



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN
EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS**

Wilber Demetrio Montenegro Pineda
Asesorado por M. Sc. Ing. Manuel Alberto Ávila

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN
EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILBER DEMETRIO MONTENEGRO PINEDA
ASESORADO POR M. SC. ING. MANUEL ALBERTO AVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO A.I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



EEPM-PP-1834-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión Ambiental - Gestión y Tratamiento del Agua - Tratamientos avanzados de tratamiento de agua**, presentado por el estudiante **Wilber Demetrio Montenegro Pineda** carné número , quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MANUEL A. AVILA
INGENIERO CIVIL
MAESTR EN INGENIERIA SANITARIA
COLEGIADO 8371

Mtro. Manuel Alberto Avila
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

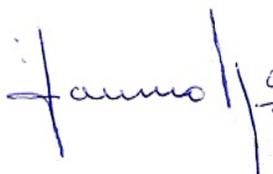




EEP-EIC-1624-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS.**, presentado por el estudiante universitario **Wilber Demetrio Montenegro Pineda**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, octubre de 2023





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.47.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS.**, presentado por: **Wilber Demetrio Montenegro Pineda** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 28/01/2024 11:16:18
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 47 CUI: 1769820860101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 21 de octubre de 2023.

Wilber Demetrio Montenegro Pineda

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su misericordia y gracia a lo largo de mi historia, a él honra y gloria.
- Mis padres** Demetrio de Jesús Montenegro Muñoz, Reina Margarita Pineda de Montenegro (q. e. p. d.) por su amor, apoyo y sabios consejos para alcanzar mi sueño.
- Mis hermanas** Astrid Montenegro, Gladys Pineda por su cariño y apoyo a lo largo de mi carrera.
- Mi hermano** Victor Montenegro por ser un pilar fundamental en el desarrollo de mi vida.
- Mi Esposa** Mildred Azucena Choj, por su amor, comprensión y apoyo a lo largo de nuestra historia.
- Mi hijo** Matías Santiago Montenegro Choj, por ser esa motivación para terminar mi sueño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser esa casa de estudios donde aprendí principios que me han servido ya en mi vida laboral.
Mis amigos	Isabel Sanchez, Wilson Velásquez y Roberto De León, por su amistad a lo largo de la carrera.
Mi asesor	Por toda la ayuda prestada para la elaboración del presente trabajo de graduación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central.....	11
3.3.2. Preguntas Auxiliares	12
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. OBJETIVOS.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Generalidades	19
7.1.1. Características de aguas residuales	21
7.1.2. Agentes primarios en el tratamiento de agua residual	21
7.1.3. Métodos analíticos	21

7.1.4.	Características físicas	21
7.2.	Elementos de agua residual	22
7.2.1.	Aguas residuales de tipo especial	22
7.2.2.	Aguas residuales de tipo ordinario.....	22
7.3.	Tratamiento de las aguas residuales	22
7.4.	Factores de emplear aguas residuales.....	23
7.5.	Acuerdo Gobernativo No. 236-2006	24
7.6.	Parámetros de aguas residuales	24
7.6.1.	Parámetros de Calidad.....	24
7.6.2.	Parámetro de calidad ambiental	24
7.6.3.	Parámetro de calidad sanitaria	25
7.6.4.	Parámetro de calidad agronómica	25
7.6.5.	Parámetros de medición	25
7.6.5.1.	Temperatura	25
7.6.5.2.	Densidad	26
7.6.5.3.	Potencial de hidrógeno	26
7.6.5.4.	Grasas y aceites	27
7.6.5.5.	Material flotante	27
7.6.5.6.	Sólidos suspendidos totales	27
7.6.5.7.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	28
7.6.5.8.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	28
7.6.5.9.	Nitrógeno total	29
7.6.5.10.	Fósforo total.....	29
7.6.5.11.	Color.....	29
7.6.5.12.	Olor.....	30
7.6.5.13.	Turbiedad	30
7.6.5.14.	Coliformes Totales	30
7.7.	Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	31

7.7.1.	Partes de la planta de tratamiento de agua residuales	31
7.8.	Proceso de lodos activados	32
7.8.1.	Descripción de las etapas principales del proceso de lodos activados	32
7.8.2.	Sistema de aireación extendida o prolongada.....	33
7.9.	Tratamiento de aguas residuales.....	33
7.9.1.	Tratamiento pre descartar	34
7.9.2.	Tratamiento primario	34
7.9.3.	Tratamiento secundario	34
7.9.4.	Tratamiento terciario	35
7.10.	Controlador lógico programable.....	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	37
9.	METODOLOGÍA	41
9.1.	Tipo de Estudio.....	41
9.1.1.	Enfoque	41
9.1.2.	Alcance	41
9.1.3.	Diseño	42
9.2.	Variables	42
9.3.	Fases de estudio	44
9.3.1.	Fase 1: revisión bibliográfica.....	44
9.3.2.	Fase 2: recolección de datos	44
9.3.2.1.	Etapa 1: Método, procedimiento y herramienta:	45
9.3.2.2.	Etapa 2: Medir la productividad de sistema.....	46

9.3.2.3.	Etapa 3: elaboración de propuestas de implementación.....	47
9.3.2.4.	Etapa 5: elaboración del seguimiento de la propuesta para la mejora.	50
9.3.3.	Fase 3: análisis de resultados	52
9.3.4.	Resultado a obtener	52
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
11.	CRONOGRAMA	57
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	59
	REFERENCIAS.....	61
	APÉNDICES	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de PLC	36
Figura 2.	Conexión del sistema.....	51
Figura 3.	Cronograma de actividades	57

TABLAS

Tabla 1.	VARIABLES DE ESTUDIO	43
Tabla 2.	Datos históricos de análisis de agua residual.....	45
Tabla 3.	Control de parámetros del sistema de tratamiento	47
Tabla 4.	Caudal del efluente de aguas residuales	47
Tabla 5.	Límites máximos permisibles	48
Tabla 6.	Cumplimiento valores iniciales	48
Tabla 7.	Control del sistema	49
Tabla 8.	Unidad de análisis oxígeno disuelto	49
Tabla 9.	Potencial hidrogeno (pH)	49
Tabla 10.	Temperatura	50
Tabla 11.	Porcentaje de rendimiento de la planta de tratamiento	52
Tabla 12.	Presupuesto..... ..	59

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con un Acuerdo Gubernativo 236-2006, que establece criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y/o reutilización de aguas residuales. Lo anterior se logra por medio de un conjunto de operaciones que se llevan a cabo en una planta de tratamiento, cuyo objetivo principal es mejorar la calidad del agua residual.

El presente trabajo de investigación se basa en generar una guía para la solución de sostenible a la situación de la planta de tratamiento de agua residual. Tiene como objetivo realizar la evaluación del funcionamiento de la planta, para determinar parámetros de diseño que sean aplicables a cada alternativa tecnología para su automatización

La importancia del diseño de investigación se basa el enfoque del trabajo de investigación es resolver el problema de la falta de un modelo de mantenimiento para área de operaciones, eliminando causas raíz de fallas, y estableciendo métodos de mejora continua aplicando las herramientas necesarias para obtener procesos más eficientes.

Los resultados, aporte y beneficios esperados serán una mejora de los procesos del área de operaciones aplicados a una planta de tratamiento. Dentro de los cuales está la estandarización del proceso de control de calidad del agua y control de actividades de inspección y funcionamiento.

El esquema por seguir para poder documentar y proponer los procesos adecuados es:

Determinar línea base o referencia con la información de diseño de mejora continua, del comportamiento de las variables de proceso involucradas en el estudio. Cálculo y análisis de resultados del indicador de medición de temperatura, pH, oxígeno disuelto. Analizar sus desviaciones y sus respectivas causas y realizar la evaluación de propuestas viables para reducir o eliminar las desviaciones de los procesos de mantenimiento.

La empresa donde se realizará la investigación está con toda la disposición de proporcionar un lugar adecuado de trabajo e investigación suministrando los recursos físicos, humanos y la documentación que sea necesaria para realizar el estudio. El investigador aportará el financiamiento de los gastos y costos en los que se incurra para realizar la investigación.

