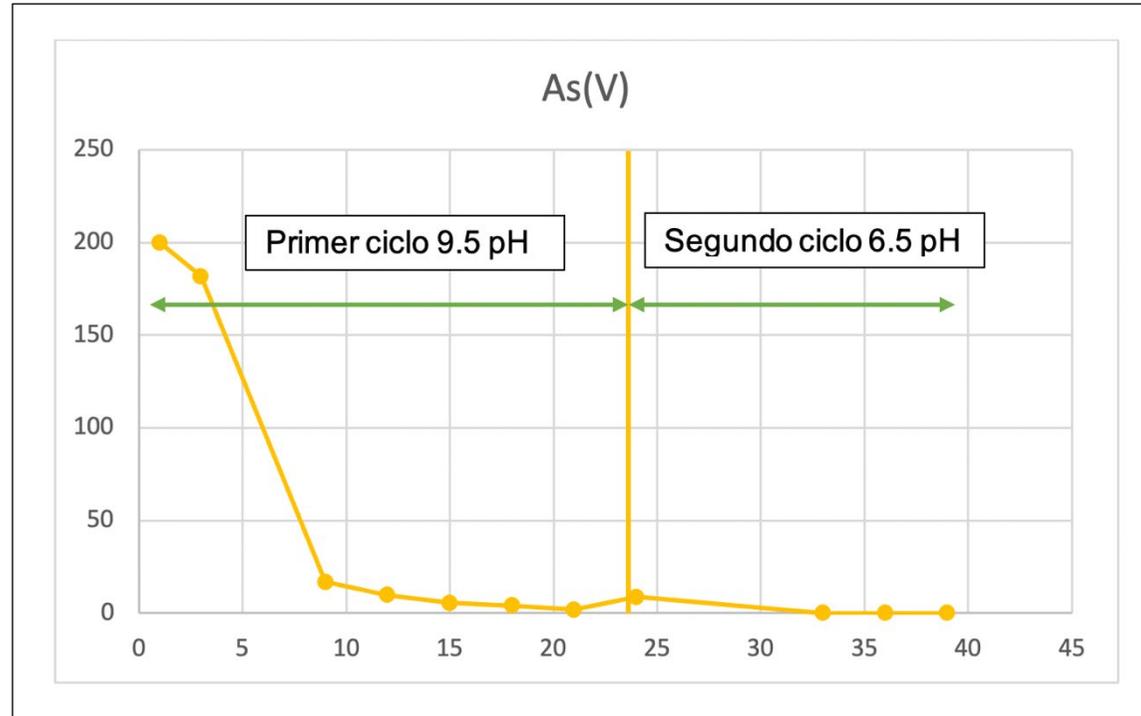
Fuente Propia

4.2 Remoción del As(III) con la planta automatizada.



Donde el eje X: Tiempo, el Y: Arsénico en µgr.
Fuente Propia

4.3 Remoción del As(V) con la planta automatizada.



Donde el eje X: Tiempo, el Y: Arsénico en μg .

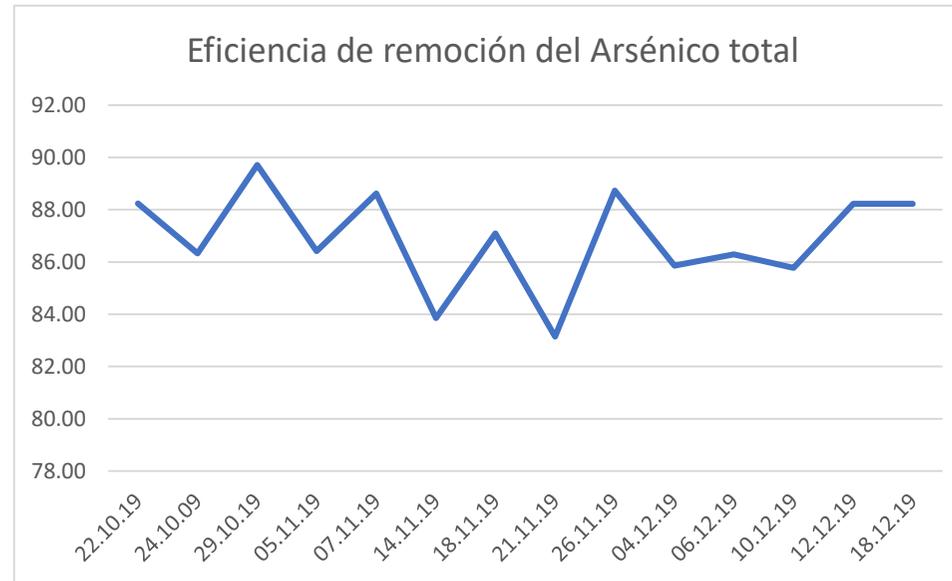
Fuente Propia

Anexo 4.4: DATOS PARA CONTRASTAR LA CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO PRE-TEST Y POST TEST EN LA PLANTA DE INIA

Para contrastar los datos obtenidos, se pone a prueba los datos de la purificación del agua en la planta de INIA, para ello se compara el agua sin tratamiento como llega del río Rímac y luego del procesamiento usando un control PID para el pH y ORP en la planta. Esta planta en su mayor capacidad llega a tratar hasta 15 m³, pero en régimen regular fue de 8 m³ al día. Los datos de eficiencia demuestran que la eficiencia es menor que usando el software basado en lógica difusa.

