

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

**Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la
UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la
cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión**

AUTOR:

Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Bastidas Cabrera, Tomás Gaspar

Guayaquil, Ecuador

27 de Febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio como requerimiento para la obtención
del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y
AUTOMATISMO.**

TUTOR

M. Sc. Bastidas Cabrera, Tomás Gaspar

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 27 días del mes de Febrero del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación **“Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 27 días del mes de Febrero del año 2020

EL AUTOR

ALVAREZ CEDEÑO, JOHNNY FABRIZZIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes de Febrero del año 2020

EL AUTOR

ALVAREZ CEDEÑO, JHONNY FABRIZZIO

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** Trabajo de titulación Johnny Alvarez.docx (D63550532)
- Presentado:** 2020-02-06 16:56 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión TT Johnny Alvarez. [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight in the message indicates: "4% de estas 34 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes."

The "Lista de fuentes" (List of sources) panel on the right contains the following entries:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://docplayer.es/75298997-Facultad-de-cienc-
	TESIS MAESTRIA JAVIER SANTANA.docx
	https://docplayer.es/73282935-Universidad-polit-
	TESINA (GUALE - VELIZ)-EVALUACION DE LAS AG...
	tesis victor izurieta.pdf
	TESIS final 1.pdf
	20161220 TESIS PTAR BRASIL (YERONICA MERA, C...

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión

AUTOR: Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR: M. Sc. Bastidas Cabrera, Tomás Gaspar

Guayaquil, Ecuador

1 de Marzo del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser mi guía espiritual e indicarme el camino correcto en cada etapa de mi corta vida.

A mi familia por ser ese apoyo incondicional, gracias al esfuerzo de mis padres que con el sudor de su frente lograron que pueda tener una educación de calidad.

EL AUTOR

ALVAREZ CEDEÑO, JOHNNY FABRIZIO

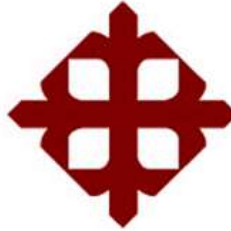
AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por mantenerme con salud todos estos años, lo cual me ha permitido llegar a este momento tan importante en mi vida con toda la convicción de que bajo su guía puedo seguir cumpliendo con las metas que me proponga.

Mi familia es otro de mis pilares fundamentales, la persona que soy es gracias a ellos, gracias a que desde pequeño me inculcaron muchos valores, sobre todo la responsabilidad. Siempre me han apoyado y confiado en mí, no podría expresar nunca con palabras lo agradecido que me siento de tener a tan maravillosa familia.

EL AUTOR

ALVAREZ CEDEÑO, JOHNNY FABRIZIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

M. Sc. MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. NINO URETA, VEGA TELLO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas	XIV
Resumen	XV
Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema.	4
1.4. Justificación del Problema.....	5
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	5
1.5.1. Objetivo General.	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.6. Hipótesis.	6
1.7. Metodología de Investigación.....	6
Capítulo 2: Marco Teórico	8
2.1. Estado del arte	8
2.2. Aguas residuales.....	10
2.3. Clasificación de las aguas residuales	10
2.4. Características de las aguas residuales.....	11
2.4.1. Características de las aguas residuales domesticas	11
2.5. Definición de términos en el estudio de la calidad del agua	14
2.5.1. Explicación del termino carga contaminante (W)	14
2.5.2. Explicación del termino flujo contaminante (J).....	15
2.5.3. Conceptos empleados en calidad del agua	15
2.6. Tipos de tratamiento de aguas residuales	17
2.6.1. Tratamiento preliminar	17
2.6.2. Tratamiento primario	18
2.6.3. Tratamiento secundario	19
2.6.4. Tratamiento terciario	20
2.7. Marco legal	21
2.7.1. Constitución de la República del Ecuador	21