El primer capítulo se describe los antecedentes de la investigación, basado en estudios realizados referentes al planteamiento del problema. El segundo capítulo del presente diseño de investigación corresponde al marco teórico, se estarán mostrando las generalidades de mantenimiento. El tercer capítulo corresponde a la presentación de los resultados, con base a la información recopilada mediante las técnicas de estudio empleadas.

En el cuarto capítulo se hará la discusión de resultados con el apoyo de gráficas y se utilizarán las herramientas administrativas necesarias para interpretar de manera profesional, los procesos que necesiten mejorar, para la elaboración del modelo de mantenimiento. Este capítulo es de importancia, ya que, permitirá obtener un documento profesional que permita conocer el estado actual de las operaciones en una planta y brindar soluciones a los problemas prácticos a los que se enfrentan hoy en día las operaciones de tratamiento de aguas residuales.

2. ANTECEDENTES

Según Oviedo (2016) en su trabajo de graduación Automatización y Control Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una productora cartonera, presenta una propuesta para automatizar y controlar su trabajo con el fin de implementar un proceso efectivo y óptimo. Utiliza diversas herramientas como Codesys, PFC y SCADA para reducir el tiempo empleado en cada proceso en un 70.8 %. El aumento de manufactura consecuentemente promueve la necesidad de optimizar el manejo operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales existente, la cual debe tener la Normativa Ambiental vigente en consideración. En la cual concluye que al sustituir los procesos manuales por automatizados se tiempos improductivos y las operaciones se volvieron más eficientes.

Según López (2014) en su trabajo de graduación denominado Automatización de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, menciona que, por falta de planificación y control, se produjo un cortocircuito en la sala de máquinas, lo que provocó un incendio. No había personal de servicio, sólo guardias de seguridad que no pudieron extinguir el incendio, lo que provocó daños en el sistema. Ante lo cual realizo la propuesta de introducir la automatización en el encendido de su diseño de bombeo para el tratamiento de aguas residuales en un matadero de cerdos. Las bombas incluidas en el sistema son trifásicas de 20 HP y su protección térmica y configuraciones están en el PLC. además, se encontró que luego de instalar todos los componentes, se realizaron pruebas de control y monitoreo PLC para automatizar el encendido y apagado de los dispositivos.

Según Chimborazo (2013) de su trabajo describe para el proceso de tratamiento de agua residual, en la cual para mejorar el proceso se debe automatizar las operaciones, para que el seguimiento.

Una de las mejores soluciones para un proceso eficiente es su funcionamiento automático. Por ello, se debe automatizar el tratamiento de aguas residuales y la distribución de agua potabilizada y potable, lo que reduce el consumo de agua potable garantizando el correcto suministro a las zonas implicadas en una población determinada.

La propuesta logró reducciones en el gasto de agua, tiempos, riesgos eléctricos y se aumentaron el ciclo de vida de los equipos instalados. Adicional con la integración de 02 PLC se hicieron las configuraciones para que los equipos quedaran automatizados.

Según Hernández (2018) en su tesis formula una automatización en la planta para impedir que los fluidos tenga un derrame y exhiba al personal de mantenimiento.

El muestreo y caracterización de la descarga líquida que se va a conocer es fundamental para decretar, los contaminantes que domina el agua residual además de su cantidad y posible afectación al medio ambiente, El autor indica que la importancia de una buena operación y mantenimiento es vital para que exista una buena fase ya que trata de un buen sistema.

Según Murueta (2019) describe que un líquido vital como el agua se recupera de forma prototípica mediante un microcontrolador y tecnología. El sistema tiene sus propias propiedades que se pueden conectar a Internet e interactuar con una computadora para monitorear datos. Al mismo tiempo, propone una gestión sostenible del agua y pretende solucionar uno de los problemas como es la falta de agua potable.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

En Guatemala existe la legislación para las descargas de aguas residuales al alcantarillado público o bien hacia un cuerpo receptor, siendo éste el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos. Para toda planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR, con sistema de lodos activados, es necesario realizar adecuadas actividades de operación y mantenimiento después de puesta en marcha, es decir, después del inicio de la estabilización y crecimiento de los microorganismos, para garantizar el cumplimiento de los límites máximos permitidos por la legislación.

La operación y mantenimiento de una planta de aguas residuales se vuelve en algunas ocasiones bastante complicado porque conlleva la realización de diferentes actividades manuales en sitio que implican un costo considerable ya que, de esto depende el buen funcionamiento del sistema de tratamiento.

3.2. Descripción del problema

Para una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados, el proceso de la operación es de suma importancia, debido a que se debe de realizar las actividades a diario. Actualmente se realizan actividades muy repetitivas que implican la intervención del recurso humano, en la mayoría de los casos, estas responsabilidades recaen en una única persona debido al poco presupuesto o bien a falta de personal para la operación.

La falta de registro del tiempo de uso de los equipos, también resulta ser un manejo manual lo que reduce significativamente la eficiencia operativa.

La ausencia de un mantenimiento adecuado en los equipos, debido a su funcionamiento manual, impide su operación eficiente y aumenta el riesgo de que el efluente liberado no cumpla con los estándares legislativos, lo que a su vez conduce a la contaminación de los cuerpos receptores, afectando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y amenazando la salud humana.

Si bien durante la planificación inicial de una planta de tratamiento de aguas residuales se busca cumplir con la legislación vigente, es por eso que con la implementación de sistemas de automatización en parámetros clave de operación mejoran la eficiencia deseada. Esto hace que la persona encargada de estas tareas deba poseer conocimientos especializados para medir y gestionar variables como el oxígeno disuelto, el potencial de hidrógeno, la temperatura, el cloro residual, entre otros, en un sistema de lodos activados.

Uno de los temas que a todo ente generador afecta es el déficit de presupuesto para la operación y mantenimiento de su planta de tratamiento de aguas residuales, la inversión inicial para una automatización es alta, sin embargo, a mediano plazo el ahorro se verá reflejado en el costo de reducción por consumo eléctrico, y menor desgaste de equipos. Los sistemas de lodos activados utilizan el oxígeno para realizar el proceso oxidación de la materia orgánica, lo que convierte a la aireación en un proceso con un fuerte consumo energético. Al tener una automatización en la operación, este proceso será controlado con un sensor de medición de oxígeno disuelto el cual dará la señal para aumentar o disminuir la cantidad de aireación que requiere el sistema de lodos activados.

El no tener un presupuesto conlleva a tener personal no calificado, equipos en mal estado o discontinuos y no poder hacer una integración de automatización. Si bien el cumplimiento con la legislación vigente de nuestro país requiere de una inversión, es necesario, tener un presupuesto para cubrir los gastos que se requieren en cada proceso de tratamiento de sus aguas residuales.

La falta de conocimiento de los parámetros requeridos para el vertido de efluentes conduce al incumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y a un mayor riesgo ambiental. Es imperativo abordar estos desafíos para garantizar una gestión eficiente y cumplir con los estándares legales establecidos.

Dentro del proceso de investigación surgen preguntas las cuales nos permite entrar a una incógnita que produce aún más llegar a la investigación a fondo del problema:

3.3. Formulación del problema

Se hace una descripción general de la pregunta central y preguntas auxiliares del diseño de investigación en formulación al tema seleccionado de estudio.

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es la propuesta para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?

3.3.2. Preguntas Auxiliares

- ¿Qué parámetros y equipos se pueden controlar en la automatización de la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?
- ¿Qué equipos son necesarios para la automatización de los parámetros en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?
- ¿Cuáles son los procesos adecuados para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?
- ¿Cuál es el costo de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento del agua, en la sub línea sistemas avanzados de tratamiento de agua residual de la Maestría en Energía y Ambiente.

Con esta investigación se aporta una mejora implementando una automatización en los procesos de la operación y el mantenimiento en una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados, esto hace que se convierta más eficiente en las tareas rutinarias y disminución de los costes derivados.

Al tener una planta automatizada, se obtendrá un mejor control y monitoreo del oxígeno disuelto, medición de potencial hidrogeno y temperatura dentro del reactor biológico, ayudando al crecimiento de bacterias y remoción de contaminantes. Además, con estos sistemas automatizados, se obtendrá ahorro en los recursos económicos y energéticos.