Repetición	Fecha	Arsénico antes del procesamiento	Arsénico con el Procesamiento	Eficiencia
1	22.10.19	0.02364	0.00278	88.24
2	24.10.09	0.02495	0.00341	86.33
3	29.10.19	0.0276	0.00284	89.71
4	05.11.19	0.02186	0.00297	86.41
5	07.11.19	0.02039	0.00232	88.62
6	14.11.19	0.0221	0.00357	83.85
7	18.11.19	0.02393	0.00309	87.09
8	21.11.19	0.02118	0.00357	83.14
9	26.11.19	0.02104	0.00237	88.74
10	04.12.19	0.01874	0.00265	85.86
11	06.12.19	0.01904	0.00261	86.29
12	10.12.19	0.02447	0.00348	85.78
13	12.12.19	0.02438	0.00287	88.23
14	18.12.19	0.02676	0.00315	88.23

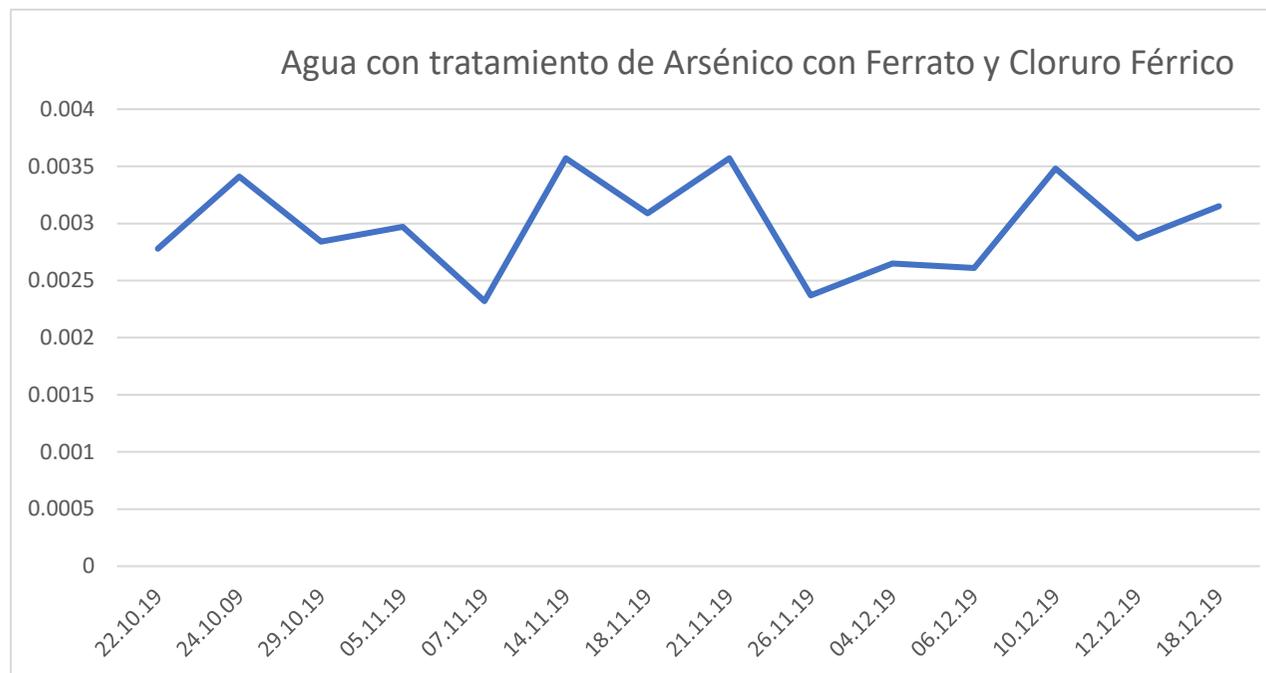
Eficiencia de remoción del Arsénico total



Agua sin tratamiento de Arsénico.