2.7.2.	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente	22
2.7.3.	Ley de gestión ambiental	23
2.7.4.	Ley orgánica de la salud	24
2.7.5.	Ley de aguas	25
2.7.6.	Ley reformativa al código penal	26
2.7.7.	Ley de prevención y control de contaminación	26
2.8.	Sistemas embebidos	27
2.8.1.	Arduino	27
2.8.2.	Raspberry Pi	29
2.8.3.	BeagleBoard	31
2.8.4.	Odroid	32
2.9.	SCADA	33
2.9.1.	Siemens	34
2.9.2.	Wonderware	34
2.9.3.	Ignition SCADA Software	35
2.10.	Sensores	36
2.10.1.	Sensor pH	37
2.10.2.	Sensor cloro	38
2.10.3.	Sensor sólidos suspendidos	39
Capítulo 3: Diseño de la Planta de tratamiento de Aguas residuales		40
3.1.	Consideraciones iniciales	40
3.2.	Descripción del sistema	44
3.3.	Cálculos para el diseño del módulo de separación de grasas y sólidos	47
3.4.	Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en AutoCAD	50
3.4.1	Módulo de separación de grasas y sólidos	50
3.5	Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales	51
3.5.1	Primera etapa	51
3.5.2	Segunda etapa	52
3.5.3	Tercera etapa	52
3.5.4	Cuarta etapa	53

3.5.5	Estructura completa de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	53
3.6	Materiales	54
3.7	Simulación	57
3.7.1	Software.....	57
3.8	Resultados	64
	Conclusiones.	71
	Recomendaciones.....	73
	Bibliografía.....	75

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1 Concepto de carga y flujo contaminante.	14
Figura 2. 2 Reja de Tambor Rotatoria NTF Nijhuis (Extracción de partículas gruesas)	18
Figura 2. 3 Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB)	19
Figura 2. 4 Arduino Uno.	28
Figura 2. 5 Arduino Mega 2560.....	29
Figura 2. 6 Tarjeta Raspberry Pi 4.	30
Figura 2. 7 Placa BeagleBone Black.....	31
Figura 2. 8 Odroid-XU4Q.	32
Figura 2. 9 Odroid-H2. Fuente: (HardKernel, s/f-a)	33
Figura 2. 10: SIMATIC WinCC (TIA Portal).....	34
Figura 2. 11: Vista de la información basada en Model-driven.....	35
Figura 2. 12 Visualización en tiempo real de los parámetros de la planta.	36
Figura 2. 13: Electrodo HI1001.	37
Figura 2. 14: Sensores de pH/ORP 3/4 en combinación.....	37
Figura 2. 15: Sensor digital de cloro total Memosens CCS120D	38
Figura 2. 16: Sensor Cl2	38
Figura 2. 17: Sensor Memosens para sólidos en suspensión y medición de la turbidez en aguas residuales.....	39
Figura 2. 18: Monitor de sustancias en suspensión Modelo Q46/88.....	39

Capítulo 3

Figura 3. 1 Agua necesaria para la producción de alimentos.	41
Figura 3. 2 Agua utilizada para la producción de uso cotidiano.	42
Figura 3. 3: Descripción del sistema de monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales.	45
Figura 3. 4: Propuesta del diagrama de conexión del sistema embebido con los periféricos de la PTAR.	46
Figura 3. 5: Opción de empleo de la PTAR.	46
Figura 3. 6: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta.....	47
Figura 3. 7: Medidas del módulo de separación de grasas y sólidos.	51
Figura 3. 8: Diseño de la primera etapa de tratamiento.....	51
Figura 3. 9: Cámara de la segunda etapa de tratamiento.	52
Figura 3. 10: Cámara de la tercera cámara de tratamiento.	52
Figura 3. 11: Cámara de la cuarta cámara de tratamiento.....	53
Figura 3. 12: Diseño estructural completo de la planta de tratamiento de aguas residuales.	53
Figura 3. 13: Plano lateral de la planta de tratamiento de aguas residuales.	54
Figura 3. 14: Filtro percolador anaerobio.	54
Figura 3. 15: Rosetón plástico filtrante.	55
Figura 3. 16 Aireador sumergible para el tratamiento de agua.	55
Figura 3. 17: Panel lamelar.....	56
Figura 3. 18: Clorador Valac.....	56
Figura 3. 19 Electroválvula 12VDC.	56
Figura 3. 20 Filtro de luz UV.....	57

Figura 3. 21 Ventana de trabajo del software GPS-X.....	58
Figura 3. 22 Etapas de tratamiento que simularan el funcionamiento de la PTAR propuesta.	59
Figura 3. 23 Características del agua residual.....	59
Figura 3. 24 Características del agua residual.....	60
Figura 3. 25 Características del agua residual.....	60
Figura 3. 26 Configuración del filtro percolador.	61
Figura 3. 27 Configuración de las dimensiones del reactor secuencial batch.	61
Figura 3. 28 Configuración operacional del reactor secuencial batch.	62
Figura 3. 29 Configuración de las dimensiones del panel lamelar.....	62
Figura 3. 30 Configuración del módulo de desinfección por cloro.	63
Figura 3. 31 Configuración operacional del módulo de desinfección por cloro.	63
Figura 3. 32 Configuración del filtro de luz UV.	64
Figura 3. 33 Configuración operacional del Filtro de luz UV.	64
Figura 3. 34 Resultados de la primera prueba.	65
Figura 3. 35 Resultados de la segunda prueba.	66
Figura 3. 36 Resultados de la tercera prueba.	67
Figura 3. 37 Resultados obtenidos de la cuarta prueba.	68
Figura 3. 38 Resultados de la quinta prueba.	69
Figura 3. 39 Resultados de la sexta prueba.	70