El beneficio es para todo ente generador de aguas residuales del país que tenga una tecnología de lodos activados, ya que al tener un tratamiento automatizado de sus aguas permitirá aumentar o disminuir la cantidad de aireación dentro del reactor biológico, así como tener el control del tiempo que los equipos están en funcionamiento para su mantenimiento preventivo y correctivo. También se estará beneficiando en el control de sus vertidos del efluente hacia el cuerpo receptor.

En Guatemala actualmente se cuenta con la legislación vigente la cual obliga a todo ente generador de afluentes a que tengan un tratamiento de sus aguas residuales. No todas las plantas de aguas residuales cumplen, por lo tanto, con esta propuesta se pretende disminuir la interrupción de sus procesos mejorando la productividad y la reducción de los costes. Con esto se hace una descarga del efluente al cuerpo receptor que cumpla y que estén dentro de los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2026.

5. OBJETIVOS

- General

Establecer la propuesta para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados

- Específicos

1. Definir los parámetros y equipos que se pueden controlar en la automatización de la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.
2. Especificar los equipos necesarios para la automatización de los parámetros y equipos en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.
3. Determinar los procesos adecuados para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.
4. Analizar los costos de implementación para la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El trabajo en cuestión se planea llevar a cabo con un modelo de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados para ello se requiere conocer la legislación vigente, es decir, el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para conocer los parámetros que podemos controlar en la automatización y que todo ente generador de aguas residuales pueda implementar la mejora en sus plantas.

La planta de tratamiento funciona por lodos activados, dentro del proceso de operaciones, el control de la calidad del agua y actividades de mantenimiento no se realiza por una programación establecida, ya que cuando se necesita evaluar la calidad de los parámetros del agua se realiza en situ, sin conocer que elementos se deben de evaluar,

El tratamiento de aguas residuales es un proceso que demanda mucho control y supervisión en cada una de sus etapas, por lo cual se busca tener sensores de oxígeno disuelto para ofrecer resultados rápidos, exactos y fiable, así como para dar lectura a la temperatura y pH. Estos instrumentos están diseñados para su uso en plantas de tratamiento de aguas tales como las plantas de tratamiento de aguas residuales, el proceso de lodo activado de efluentes y el tratamiento de agua potable, la lectura toma es enviada al PLC.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades

El agua resulta ser un elemento que, durante el lapso del período de las estaciones de cambio climático, variaciones ambientales, demográfica, urbanización ha considerado contaminación de desechos, para lo cual diferentes instancias buscan proteger este recurso y evitar su pérdida total en el tiempo (UNESCO, 2020).

El agua es un recurso que se ha visto comprometido en lo largo del tiempo el cambio ambiental, el crecimiento demográfico, la edificación. Se presta especial atención a diversos procesos que permiten preservar por un periodo extenso.

Según Gonzalez (2010), diferentes publicaciones de la UNESCO indican que los ecosistemas acuáticos han sufrido daños irreparables debido al crecimiento demográfico, el desarrollo de infraestructura, el mal uso y la conversión de la tierra, la sobreexplotación agrícola, la transformación de los ecosistemas y la contaminación. Muchos estudios diferentes indican que cada día se vierten en los canales residuos, lo que contamina grandes reservas de agua y provoca la reducción de los humedales. Apoya varios programas para reconstruir y proteger la fuente de agua esencial para la vida.

Las aguas residuales se generan a través de diversos procesos industriales o domésticos. Antes de su eliminación es necesario realizar una limpieza preventiva para que al vertido a alcantarillado, depuradora o sistema natural (río, lago, embalses) no contamine el medio ambiente y todo el entorno. Ministerio de Población. Los contaminantes del agua se clasifican en sólidos suspendidos, sólidos coloidales o sólidos disueltos. El proceso de eliminación depende del tipo de sustancia presente en el agua tratada.

Las suspensiones se separan mecánicamente, lo que se puede hacer por gravedad, los coloides requieren un pretratamiento físico y químico, y los materiales en solución pueden tratarse de forma iónica, molecular o por sedimentación. Todos estos procedimientos se denominan procedimientos de agua (Delgadillo, 2010).

Según Cámara el tratamiento de aguas acatará de factores como: caudal, composición, concentración, calidad de las aguas requeridas, capacidad emplear nuevamente el agua y capacidad de descargar aguas residuales a tratamiento (pp. 12).

7.1.1. Características de aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición química, física en las cuales están las características físicas como olor, color; químicas las cuales constituyen orgánicos e inorgánicos y biológicos (Cámara, 2014, p. 4).

7.1.2. Agentes primarios en el tratamiento de agua residual

Según Da Cámara los contaminantes asociados están los sólidos suspendidos, materiales inorgánicos (lodos, lodos de depuradora y otros desechos), orgánicos biodegradables, compuestos orgánicos no deseados, aleaciones pesadas y sólidos inorgánicos difundidos (pp. 30).

7.1.3. Métodos analíticos

Según Da Cámara para caracterizar el agua se manejan métodos de valor y apreciación, para determinar cómo está formada el agua, la cual tiene propiedades naturales, los cuales se analizan por medio de equipo de laboratorio, con la finalidad de identificar sus características (pp. 33).

7.1.4. Características físicas

Según Quiñonez (2009) Las propiedades físicas básicas pueden variar y proporcionar información general sobre las condiciones actuales del agua, incluyendo: olor, temperatura, densidad, color, turbidez y sólidos totales suspendidos, coloidales y disueltos (pp. 33).

7.2. Elementos de agua residual

Se presenta los elementos que componen los diferentes factores del agua.

7.2.1. Aguas residuales de tipo especial

Según Sanchez el agua tiene diferentes composiciones, proviene de instalaciones ganaderas, industriales, comerciales y ganaderas, la calidad del agua es cada vez menor, se contamina por su uso en diversos procesos, ya sean económicos o relacionados con el estilo de vida (p. 12).

7.2.2. Aguas residuales de tipo ordinario

Según Sanchez las aguas provienen del empleo de artefactos sanitarios, radiadores, piletas, lavaplatos, lavaderos y otras labores parecidas llevadas a cabo mediante conductos de aguas servidas (pp. 55).

Los ingredientes que crean esta agua son: aguas sucias, aguas de uso de casas, vías de circulación, entre otros.

:

7.3. Tratamiento de las aguas residuales

Pueden ser tratadas por procesos biológicos aeróbicos o anaeróbicos, dependiendo del ciclo natural en el que los microorganismos generan materia orgánica para crear nuevas sustancias celulares o gases, permitiendo utilizar este proceso para eliminar sólidos coloidales que no logran sedimentarse (Sánchez, 2016).

El tratamiento primordial encierra la exclusión de todos los sólidos flotantes y sedimentados. El agua sigue por un cedazo que filtra sólidos grandes y aguas residuales, luego fluye hacia un tanque de decantación, donde se eliminan las partículas sólidas suspendidas.

Tratamiento secundario, el contenido orgánico del agua se elimina mediante actividad bacteriana, por ejemplo, utilizando filtros específicos. Este elimina ciertos compuestos, como sales de fósforo y nitrógeno que promueven el crecimiento de algas, metales pesados y otros productos químicos.

El tratamiento terciario, implica la eliminación de nutrientes como fosfatos, nitrógeno y una considerable proporción de sólidos en suspensión.

7.4. Factores de emplear aguas residuales

Según Borrás (2015) las aguas residuales se procesan correctamente en instalaciones de tratamiento, se pueden emplear en la agricultura, la acuicultura y en tareas diarias como regar el jardín; limpiar suelos, baños y habitaciones sin suponer un peligro para la sociedad.

En zonas donde el agua es escasa, se pueden aplicar sistemas de purificación para aprovechar este recurso, impacta positivamente en la población y en el entorno natural, estos sistemas pueden disminuir la polución generada por el vertido de aguas residuales.

7.5. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

Según el Acuerdo Gubernativo 236 los lineamientos a cumplir para el desagüe, reutilización de aguas residuales y procesamiento de lodos, es ineludible para proteger los receptores de los efectos humanos, restaurar los cuerpos de agua de la sobrealimentación y fomentar el progreso de los recursos hídricos.