Agua con tratamiento de Arsénico con Ferrato y Cloruro Férrico



Anexo 05 : RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EFICIENCIA

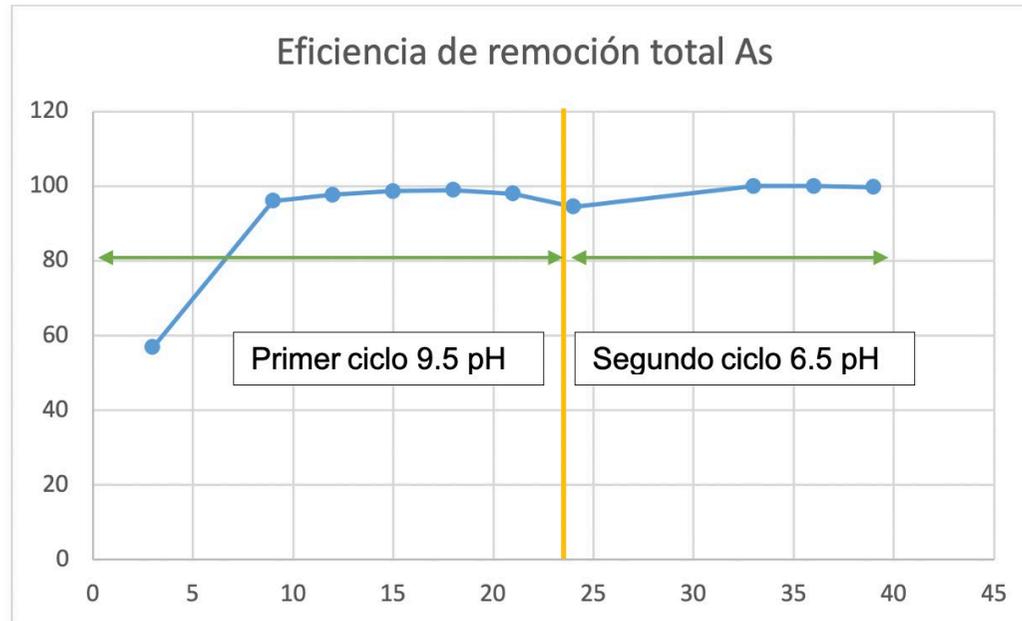
Tiempo (minutos)	As total	As(III)	As total	As(V)	Eficiencia.	pH
0	421.336	221.378	421.336	199.958		
3	181.74	0.0003	181.74	181.74	56.8657793	9.5
9	16.79	0.0003	16.79	16.79	96.0150569	9.5
12	9.694	0.0003	9.694	9.694	97.6992234	9.5
15	5.456	0.0003	5.456	5.456	98.7050715	9.5
18	4.182	0.0003	4.182	4.182	99.007443	9.5
21	8.256	6.43	8.256	1.826	98.0405187	9.5
24	23.038	14.328	23.038	8.71	94.5321549	9.5
33	0.0003	0.0003	0	0.0003	100	6.5
36	0.0003	0.0003	0	0.0003	100	6.5
39	1.012	0.0003	1.012	0.0003	99.7598116	6.5

Eficiencia promedio: 94.06250593

Fuente Propia

La eficiencia de la planta automatizada propuesta en esta investigación controla el pH y el ORP en un sistema continuo donde el agua se procesa en tiempo real. Se ha calculado el tiempo de respuesta promedio del sistema de control y este es de unos 15 segundos para controlar los parámetros de control óptimos, esto es como consecuencia del elaborado software desarrollado con los simuladores de pH y ORP y la simulación del MatLab, para obtener una respuesta en el actuador que son las bombas dosificadoras. Más detalle se encuentra en el acápite 3.5 y 3.6.

5.1 Eficiencia de la remoción del AsTotal con la planta automatizada.



Donde el eje X: Tiempo, el Y: Porcentaje.