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1 Componentes de las aguas residuales domésticas.....	11
Tabla 2. 2 Propiedades físicas de las aguas residuales domésticas.	12
Tabla 2. 3 Propiedades químicas de las aguas residuales domésticas. Fuente:(Rogel & Gallardo, 2014)	13
Tabla 2. 4 Unidades de medida para expresar la concentración de un soluto. Fuente: (Sierra Ramírez, 2011)	16
Tabla 2. 5 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.	22
Tabla 2. 6 Especificaciones técnicas de la placa Arduino Uno.	28
Tabla 2. 7 Especificaciones técnicas de la placa Arduino Mega 2560.	29
Tabla 2. 8 Especificaciones técnicas de la placa Raspberry Pi 4 Model B. ..	30
Tabla 2. 9 Especificaciones técnicas de la placa Raspberry Pi 4 Model B. ..	30
Tabla 2. 10 Especificaciones técnicas de la placa BeagleBone Black.	31
Tabla 2. 11 Especificaciones técnicas de la Odroid-XU4Q.	32
Tabla 2. 12 Clasificación de los sensores según la variable física a medir....	36

Capítulo 3

Tabla 3. 1 Límite máximo permisible de algunos parámetros del agua para empleo agrícola.	43
Tabla 3. 2 Unidades de gasto de los aparatos sanitarios instalados en la facultad.	48
Tabla 3. 3 Unidad de gasto total aproximado de la FETD.	49
Tabla 3. 4 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 1.	65
Tabla 3. 5 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 2.	66
Tabla 3. 6 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 3.	67
Tabla 3. 7 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 4.	68
Tabla 3. 8 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 5.	69
Tabla 3. 9 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 6.	70

Resumen

En el presente trabajo de titulación se realiza una propuesta a la FETD-UCSG, sobre la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales automatizada que permita determinar la cantidad de pH, cloro y sólidos en suspensión del agua tratada, así controlando la calidad de esta para que pueda ser reutilizada en riego de zonas verdes, agricultura o reabastecimiento de baterías sanitarias. El control de planta se basa en un sistema embebido en el cual controlara diversos instrumentos de la planta como: sensores, actuadores, etc. La planta de tratamiento de aguas residuales propuesta cuenta con una etapa preliminar de separación de sólidos, un módulo donde se realizan los tres principales tipos de tratamiento de aguas residuales y desinfección del agua mediante cloro, si el controlador de la planta determina de que el agua todavía no cumple con los estándares de calidad, hará circular el agua a través de un filtro UV. El diseño de la planta propuesta se ajusta a las necesidades de la FETD-UCSG para el tratamiento y reutilización de sus aguas negras, pero en base del mismo estudio se podría adecuar el diseño de la planta para las granjas que son propiedad de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

Palabras claves: SISTEMAS EMBEBIDOS, PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AUTOMATIZADA, CALIDAD DEL AGUA, SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN AGRICULTURA, FILTROS UV.

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

Desde el inicio de la humanidad el uso del agua ha sido fundamental para el desarrollo de la sociedad, actividades como: el aseo personal, preparación de alimentos, uso con fines agrícolas, para crianza de animales domésticos y con el paso del tiempo, el desarrollo de nuevas tecnologías y para cubrir necesidades de una población en constante aumento, el agua paso también a ser utilizada industrialmente.

El agua en las industrias ha servido para realizar diferentes procesos y productos, pero todo el desperdicio generado por esta actividad y ante la falta de normas que protejan al medio ambiente, las empresas al generar demasiados desperdicios depositaban sus contaminantes en los lechos de agua más cercanos, contaminando fauna y flora.

En consecuencia el planeta ha ido sufriendo cambios ambientales, que en un principio eran casi imperceptibles, pero con el paso de los años se ha hecho más evidente, altas temperaturas, incendios forestales, lluvias torrenciales, deshielo de los polos, etc. Todos estos cambios generan preocupación en las grandes potencias mundiales, que presionados por grupos ambientalistas buscan soluciones a través de realizar congresos anualmente.