7.6. Parámetros de aguas residuales

Los resultados de los análisis de aguas residuales se enuncian en unidades de medida tanto físicas como químicas, lo que permite asignar un valor numérico que revelará las características. Estas variables se denominan parámetros de aguas residuales (Palomo, 2011).

7.6.1. Parámetros de Calidad

Se hace una descripción de los parámetros para el diseño de investigación a realizar.

7.6.2. Parámetro de calidad ambiental

Para cumplir con los estándares de disminución de la instancia de oxígeno, esto implica reducir el monto de oxígeno en la transformación química de oxidación generada por los microorganismos para descomponer sustancias orgánicas, disminuyendo el comprendido de partículas en suspensión (Palomo, 2011).

7.6.3. Parámetro de calidad sanitaria

Son los relacionados con la cifra de bacterias fecales coliformes dentro del cual el principal representante es la *Escherichia coli*. La subsistencia de estas bacterias indica contaminación por excrementos humanos provenientes de la descarga de aguas residuales sin procesamiento (Rivera, 2007).

7.6.4. Parámetro de calidad agronómica

Según Palomo (2011) estos criterios están relacionados con la presencia de sustancias nutritivas como el fósforo total y el nitrógeno total en las heces humanas y en los productos de limpieza. Es esencial descartarlos antes de suministrar el agua tratada a los usuarios porque favorecen el crecimiento de microorganismos como las cianobacterias, lo cual dificulta que la luz solar llegue a las capas inferiores y restringe el desarrollo normal de los organismos que habitan en el ecosistema predominante en el lago.

7.6.5. Parámetros de medición

Estos parámetros permiten conocer las características que presenta el agua residual a través de un valor numérico representativo (Palomo, 2011, p. 89)

7.6.5.1. Temperatura

Las aguas residuales a temperaturas altas son comunes en desechos industriales o comerciales. Este ejemplo de agua causa daño a las infraestructuras o puede generar contaminación atmosférica al ser desechada en el medio ambiente (Orellana, 2005).

Las temperaturas registradas son típicamente más calurosas durante la mayoría del año, variando entre 10 y 21 °C. La temperatura es crucial para el estudio del agua debido a que influye en las reacciones químicas y el desarrollo bacteriano (Sánchez, 2006).

La nitrificación y la fermentación aeróbica se interrumpen cuando la temperatura llega a los 50 °C. A una temperatura de 15 °C, las bacterias metanogénicas dejan de operar, y las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de operar a temperaturas cercanas a los 5 °C”.

7.6.5.2. Densidad

La concentración del agua se define como peso por unidad de espacio expresada en kg/m³ la cual representa una propiedad física en el análisis de agua residual (Sánchez, 2016).

7.6.5.3. Potencial de hidrógeno

La fuerza electromotriz generada por el electrodo de vidrio cambia linealmente con el pH del ambiente; Puede variar dependiendo de la temperatura, es necesario tener en cuenta este parámetro. En aguas residuales domésticas alcanza valores entre 7 a 8 (Orellana, 2005).

Es un parámetro regulado por el límite máximo permisible para la descarga de aguas residuales de alcantarillas y lugares receptores, también se considera un parámetro de calidad del agua utilizada para actividades, uso agrícola, contacto primario y consumo humano.

7.6.5.4. Grasas y aceites

La grasa es un compuesto del alcohol glicerol, comúnmente conocido como glicerol, con ácidos grasos como el oleico, palmítico y esteárico para formar glicerol como la oleína, palmítico y estearina. Se encuentran en las grasas animales (Orellana, 2005).

7.6.5.5. Material flotante

Son sólidos de aguas servidas y muestras de aguas servidas tratadas que se colocan sobre una rejilla de acero inoxidable. La medición de materiales flotantes es de suma importancia en la supervisión y tratamiento de aguas servidas (Estela, 2009).

7.6.5.6. Sólidos suspendidos totales

Son una medida de la suspensión inestable formada por el material que queda después de la evaporación del agua a temperaturas entre 217 y 221 °F. Los sólidos estables son aquellos que caen al fondo del cono Imhof en 60 minutos y se expresan en mL/L. Los sólidos se pueden dividir en filtrables y no filtrables (suspensión).

7.6.5.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Los sólidos suspendidos totales son una medida de la suspensión deleznable formada por el material que queda después de la evaporación del agua a temperaturas entre 103 y 105 °C. Los sólidos estables son aquellos que caen al fondo del cono Imhof en 60 minutos y se expresan en mL/L. Los sólidos se pueden dividir en filtrables y no filtrables (suspensión).

La filtración se realizó por separación a través de un filtro de vidrio (Whatman GF/C) con poros de 1,2 micras, aunque también se podría utilizar un filtro de membrana de policarbonato (Estela, 2009).

7.6.5.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Una medición indirecta del contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables en las aguas residuales, determinada por la cantidad equivalente de oxígeno utilizada en la oxidación química utilizando productos químicos oxidantes fuertes (dicromato de potasio) en un ambiente ácido” (Palomo, 2011)

La demanda química de oxígeno indica la cantidad de oxígeno consumida por los materiales en el agua; Medición correspondiente a la evaluación de materiales oxidables de origen orgánico o inorgánico.

7.6.5.9. Nitrógeno total

El nitrógeno envuelve la descomposición natural de materia orgánica, abonos, productos de higiene y productos de purificación de agua potable. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos fotosintéticos (Estela, 2009).

7.6.5.10. Fósforo total

El fósforo puede hallarse en las aguas residuales en estado disuelto o en partículas sólidas como compuestos orgánicos o inorgánico, para separar el fósforo unido a la materia orgánica, la muestra de agua debe ser sometida a digestión con ácido (Echarri, 2008)

7.6.5.11. Color

Según Echarri (2008) el color del agua puede clasificarse como real o verdadero cuando su color se debe únicamente a sustancias en solución y transparente cuando su color se debe a sustancias en suspensión.

Según Orellana (2005) es un factor de medición significativo, señala los tonos grises, grisáceos y negros se originan por la creación de sulfuros metálicos debido a la reacción de los sulfuros liberados en condiciones sin oxígeno con metales presentes en las aguas residuales.

7.6.5.12. Olor

Según Pedreño (2015) el olor se debe principalmente a la presencia de sulfuro de hidrogeno, el cual se produce por la reducción de sulfatos a sulfitos por actividad microbiana bajo condiciones anaeróbicas.

7.6.5.13. Turbiedad

Según Echarri (2008) la turbidez es la capacidad del agua para transmitir luz, este parámetro se utiliza para determinar la calidad del agua con respecto a coloides y sedimentos en suspensión.

7.6.5.14. Coliformes Totales

El papel de las bacterias en la descomposición y estabilización de la materia orgánica es de gran importancia en el análisis microbiológico del agua, especialmente las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales (Robert, 2013).

Estas sustancias se encuentran en cantidades significativas en el medio ambiente (suministros de agua, vegetación, suelo), no están estrictamente asociadas con la contaminación fecal y su presencia no necesariamente indica un riesgo obvio para la salud.

Los coliformes fecales que se localizan en animales y sujetos. Tienen la destreza de fermentar lactosa y producir gas a una temperatura de 44 °C después de períodos de desenvolvimiento.

7.7. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Las plantas son cimentaciones compuestas en las que se han avanzado métodos naturales controlados para reducir a niveles adecuados el material orgánico y diversas sustancias con propiedades físicas, químicas y biológicas (Amanco, 2011).

La finalidad es subyugar la contaminación de las aguas residuales antes de que se despachen al medio ambiente y ayudar a restaurar y mantener la particularidad del agua en la fuente.

7.7.1. Partes de la planta de tratamiento de agua residuales

Según Cámara (2014) caja de registro cuenta con un sistema de barras que permite la detención y exclusión de sólidos magnos.

El tanque de Remoción de Arena, consiste en un tanque séptico primario donde ocurre el proceso físico de remoción de arena y reducción de sólidos suspendidos. Su función es sedimentar los sólidos y permitir que se inicie el proceso de biodegradación

El Reactor anaeróbico (tanque de equilibrio y tanque biológico), en esta etapa se inicia un proceso de tratamiento biológico que tiene como objetivo eliminar los contaminantes biológicos.