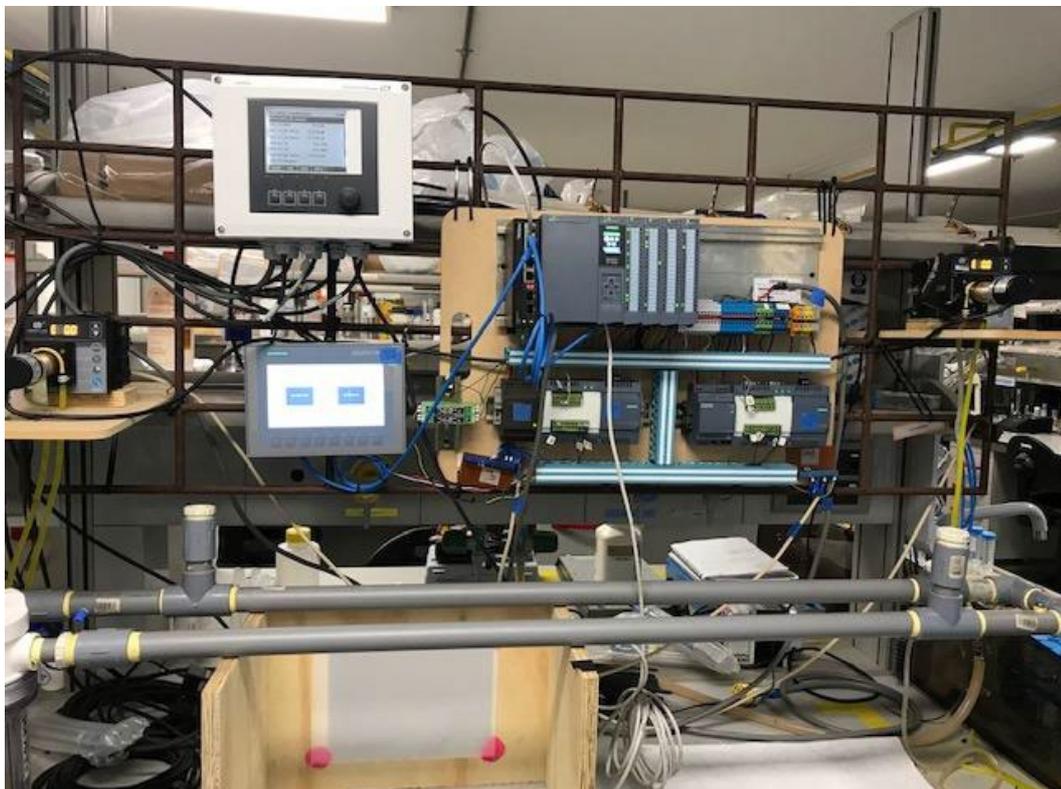
Fuente Propia.

Anexo 06: Productos Obtenidos en este trabajo de investigación.

6.1 Foto de la planta a actualmente a escalar.
Figura 89.
Sensor de flujo



6.2 Planta automatizada.
Figura 90.
Sistema de la planta armada y funcionando.

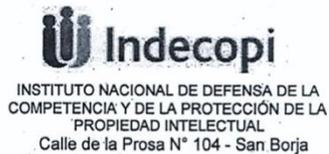


(Larroca, F. P., Olschewski, E. S., Quino-Favero, J., Huamani, J. R., & Castillo Sequera, J. L., 2020)

6.3.2 Patente del controlador de carga con algoritmo Difuso. 10 septiembre 2019.

Figura 92.

Cédula de notificación de la obtención de la patente del cargador solar.



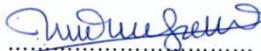
CÉDULA DE NOTIFICACIÓN

SOLICITANTE(S) : UNIVERSIDAD DE LIMA
REPRESENTANTE : Luis Felipe COBEÑA NAVARRETE
DIRECCIÓN : Av. Javier Prado Este N° 4600, Urb. Fundo Monterrico Chico, SANTIAGO DE SURCO - LIMA - LIMA
MODALIDAD : Modelo de utilidad

Expediente N° 002294-2018/DIN

Lima, 27 de agosto de 2019

En la fecha, la Dirección de Invenções y Nuevas Tecnologías del Indecopi, procede a notificar la **Resolución N° 002470-2019/DIN-INDECOPI de fecha 27 de agosto de 2019, el Examen de Patentabilidad VVH 19-2019 y el proveído de fecha 21 de agosto de 2019**, y se pone en conocimiento que contra la referida resolución procede interponer los recursos administrativos de RECONSIDERACIÓN o APELACIÓN, dentro del plazo de quince (15) días hábiles, contados a partir del día siguiente a la fecha de recepción de la presente.


JAICEL ALFARO RAMÍREZ
Coordinadora Legal
Dirección de Invenções y
Nuevas Tecnologías
INDECOPI

Constancia de recepción

Nombre:

C.E. / DNI N° :

Vínculo:

6.3.3 Asistencia al Congreso CSEI 2019 en el Ecuador en la ciudad de Ambato- octubre 2019.

Figura 93.

Asistencia al congreso CSEI 2019 en ecuador del cargador solar.



6.3.4 Congreso CSEI 2019 en el Ecuador en la ciudad de Ambato- octubre 2019.

Figura 94.

Presentación del artículo sobre el controlador difuso en Ecuador.

The certificate is presented on a white background with a red header. The header contains the logo of Universidad Técnica de Ambato (UTA) on the left, the text 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO' in the center, and the logo of the Faculty of Engineering in Systems, Electronics and Industrial Engineering on the right. A QR code is located in the top right corner of the header. The main body of the certificate features the 'CSEI 19' logo in large blue letters, followed by the full name of the conference: 'CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE, ELECTRONICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING'. Below this, the text 'THIS CERTIFICATE IS PROUDLY AWARDED' is written in red. The recipient's name, 'TO: PAREDES LARROCA FABRICIO HUMBERTO', is printed in black. The paper title, 'Development of a Fuzzy Logic-based Solar Charge Controller for Charging Lead-Acid Batteries', is listed in red. A paragraph of text describes the award, mentioning the excellent oral presentation and contribution to the conference held in Ambato, Ecuador, from October 28th to 31st, 2019. Two signatures are present: one of the President of the Scientific Committee, PhD. Félix Oscar Fernández Peña, and another of the President of the Organizing Committee, MSc. Elsa Pilar Urrutia Urrutia. At the bottom of the certificate, there is a row of logos for various organizations and databases, including aisti, Springer, redcedia, RTC REDU, Scopus, CIT, and DIDE.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

 FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL



CSEI¹⁹ | I CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE, ELECTRONICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING

THIS CERTIFICATE IS PROUDLY AWARDED

TO: PAREDES LARROCA FABRICIO HUMBERTO

Paper title: Development of a Fuzzy Logic-based Solar Charge Controller for Charging Lead-Acid Batteries.

for your excellent oral presentation at the conference and your significant contribution to the success of the "I Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI2019)" which took place in Ambato, Ecuador, from October 28th to October 31st, 2019.


PhD. Félix Oscar Fernández Peña
President of Scientific Committee


MSc. Elsa Pilar Urrutia Urrutia
President of Organizing Committee

6.3.5 Documento científico sobre el controlador solar en la revista Springer (Q3). Enero de 2020.

Development of a Fuzzy Logic-Based Solar Charge Controller for Charging Lead–Acid Batteries

Fabrizio Paredes Larroca¹ , Erich Sacttone Olschewski¹ ,
Javier Quino Favero¹ , Jimmy Rosales Huamani² ,
and José Luis Castillo Sequera³ 

¹ Universidad de Lima, 15023 Lima, Peru
{fparedes, esaetton, jquinof}@ulima.edu.pe
² Universidad Nacional de Ingeniería, 15333 Lima, Peru
jrosales@uni.edu.pe
³ Universidad de Alcalá, 28871 Madrid, Spain
jluis.castillo@uah.es

Abstract. The design and implementation of a solar charge controller for lead-acid batteries is intended to supplement a component of the water purification module of the water treatment unit for natural disaster relief. This unit contains a solar panel system that supplies power to the module by charging batteries through a controller comprising an Atmega 328 processor. The solar panel feeds voltage to the batteries through fuzzy logic-based software, which allows up to 6 A DC to pass through the controller's power circuit. Consequently, the battery was charged in less time (an average of 7 h to reach maximum capacity), wherein battery lifespan is related to the charge wave frequency. Thus, our software may be adapted in different control algorithms without having to change hardware.



Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering.

Figura 95.

Proceeding of the conference on Computer Science, Electronics, and Industrial Engineering (CSEI 2019).

» [Engineering](#) » [Computational Intelligence and Complexity](#)

[Advances in Intelligent Systems and Computing](#)



© 2020

Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering

Proceedings of the Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI 2019)

Editors: Nummenmaa, J., Pérez-González, F., Domenech-Lega, B., Vaunat, J., Oscar Fernández-Peña, F. (Eds.)

Includes papers from the CSEI 2019 International Conference on Computer Science, Electrical and Industrial Engineering, held in Ambato, Ecuador, on 28 – 31 October 2019

Covers the latest developments in software development, artificial intelligence, educational computing, e-management, communications, integrated systems, interactive systems, industrial automation, manufacturing and production scale issues and optimization based on numeric analysis

6.3.6 Document scientific (JCR -Q2)- October 2020 Water Treatment Plant Prototype with pH Control Modeled on Fuzzy Logic for Removing Arsenic Using Fe (VI) and Fe (III).

Figura 96.

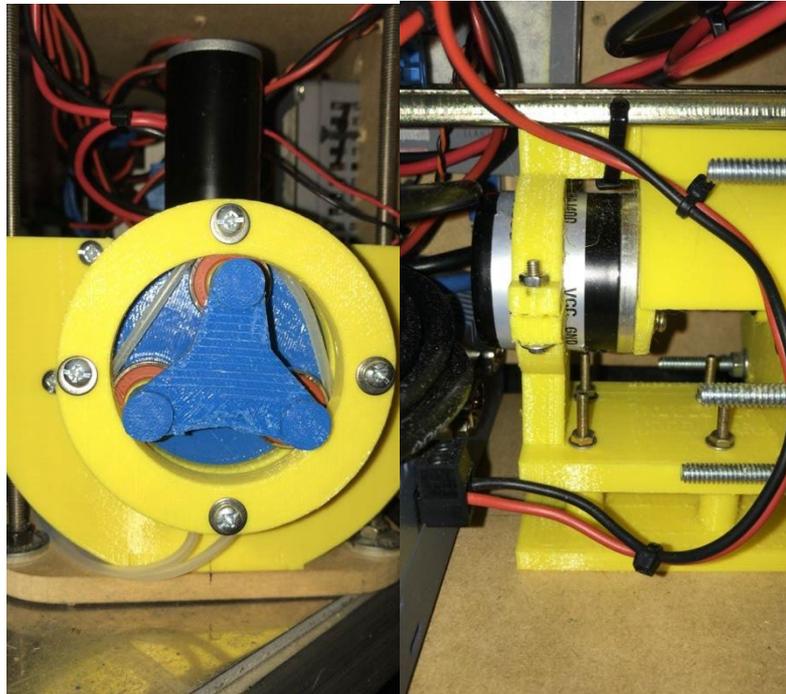
Certificate of Acceptance for the manuscript (wáter-938226).