Una de las más grandes preocupaciones es la contaminación del agua, los océanos están llenos de plásticos y cada cierto tiempo ocurren derrames de petróleo. Los lechos de agua dulce no son la excepción, estos al ser utilizados para las actividades cotidianas acaban contaminándose.

Para luchar contra la contaminación del agua se han estudiado e implementado diferentes métodos para la depuración de diferentes contaminantes, pero para elegir correctamente el tipo de tratamiento que se va a emplear debe realizarse un análisis previo del agua. Una vez obtenidos los resultados, se procede a elegir los tratamientos que va a tener una planta de tratamiento de aguas residuales.

Pero esto no ha evitado que siga existiendo un mal uso del agua, y en parte las plantas de tratamiento de aguas residuales no han aprovechado al máximo los avances tecnológicos para la correcta depuración de los

contaminantes, ya que los procesos siguen siendo muy mecánicos sobre todo en las plantas de tratamiento de gran tamaño, donde no se tiene un respectivo control. Aunque por el lado legal los gobiernos les exigen el control de calidad del agua mediante pruebas, estas pruebas muchas veces son hechas en laboratorios internos de la planta, lo cual no asegura que cumplan con las normativas vigentes.

Por tal motivo, es necesario la implementación de sistemas automatizados y recolección de datos mediante sensores para mejorar el control de calidad del agua tratada, por lo que se opta presentarle una propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales, pero que esta esté controlada bajo un sistema embebido, que por medio de los sensores permita medir ciertas variables del agua y determinar si el agua tratada puede ser reutilizada en riego de zonas verdes, agricultura y reabastecimiento de baterías sanitarias. El uso de actuadores, que también estarán controlados por el sistema embebido, ayudara con los procesos de tratamiento, almacenado y transporte del agua.

El objetivo de la presente propuesta es para concientizar sobre el mal uso que se le da al agua y como poder evitarlo a través de la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales con la cual se pretende hacer un uso eficiente del agua.

1.2. Antecedentes.

La investigación sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales está teniendo un auge no solo en Ecuador sino en el mundo, esto debido a los diferentes problemas medio ambientales que han ido en crecimiento durante décadas.

Estas plantas o sistemas nacen como una solución para mitigar la contaminación sobre todo a los ecosistemas marinos, el agua residual generada por las ciudades es llevada a las plantas a través del sistema de alcantarillado que estas poseen. En ellas a través de diferentes procesos se eliminan los contaminantes y el agua tratada es vertida a los ríos.

Pero el regresar el agua a su entorno no es la única solución sobre todo si se quiere evitar contaminar más agua. La mejor forma de aprovechar al máximo una planta de tratamiento de aguas residuales es cuando el agua

tratada es reutilizada, pero el problema de reutilizarla es que el agua residual proveniente de un hogar no es la misma que la proveniente de una industria o de un centro comercial, por eso es que el agua tratada es devuelta a su entorno.

En los últimos años se han realizado estudios para la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con un sistema de reutilización del agua, muchos de estos estudios se han focalizado en el apartado del hogar, industrial y en el riego de cultivos, dejando de lado los centros educativos, en los cuales asisten cientos o miles de personas diariamente.

1.3. Definición del Problema.

El agua es un recurso natural que es utilizado de diversas formas, ya sea para actividades en el hogar o para procesos industriales. Estas actividades buscan beneficiarse de las propiedades del agua, sin embargo, el manejo del agua no es controlado, no solo que en muchas ocasiones se desperdicia sino que se contamina el agua.

El agua contaminada o aguas residuales son altamente nocivas si son devueltas en ese estado a la naturaleza, para evitar que estos contaminantes lleguen al medio ambiente, el agua residual pasa a través de una planta de tratamiento, en la cual por medio de diferentes procesos se eliminan los contaminantes.

En Ecuador existen varias plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de minimizar el impacto medio ambiental al devolver a su entorno el agua tratada. Sin embargo la cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales no son suficientes con respecto a la demanda.

Solo en el Guayas, nueve de los veinticinco cantones no tienen un sistema para tratar el agua, lo cual genera un problema medio ambiental. Desde el ministerio del ambiente por medio de Evelyn Montalván en una entrevista al diario Expreso, se asegura que ningún cantón trata toda el agua residual (Avilés, 2018).