El Sistema de Sedimentación Secundaria tiene la acción de la gravedad drena el agua y completa el proceso de entrada de sólidos al fermentador mediante un tratamiento biológico reduciendo los nutrientes

Por último, el Sistema de control de salida, determina el momento en el que el agua recolectada de los tres sistemas de tratamiento se concentra para su descarga final.

7.8. Proceso de lodos activados

Según Cámara (2014) el tratamiento en que una masa biológica heterogénea de microorganismos, circula continuamente y se expone a la materia orgánica del efluente de las aguas residuales al sistema en presencia de moléculas de oxígeno, difusión de aire comprimido o por ventilación mecánica.

El sistema de tratamiento posee tres procesos unitarios básicos que se debe saber: oxidación biológica en la unidad de aireación (reactor biológico) seguido por sedimentación en la unidad de separación o recuperación de sólidos.

Sedimentador secundario es donde el lodo separado, en su gran mayoría, es retornado a la unidad de aireación para mezcla con las aguas residuales afluentes y el restante es eliminado del sistema.

7.8.1. Descripción de las etapas principales del proceso de lodos activados

Según Cámara (2014), la etapa de contacto, adsorción o floculación: es la etapa inicial en el biorreactor, y consiste principalmente en introducir en la etapa de contacto aguas residuales crudas (alimentos) y lodos activados (microorganismos), la cual tiene las siguientes fases:

- Fase de aireación: ocurre simultáneamente con la fase anterior e implica mantener la actividad aeróbica (presencia de oxígeno molecular) y fluidos mixtos (alimentos y microorganismos) en la suspensión (mixtos).
- Etapa de separación secundaria: Se lleva a cabo en depósito de sedimento subsiguiente y consiste principalmente en la eliminación biológica.
- Etapa de reciclado: Incluye el retorno de los lodos activados desde el tanque de sedimentación secundario al tanque de aireación.

7.8.2. Sistema de aireación extendida o prolongada

Como describe Cámara (2014) el sistema opera sobre la base de la respiración interna curva de crecimiento, requiriendo cargas orgánicas relativamente bajas y largos tiempos de detención, una edad del lodo de 20 a 30 días y una carga de 0,05 a 0,15 kg DBO₅/kg SSVLM/día.

El biorreactor está completamente mezclado y opera con lodo de 3 a 6 kg SSVLM/m³ (sólidos volátiles dentro del fluido de mezcla por metro cúbico) y una tasa de rotación del 75 al 150 % que fluye hacia el reactor.

7.9. Tratamiento de aguas residuales

Para determinar el tratamiento necesario en aguas residuales, se comparan las características del agua residual con los límites sugeridos de parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente correspondiente (Quiñonez, 2009).

7.9.1. Tratamiento pre descartar

Según Calderón (2014) se define como tratamiento preliminar a las unidades que se ubican antes de las estructuras donde se lleva a cabo el tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento.

El plan es descartar el ingreso de materiales o sustancias que pueden alterar la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento por obstrucción.

7.9.2. Tratamiento primario

Según Metcalf (1996) el propósito del tratamiento primario es descartar sólidos sedimentables. Se lleva a cabo mediante tamizado y sedimentación. Los sólidos de mayor tamaño se separan por medio de tamizado, canal de rejillas o rejillas. Los sólidos de menor tamaño posibles de decantar se separan por medio de desarenadores.

7.9.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es una combinación de diferentes procesos para descartar estos compuestos, entre los que podemos destacar el tratamiento biológico de lodos activados, los reactores de lecho fijo y los sistemas de compresión, destrucción y sedimentación (Metcalf, 1996).

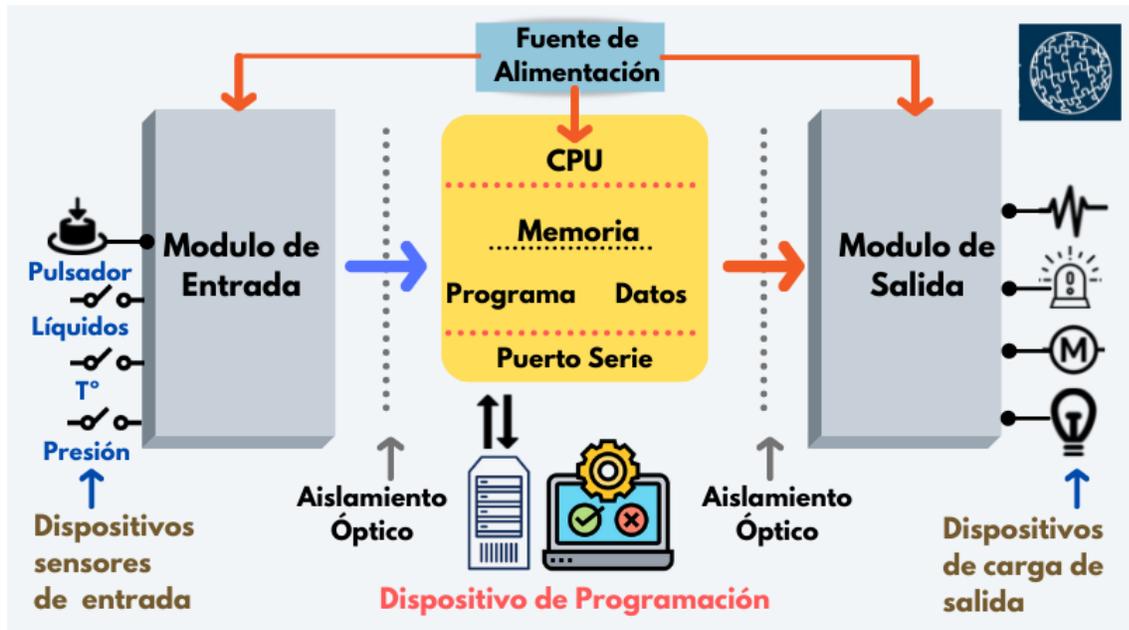
7.9.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario busca excluir nutrientes (nitratos y fosfatos) y/o compuestos tóxicos mediante métodos: coagulación química, floculación por filtración de sedimentos, filtración con carbón activado, obteniendo así aguas residuales de alta calidad. Reutilizar (Espinoza, 2010).

7.10. Controlador lógico programable

Un dispositivo electrónico controlado digitalmente con memoria programable para almacenar instrucciones de control internas dirigidas por el usuario para uso en entornos industriales.

Figura 1.
Diagrama de PLC



Nota. Dispositivo de programación, Elaboración propia, realizado con Adobe Ilustrador.

Por tanto, su concepto es un sistema operativo electrónico digital para emplear en medios industriales con memoria programable para el acopio interno de instrucciones de control dirigidas por el usuario.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

2.1.1 Características de aguas residuales

2.1.2 Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua
residual

2.1.3 Métodos analíticos

2.1.4 Características físicas

2.2 Tipos de agua residual

2.2.1 Aguas residuales de tipo especial

2.2.2 Aguas residuales de tipo ordinario

2.3 Tratamiento de las aguas residuales

2.4 Beneficios del uso de aguas residuales

Acuerdo No 236 2006

2.5 Paramentos de aguas residual

- 2.5.1 Temperatura
- 2.5.2 Densidad
- 2.5.3 Potencial de hidrogeno
- 2.5.4 Grasas y aceite
- 2.5.5 Material flotante
- 2.5.6 Solidos suspendidos totales
- 2.5.7 Demanda Bioquímica de Oxigeno
- 2.5.8 Demanda Química de Oxigeno
- 2.5.9 Nitrógeno total
- 2.5.10 Fosforo total
- 2.5.11 Color
- 2.5.12 Olor
- 2.5.13 Turbiedad
- 2.5.14 Coliformes totales

2.6 Planta de tratamiento de aguas residuales

- 2.6.1 Generalidades
- 2.6.2 Partes de la planta de tratamiento

2.7 Proceso de lodos activados

- 2.7.1 Descripción de las etapas principales del proceso de lodos activados
- 2.7.2 Sistema de aireación extendida
- 2.7.3 Tratamiento de aguas residuales
- 2.7.4 Tratamiento preliminar
- 2.7.5 Tratamiento primario
- 2.7.6 Tratamiento secundario
- 2.7.7. Tratamiento terciario

3. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1 Fase 1: revisión bibliográfica

3.2 Fase 2: recolección de datos

3.2.1 Etapa 1: Método, procedimiento y herramienta

3.2.2 Etapa 2: Medir la productividad de sistema

3.2.3 Etapa 3: elaboración de propuestas de implementación

3.2.4 Etapa 4: elaboración del seguimiento de la propuesta para la mejora

3.3 Fase 3: análisis de resultados

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Resultado a obtener

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de Estudio

Se presenta la metodología empleada para el diseño de investigación, en la cual se describen las fases a desarrollar.