6.3.7 Diseño del módulo compacto de tratamiento de Arsénico
Figura 97.

Nuevo diseño compacto de la planta de tratamiento, prototipo.

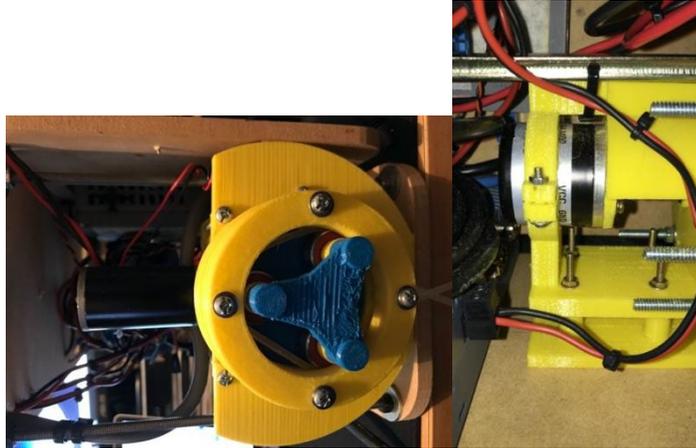
Diseño y fabricación de las bombas peristálticas para el control del PH y el ORP con PLC 1200 y IOT 2040.



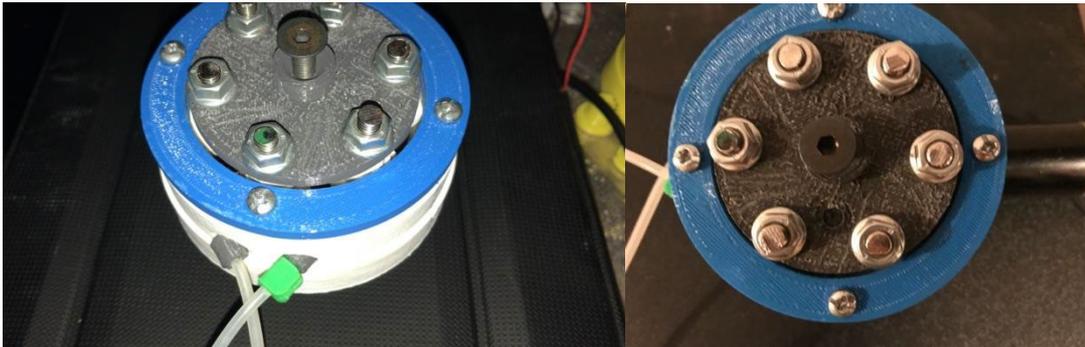
6.3.8 Diseño y fabricación de las bombas peristálticas.

Figura 98.
Bombas peristálticas de prototipado.