Guayaquil al ser la ciudad más grande del Guayas no es una excepción, en su último mandato el exalcalde Jaime Nebot firmo un contrato para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales,

además agrego que queda pendiente la planta “Los Merinos”, la cual estaba en proceso de estudio (González, 2017).

Por tanto la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, ubicada en la Av. Pdte. Carlos Julio Arosemena Tola, Guayaquil. Al no contar con una planta de tratamiento de aguas residuales forma parte del problema ya que no existe por parte de la universidad ningún tipo de control en los residuos que esta genera, teniendo en cuenta que al ser un centro de estudio acuden cientos de personas diariamente, además de poseer zonas verdes y estar cerca del malecón del salado, es necesario que se presenten propuestas para que la Universidad tenga en consideración la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.4. Justificación del Problema.

La Universidad Católica Santiago de Guayaquil como tal no posee una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual genera un problema al no haber control de estas. Por tal motivo se realiza la siguiente propuesta de sistema de tratamiento de aguas residuales dentro de la UCSG-FETD, para el respectivo tratamiento del agua, control de calidad del agua tratada para su posterior reutilización en riego de zonas verdes y reabastecimiento de las baterías sanitarias de la facultad.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Proponer una planta de tratamiento de aguas residuales basado en el uso de sistemas embebidos para el control de calidad y la reutilización del agua tratada dentro de la UCSG-FETD.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir los métodos o procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales.
- Realizar el diseño estructural de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante el software AutoCAD.
- Simular el funcionamiento de la planta con un sistema embebido para determinar la cantidad de pH, cloro y sólidos en suspensión.

1.6. Hipótesis.

Mediante el sistema propuesto, se pretende dar una solución eficaz al tratamiento de aguas residuales, presentándole un estudio previo a la UCSG-FETD sobre la importancia y el impacto que puede tener el construir una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual contará con un sistema embebido que por medio de sensores realizará el control de calidad del agua tratada según los requerimientos de ley, con el objetivo de que el agua tratada sea reutilizada dentro de la UCSG-FETD, evitando contaminar agua potable.

1.7. Metodología de Investigación.

La automatización cada vez está siendo más aplicada en diferentes procesos industriales, debido a que mejora los procesos actuales haciéndolos más eficientes y reduciendo la intervención del hombre en dichos procesos. El área de tratamiento de aguas residuales no es la excepción, el aplicar las técnicas adecuadas a un sistema de tratamiento, mejora el rendimiento del sistema eliminando puntos muertos de trabajo y lo más importante se realiza un control exhaustivo de los procesos que se efectúan, dando como resultado agua tratada de mejor calidad.

El presente trabajo de titulación presenta un estudio de tipo cuantitativo. El objetivo es diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales automática, la parte operacional será realizada por un sistema embebido, el cual por medio de varios sensores tomara los datos respectivos de las variables a medir, los datos obtenidos determinaran si el agua tratada por la planta entra dentro de los parámetros permisibles por la ley, para que estos puedan ser reutilizados tanto en el riego de zonas verdes como en el reabastecimiento de baterías sanitarias dentro de la UCSG-FETD.

El diseño propuesto de la planta contara con las principales etapas en el tratamiento de aguas residuales, estas son: tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario. La toma de datos se realizará en la última etapa, en caso de que el agua tratada no sea apta para su reutilización, debido a que uno de las etapas mencionadas fallara, el agua pasara a una quinta etapa de tratamiento.

Una vez el agua tratada cumpla con las normas para poder ser reutilizada se almacenara en un cisterna, una vez en la cisterna el agua podrá ser usada para riego o para reabastecimiento de baterías sanitarias.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se utilizará software para la simulación del funcionamiento de la planta de tratamiento, esto se debe a que el presupuesto para implementar un proyecto con estas características es alto, por consiguiente el presente trabajo solo es una propuesta a la FETD-UCSG, en consecuencia el trabajo tiene un enfoque descriptivo, se recurre a fuentes bibliográficas, para la adquisición de información relevante y veraz que sirva de soporte para la parte teórica del presente trabajo. La información recolectada servirá de base para seleccionar los tipos de tratamiento que pueden ser implementados en la planta de tratamiento, así como el sistema embebido a utilizar.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Estado del arte

En los últimos años en Ecuador se han realizado varios estudios, propuestas de diseño, rediseños y análisis de funcionamiento de planta de tratamiento de aguas residuales. Estos trabajos buscan crear procedimientos más eficientes, económicos a través de la implementación de diversos métodos y tecnologías que garanticen el correcto tratamiento de las aguas residuales.