9.1.1. Enfoque

El diseño de la investigación será de tipo mixto, pues se observarán y analizarán los procesos operativos y de mantenimiento sin intervenir en su desarrollo. El fenómeno de estudio es real, observable, sus características son medibles.

El diseño de investigación tendrá la característica de un estudio prospectivo pues se inicia con la observación de ciertas causas presumibles y se va avanzando en el tiempo de investigación a fin de observar las consecuencias y efectos.

9.1.2. Alcance

El tipo de estudio es transversal, ya que se tomará una muestra de una población en un momento determinado en este caso de los reportes de control y mantenimiento de la planta de tratamiento. La técnica documental será un apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

La investigación se desarrollará tomando como modelo los estudios de tipo descriptivo, ya que se especificarán las acciones de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.

Se elaborará un informe final para brindar las herramientas necesarias para optimizar los procesos de mantenimiento.

9.1.3. Diseño

Con el desarrollo de la investigación se cambiará la metodología de trabajo del área operaciones y mantenimiento. Esta mejora aporta una mejora implementando una automatización en los procesos de la operación y el mantenimiento en una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados, esto hace que se convierta más eficiente en las tareas rutinarias y disminución de los costes derivados.

9.2. Variables

Variables dependientes son relacionadas al proceso de mantenimiento de la planta de tratamiento

- Medición de temperatura
- Oxígeno disuelto (OD)
- pH

Tabla 1.*Variables de estudio*

Variables	Definición Conceptual	Operación
Temperatura	Es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general se pueden medir en escala Fahrenheit, Celsius, Kelvin	Se mide la toma de muestra en la cual, la actividad óptima para el desarrollo bacteriano es de 25 a 35°C. Los procesos de nitrificación y digestión aeróbica se ven detenida al alcanzar los 50°C. A temperaturas de 15°C, las bacterias que producen metano detienen su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas detienen su actividad en temperaturas cercanas a 5° Estadística descriptiva.
Oxido disuelto (OD)	El oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. La unidad de mg/L representa miligramos por litro. La concentración en mg/L se refiere a veces como partes por millón (ppm) porque un litro equivale a 1000 gramos de agua dulce y un miligramo es una milésima parte de un gramo.	El indicador permite conocer la variabilidad de la distribución de oxígeno, para la evaluación de la calidad del agua. Estadística descriptiva.
pH	Se basa en la capacidad de respuesta de electrodo de vidrio ante soluciones de diferentes actividades de iones H ⁺ . El pH es la medida de la concentración de este ion. La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio, esta puede variar dependiendo de la temperatura por lo que es un parámetro a tomar en cuenta. En un efluente domestico alcanza un valor aproximado de 7 a 8	Valores bajos indican la presencia de volcamientos ácidos y si son altos volcamientos alcalinos ambos proceden de procedimientos industriales o comerciales. Al presentar un pH ácido o básico indica que el agua residual puede causar daño a las cañerías, equipos de bombeo e impactar en los sitios de disposición final Estadística descriptiva.

Nota. Variables a estudiar en el diseño de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

9.3. Fases de estudio

El proceso para cumplir con los objetivos del diseño de investigación debe llevarse a cabo de la siguiente forma:

9.3.1. Fase 1: revisión bibliográfica

Se describen las actividades a realizar para la fase 1 en la revisión bibliográfica.

- La revisión bibliográfica es un paso obligatorio que se realiza en cualquier trabajo de graduación para comprobar la correcta toma de información de los diferentes autores.
- Por medio de las revisiones para la aprobación del protocolo se llevará a cabo la verificación de la bibliografía utilizada para la elaboración de la tesis.
- Se realizarán las verificaciones y correcciones necesarias hasta que se logre la aprobación del protocolo.

9.3.2. Fase 2: recolección de datos

Se describen las actividades a realizar para la fase 2 en la recolección de datos.

9.3.2.1. Etapa 1: Método, procedimiento y herramienta:

Se realizará una revisión del método más adecuado para la recolección de datos. Se realizará la medición de las variables con el equipo que el operador tiene in situ para su operación y mantenimiento de la PTAR. Para alcanzar el método óptimo es necesario identificar el proceso, establecer un flujograma y analizar cada operación para definir una ruta crítica, mapear donde se encuentran las debilidades y de qué manera se puede disminuir la brecha entre los tiempos menos efectivos hacia el plan de mantenimiento.

Procedimiento: se identificará el tiempo estándar para cada operación según la secuencia y definición que se le haya otorgado al flujo del proceso.

Se realizará el monitoreo de los parámetros que se solicitan en la tabla no. 2.

Tabla 2.

Datos históricos de análisis de agua residual

Fecha de muestreo	Oxido disuelto (mg/OD)	Temperatura (°C)	Material flotante	Solidos suspendidos (mg/L)	pH (potencial de hidrogeno)

Nota. Datos del análisis del agua. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

9.3.2.2. Etapa 2: Medir la productividad de sistema

Se analizará los datos para identificar la variación del sistema de descarga. Luego de recopilar la información se utilizarán herramientas de ingeniería, se procederá a dar una propuesta de mejora.

Procedimiento se tomará una muestra en el punto de descarga, localizando lo puntos de desfogue, los cuales van directamente de al colector municipal o bien hacia el cuerpo receptor.

- Muestra agua residual: las muestras se realizarán in situ.
- Fecha de la toma de muestras
- Ubicación de los puntos de muestreo.
- Método electrométrico: consiste en determinar la difusión del oxígeno disuelto a través de una membrana permeable colocado en un electrodo, y este a su vez actúa como una barrera de difusión para evitar interferencias al momento de la medición. Los electrodos utilizados en la medición son muy sensibles, y el metal que forma parte de este electrodo debe estar en contacto con una solución electrolítica que permite activar la membrana, polarizando adecuadamente el electrodo para la medición. La sensibilidad de estos oxígeno metros es aproximadamente de 0,05 mg/l, y la medición es directa sobre la muestra, con el debido registro de la temperatura.

Tabla 3.

Control de parámetros del sistema de tratamiento

Fecha	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/OD)	pH
1			
2			
3			
n			

Nota. Control de parámetros. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 4.

Caudal del efluente de aguas residuales

Medición	Velocidad (m/s)	Área o sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
1				
2				
3				
4				

Nota. Medidas de caudal. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word

9.3.2.3. Etapa 3: elaboración de propuestas de implementación.

Para esta etapa se llevará un control de los parámetros estudiados oxígeno disuelto, temperatura y pH, con la finalidad de automatizar la operación de mantenimiento en la planta de tratamiento de agua residual.

- Procedimiento:
 - Definir equipos y parámetros para el control de automatización

- Cumplimiento de parámetros con base al Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales MARN
- Análisis de costos de la implementación de la propuesta

Tabla 5.

Límites máximos permisible

Parámetro	Dimensiones	Valores iniciales	Muestra 1	Muestra n+1
Temperatura	Grados Celsius			
Oxígeno disuelto				
pH				

Nota. Límites permisibles. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 6.

Cumplimiento valores iniciales

Parámetro	Dimensiones	Resultado	Límite máximo	Observaciones
Temperatura	Grados Celsius			
Oxígeno disuelto	mg/OD			
pH				

Nota. Toma de valores iniciales. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 7.*Control del sistema*

Fecha	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/OD)	pH	Caudal (m ³ /s)
1				
2				
3				
n				

Nota. Reporte de datos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 8.*Unidad de análisis oxígeno disuelto*

Fecha	Unidad de análisis		Caudal	Evaluación línea de control		
	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/OD)		Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/OD)	Caudal (m ³ /s)
1	Grados Celsius					
2						
n						

Nota. Medias de oxígeno disuelto. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 9.*Potencial hidrogeno (pH)*

Fecha	Unidad de análisis			Evaluación línea de control		
	Temperatura (°C)	pH	Caudal (m ³ /s)	Temperatura (°C)	pH	Caudal (m ³ /s)
1	Grados Celsius					
2						
3						
n						

Nota. Medidas del pH. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla 10.