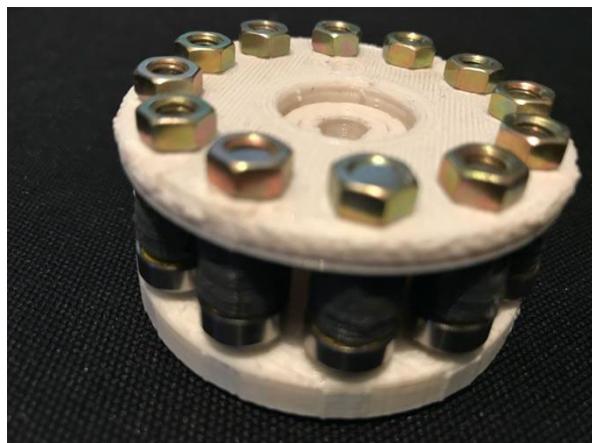
6.3.8.1 Primer cabezal.-Motor 45 RPM



6.3.8.2 Segundo cabezal- Motor 65 RPM.

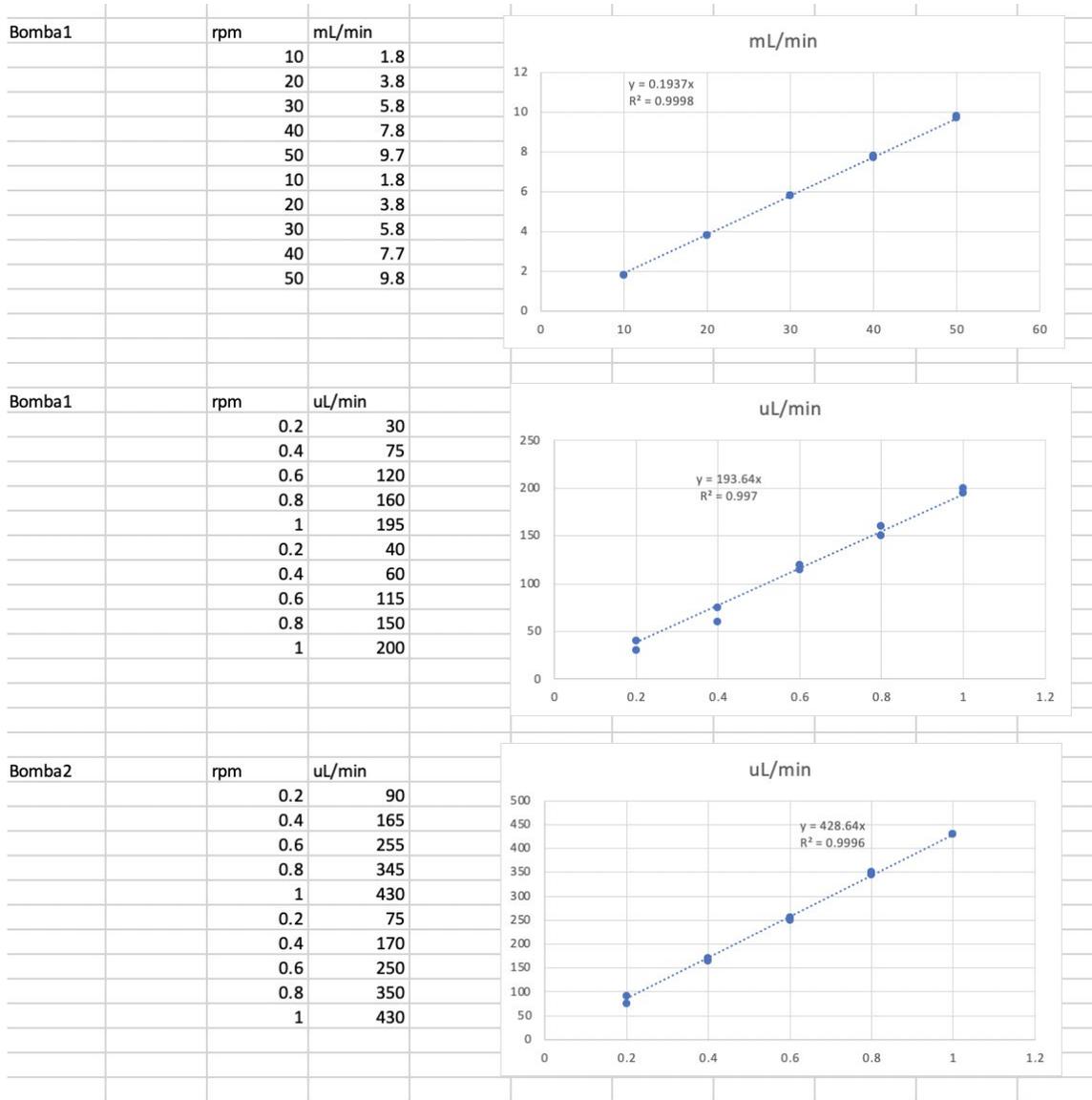


6.3.8.3 Tercer cabezal Motor 250 RPM.



6.3.9 Curva de calibración de las bombas peristálticas.

Figura 99.
Calibración de la Bombas peristálticas de prototipado.



6.3.10 Constancia del Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica- Renacyt.

Figura 100.
Constancia del Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación tecnológica- Renacyt.



CONCYTEC
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



RENACYT
Registro de
investigadores



CONCYTEC
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Firmado digitalmente por:
CORDOVA YAJAJUCHI Claudia
Gysella FAJ 20135727384 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 01/06/2021 13:07:10-0500

Firma Digital

REGISTRO NACIONAL CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA RENACYT

CONSTANCIA DE REGISTRO

La Dirección de Evaluación y Gestión del Conocimiento del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) del Perú hace constar que:

FABRICIO HUMBERTO PAREDES LARROCA

DNI 10541033

Cuenta con registro de investigador(a) según el siguiente detalle:

Código de registro	: P0039998
Grupo	: María Rostworowski
Nivel	: I
Vigencia	: Desde 01/06/2021 hasta 01/06/2024
Fecha de emisión	: 01/06/2021



Anexo 07: Trabajos futuros como resultado de este trabajo de investigación

7.1 Trabajos futuros

7.1.1 Procedimientos de la propuesta.

Para simular el agua sucia en el laboratorio, se utiliza un producto llamado caolín, este se realiza en una mezcla controlada de 10 ml de esta suspensión diluida en 50 l de agua, esta mezcla ayuda a trabajar con un sistema en estado controlado para tener puntos de operación conocidos para que el sistema pueda funcionar en estados previamente establecidos y tener una respuesta apropiada en las bombas de mezcla. Las mezclas del floculante y el coagulante se deben de ingresar por medio de bombas peristálticas, donde el control de ellas se hace con el PLC en donde se encuentra alojado el programa de lógica difusa. Cada foto obtenida durante el proceso se encuentra relacionada con una cantidad de floculante en particular, es decir que la fotografía obtenida en tiempo real es comparada con una base de datos previamente establecida que corresponde a una mezcla establecida en el laboratorio. El conjunto de puntos de operación se refleja directamente en un base de datos de figuras que contienen una variedad de posibilidades de fotos de floculantes a diferentes regímenes de floculación.

El sistema debe ser capaz de encontrar una relación entre el estado actual en ese instante con el set-point propuesto para el proceso. La base de la inferencia del proceso está alojada en la tarjeta Jetson (tarjeta de procesamiento) que determina en tiempo real una respuesta en forma de digital de tal manera que el PLC interpretará la trama de datos para una respuesta óptima en el proceso. La capacidad del sistema es la de aprender usando la inteligencia artificial de tal forma que el costo se vea reflejada en una disminución para un segundo prototipo en donde la cantidad de electrónica respecto a los sensores se vea reducida.

Figura 101.
Sistema propuesto para controlar la floculación utilizando la inteligencia artificial.

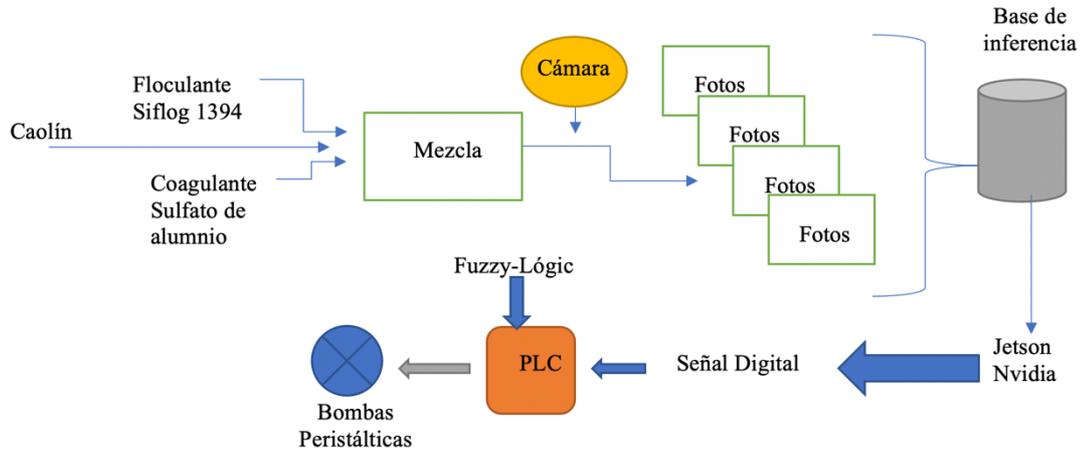


Figura 102.
La manera de generar nuestra data para alimentar al sistema IA.

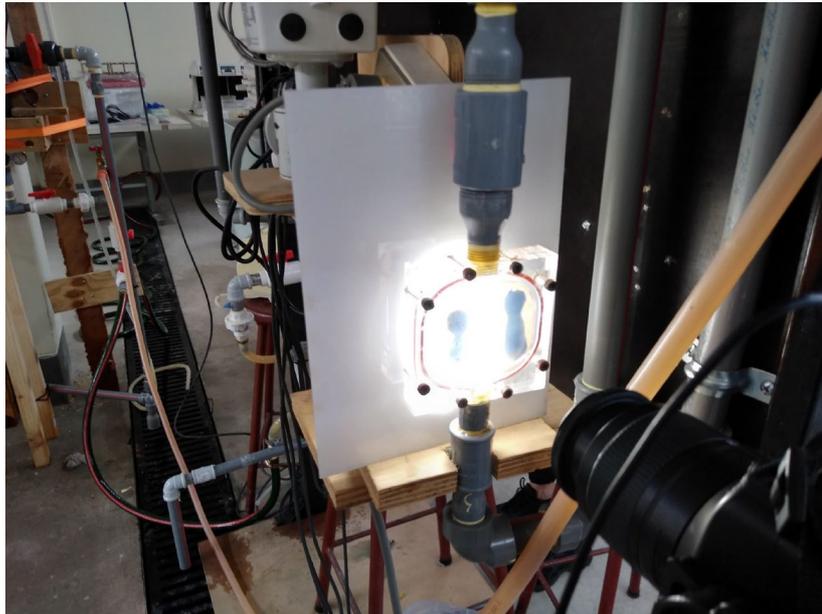


Figura 103.
La planta de procesamiento se completa usando la IA.