Temperatura

Unidad de análisis		Evaluación línea de control			
Fecha	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Observaciones
1	Grados Celsius				
2					
3					
n					

Nota. Lectura de temperatura. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

9.3.2.4. Etapa 5: elaboración del seguimiento de la propuesta para la mejora.

Funcionamiento del circuito hidráulico automatizado controlado por PLC programado con un portal y un cuadro eléctrico de control desde el cual el usuario maneje las funciones de la planta.

Se empleará un dispositivo para la medición del oxígeno disuelto, temperatura y potencial de hidrogeno, con un controlador y trasmisor, el cual proporciona una señal de salida aislada galvánicamente. El dispositivo se puede configurar a través de un programa de configuración o una unidad de conexión y operaciones disponible opcionalmente.

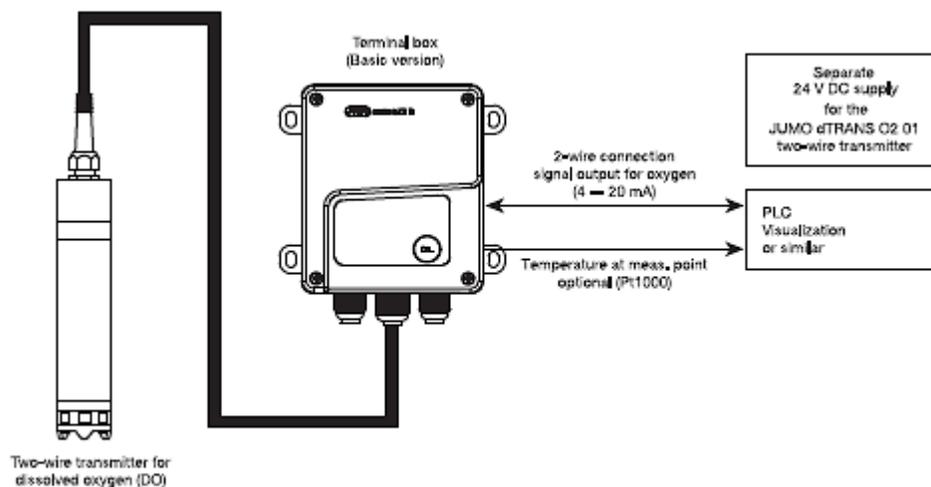
El mantenimiento del equipo se realizar por medio de reemplazo de módulos, posee una compensación de temperatura, presión y salinidad.

Tiene una exactitud de ± 1 % del final del rango de medición (20mg/l), la compensación de temperatura es de 0 a 50 grados centígrados, con un tiempo de respuesta de entre 90^a 180 segundos.

En la figura 2 se presenta el diagrama de funcionamiento en la cual el sensor proporciona una señal de salida eléctricamente aislada de 4 a 20 mA correspondiente al contenido de oxígeno. El instrumento se configura desde la caja de terminales o unidad operativa. Este se conecta a un PLC o un instrumento de registro.

Figura 2.

Conexión del sistema



Nota. Elementos del sistema. Obtenido de López, J. (2020). Sostenibilidad en la industria de productos de limpieza. Revista de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Tabla 11.

Porcentaje de rendimiento de la planta de tratamiento

Análisis	Inicio	Final	pH	Porcentaje de rendimiento
Temperatura (°C)	Grados Celsius			
Oxígeno disuelto (mg/OD)				
pH				

Nota. Nivel de rendimiento. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

9.3.3. Fase 3: análisis de resultados

Parámetros y equipos que se pueden controlar en la automatización de la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.

Los equipos necesarios para la automatización de los parámetros y equipos en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.

Los procesos adecuados para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.

9.3.4. Resultado a obtener

Automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La técnica de análisis de información se hará desarrollando en hojas de control para manipular fácilmente los datos obtenidos de la medición, antes de la ejecución del proyecto y los datos obtenidos después de la ejecución de este.

Para el desarrollo de esta investigación se presentan las herramientas para la recolección de datos, análisis y desarrollo del *software*:

- Herramientas de recolección de la información
 - Tabla con los valores de las fuentes de emisión
 - Tabla con la medición de los valores de corriente de caudal de agua
 - Tabla con la medición de los valores de oxígeno disuelto (OD)
 - Tabla con la medición de los valores de pH
 - Tabla con la medición de los valores de temperatura.
 - Tabla con la medición del historial de descarga y parámetros fisicoquímicos del agua.

- Herramientas para el estudio
 - Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las *Descargas y Reuso de Aguas Residuales* y de la Disposición de Lodos,
 - Importación de datos.
 - Procesamiento de datos.
 - Presentación de reportes.

- Herramientas para el análisis
 - Análisis del desbalance de oxígeno disuelto
 - Análisis de la regulación de la temperatura
 - Análisis del pH
 - Análisis caudal de descarga
 - Histograma de mediciones de parámetros fisicoquímicos
 - Gráfica de variación de oxígeno disuelto
 - Gráfica de dispersión de temperatura
 - Gráfica de dispersión de pH

- Gráfica de Pareto de la operación de mantenimiento
- Hojas de control de mantenimiento

11. CRONOGRAMA

Se describen el cronograma de trabajo para el estudio en la figura 5.

Figura 3.

Cronograma de actividades

No.	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Elección de los temas	■	■																						
2	Presentación de protocolo			■	■																				
3	Aprobación del tema					■	■																		
4	Fase 1 Investigación Bibliografica							■	■																
5	Recopilación de documentos fisicos y difital									■	■	■													
6	Fase 2 Diseño de investigación										■	■	■												
7	Recopilación de datos											■	■	■											
8	Elaboración de pruebas													■	■	■	■								
9	Fase 3 Medición de parametros															■	■	■							
10	Fase 4 Presentación de resultados																		■						
11	Elaboracion de informe final																					■	■	■	■

Nota. Actividades del proyecto. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar este trabajo de investigación las disponibilidades de los recursos económicos son necesarios, y para llevar a cabo los objetivos y metas señaladas en esta investigación, se contará con los recursos financieros del estudiante. Entre los gastos se estipula el tiempo de estudio, costo de tiempo de desarrollo, y costo de recurso humano que participe durante la ejecución de la investigación.

Tabla 12.

Presupuesto

Actividad	Costo
Personal técnico y tiempo propio	Q 1,000.00
Estudiante	Q 500.00
Materiales insumos, equipos de medición y servicios técnicos para el desarrollo de la investigación.	Q 1,000.00
Transporte	Q 500.00
Material bibliográfico	Q 500.00
Otros (papel, impresiones, material, varios)	Q 500.00
Total	Q 4,000.00

Nota. el presupuesto es cubierto por el estudiante. Elaboración propia, realizado con Excel.

Considerando que los recursos aportados son suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

REFERENCIAS

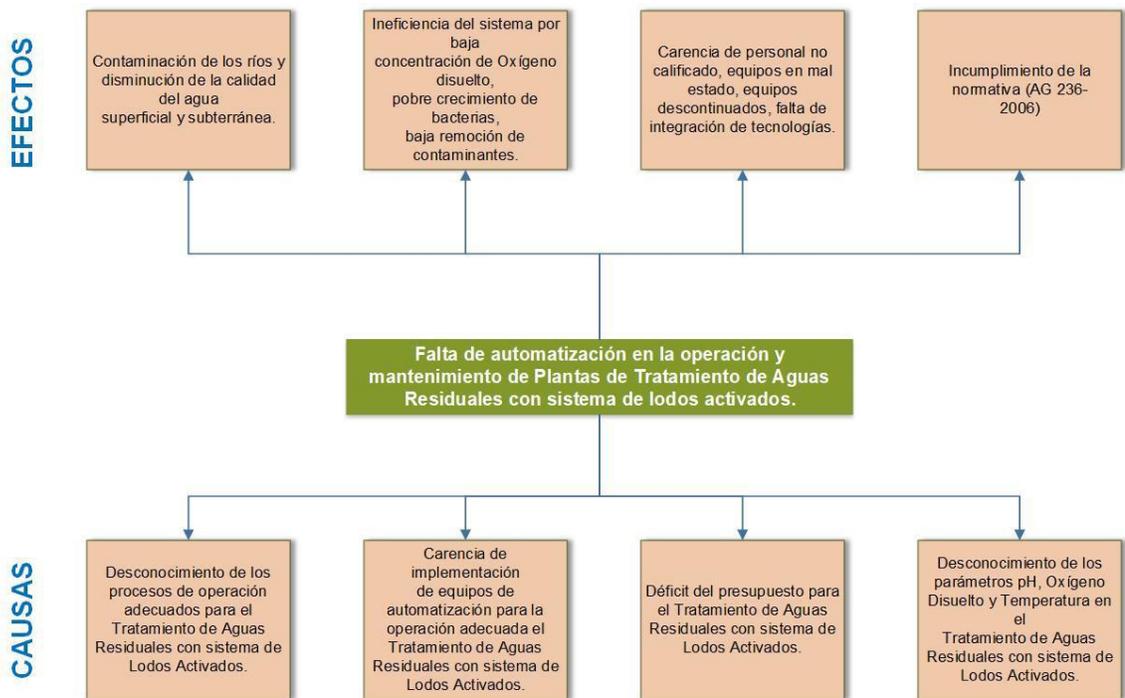
- Adauta Murueta, M. (2019) *Automatización de planta de tratamiento de aguas con microcontrolador y servicio WEB* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Archivo digital. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16550/Informe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arbeláez Hoyos, D. M. y Yepes, J. G. (2019) *Diseño de un sistema de control automático para una planta de tratamiento de aguas residuales, aplicado a una industria de templado y laminado de vidrio* [Tesis de pregrado Instituto Tecnológico Metropolitano]. Archivo digital. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/415>
- Flores Arenas, A. (2009) *Automatización de una planta de bombeo de aguas residuales*. [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. Archivo digital <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5226/1/168.pdf>
- Goenaga De La Asunción, A. E. y Palma Martínez, A. E. (2018) *Sistema de control y monitoreo para una planta de tratamiento de agua a escala*. [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica]. Archivo digital. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2266?show=full>

- Hernández F. L. (2018) *Automatización de planta de tratamiento de fluidos residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz]. Archivo digital.
http://reini.utcv.edu.mx:80/handle/123456789/784_07-2023
- López J. L. (2014) *Automatización de un sistema de tratamiento de aguas residuales* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez]. Archivo digital.
http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/445_07/2023
- Oviedo, F. F. (2016) *Automatización y Control Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una productora cartonera*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica]. Archivo digital.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39152>
- Parejo Gutiérrez, J. A. (2020) *Automatización del Sistema de Neutralización de Aguas Residuales Mediante el Control de PH en Una Termoeléctrica*. [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Archivo digital
<http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/3136/1/2020JulioAlbertoParejoGutierrez.pdf>
- Villacís Chimborazo, F. y Zambrano Vélez, W. (2013) *Automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales en Tecnova S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4118>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol del problema



Nota. Formato de registro. Elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

Apéndice 2.

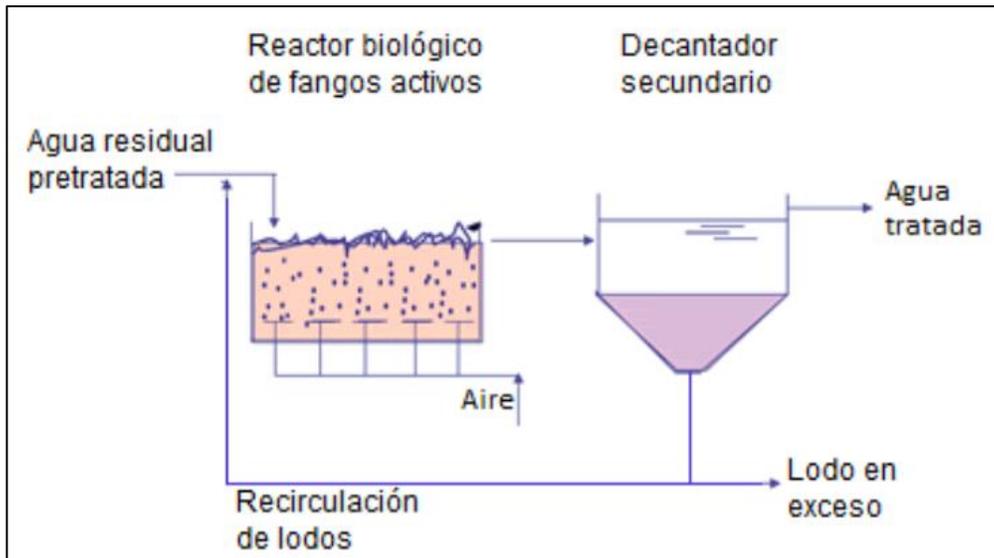
Matriz de Coherencia

Problema Principal	Preguntas de Investigación	Objetivo general	Justificación	Plan de investigación o plan acción
<p>Falta de automatización en la operación y mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con tecnología de lodos activados.</p>	<p>Pregunta Principal: ¿Cuál es la propuesta para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?</p> <p>Preguntas Secundarias ¿Cuáles son los parámetros y equipos que se pueden controlar en la automatización de la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados? ¿Cuáles serán los equipos necesarios para la automatización de los parámetros en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados? ¿Cuáles son los procesos adecuados para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados? ¿Cuál es el costo de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados?</p>	<p>Objetivo General Establecer la propuesta para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados</p> <p>Objetivos Específicos Definir los parámetros y equipos que se pueden controlar en la automatización de la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados. Especificar los equipos necesarios para la automatización de los parámetros y equipos en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados. Determinar los procesos adecuados para la implementación de la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados. Analizar los costos de implementación para la automatización en la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados.</p>	<p>La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento del agua, en la sub línea sistemas avanzados de tratamiento de agua residual de la Maestría en Energía y Ambiente.</p> <p>Con esta investigación se aporta una mejora implementando una automatización en los procesos de la operación y el mantenimiento en una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados, esto hace que se convierta más eficiente en las tareas rutinarias y disminución de los costes derivados.</p> <p>Al tener una planta automatizada, se obtendrá un mejor control y monitoreo del oxígeno disuelto, medición de potencial hidrogeno y temperatura dentro del reactor biológico, ayudando al crecimiento de bacterias y remoción de contaminantes. Además, con estos sistemas automatizados, se obtendrá ahorro en los recursos económicos y energéticos.</p> <p>El beneficio es para todo ente generador de aguas residuales del país que tenga una tecnología de lodos activados, ya que al tener un tratamiento automatizado de sus aguas permitirá aumentar o disminuir la cantidad de aireación dentro del reactor biológico, así como tener el control del tiempo que los equipos están en funcionamiento para su mantenimiento preventivo y correctivo. También se estará beneficiando en el control de sus vertidos del efluente hacia el cuerpo receptor.</p>	<p>El trabajo en cuestión se planea llevar a cabo con un modelo de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados para ello se requiere conocer la legislación vigente, es decir, el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para conocer los parámetros que podemos controlar en la automatización y que todo ente generador de aguas residuales pueda implementar la mejora en sus plantas.</p> <p>Para conocer los equipos necesarios para automatizar la planta, se contará con el apoyo de personas técnicas y con un expertis alto en el área, estos profesionales están dispuestas a contribuir para el desarrollo e implementación de este tipo de mejoras.</p> <p>Dentro del proceso de acción para este trabajo se realizarán al menos dos visitas a plantas de tratamiento que se acerquen al modelo propuesto para conocer el proceso de operación y mantenimiento y así ver evaluar la factibilidad de nuestra propuesta. El presupuesto si bien no es amplio, se tendrá la disponibilidad para completar cada actividad que se requiera dentro de cada fase del trabajo de investigación.</p> <p>Hasta el momento no se cuenta con una persona como asesor.</p>

Nota. Formatos de variables. Elaboración propia realizado con Microsoft Word.

Apéndice 3.

Sistema de lodos activados



Nota. Remoción de contaminantes. Elaboración propia, realizado con Adobe ilustrador.