En el sector industrial se han realizado trabajos de automatización de los sistemas utilizados, en donde se eliminan tiempos improductivos y se mejora la eficiencia operativa de la planta de tratamiento teniendo una mejor calidad en el agua tratada y mayor control de todo el proceso a través de un sistema SCADA, esto en una empresa que ya poseía una planta de tratamiento de aguas residuales. Esta empresa cartonera durante el proceso de producción utiliza materia prima reciclada lo que genera que la cantidad o volumen necesario de agua necesario para la elaboración de un producto sea mucho mayor, otro factor clave para la automatización de la planta de tratamiento fue el crecimiento de producción (Oviedo Moreno, 2017).

A una empresa envasadora de leche se le propuso la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales para que cumpla con las normas ambientales de nuestro país, a través de varias muestras analizaron los diferentes contaminantes y la cantidad existente de cada contaminante en las descargas líquidas de la compañía, para determinar el químico y la dosis necesaria para el tratamiento utilizaron la prueba de jarras, en base a los resultados obtenidos procedieron a la simulación de los procesos de tratamiento, los cuales sirvieron de base para realizar diversas propuestas o alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales para que sean estudiadas por la empresa, cada una de las alternativas propuestas cumple con la norma técnica ambiental (Buenaño, 2015).

El parque Samanes es un área que cuenta con 380 hectáreas aproximadamente en las cuales hay canchas deportivas, flora y fauna. Al contar con una gran cantidad de zonas verdes se propuso que el agua tratada por la planta de tratamiento Los Merinos, ubicada en la ciudad de

Guayaquil sea empleada para el riego de estas zonas ubicadas dentro del parque. Se realizaron pruebas del agua tratada de la planta para comprobar si era apta para su reutilización en el riego de plantas, los resultados obtenidos mostraban que algunos parámetros estaban dentro de los límites permisibles mientras que otros sobrepasaban, ante esto se propuso un tratamiento terciario en la planta de tratamiento con lo cual el agua ya podrá ser utilizada para riego (Ronquillo Abad, 2016).

Se realizó un estudio en el cual se proponen diferentes alternativas para la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones con menos de tres mil habitantes, las alternativas presentadas fueron dimensionadas siguiendo varios parámetros de diseño y ecuaciones. Las diferentes alternativas necesitan un espacio entre 1 a 2.40 hectáreas, a cada una se le elaboro un presupuesto en caso de que sea implementada. Los diseños propuestos una vez tratada el agua la vierten en un cuerpo de agua dulce. El proyecto intenta dar una solución a la implementación de plantas de tratamiento para poblaciones con pocos habitantes debido a que en ocasiones cuando se construye una planta para sectores con pocos habitantes se intenta imitar o reproducir el funcionamiento de plantas de tratamiento que fueron diseñadas para tratar el agua de toda un ciudad (Pallo, 2015).

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito campus Sur (UPS-Q-S), se llevó a cabo un estudio en donde se proponía la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales. Según los investigadores, el área de influencia directa de la UPS-Q-S es un área de poco valor natural por la ausencia de flora y fauna, solo mencionan la existencia de una quebrada como factor indispensable para la implementación de una planta de tratamiento. También, hacen mención a que la planta de tratamiento no puede ser construida dentro de las instalaciones de la UPS-Q-S, ya que abarcaría terreno destinado a otros fines, además, descartan la construcción de un tanque séptico ya que este no eliminaría los materiales pesados. Concluyen que con su sistema planteado, puede ser una guía o servir como método de enseñanza en materias afines a los temas tratados en la investigación o para los estudiantes que tengan algún interés en el tema tratado (Rogel & Gallardo, 2014).

2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que debido a las actividades humanas (domesticas, industriales, municipales, etc.), estas adquieren componentes inorgánicos y orgánicos, que para eliminarlos necesitan pasar a través de un tratamiento los cuales se llevan a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales. Posterior al tratamiento el agua podrá ser vertida en un cuerpo natural de agua o reutilizada en nuestras actividades cotidianas (G. Reyes, 2016).

2.3. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican de la siguiente manera:

Aguas Residuales Domésticas: son las procedentes de zonas residenciales, generadas por actividades del aseo personal, metabolismo humano (heces y orina), labores en la cocina y limpieza del hogar (Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, 1991).

Aguas Residuales Industriales: son aquellas que son vertidas por locales o industrias al sistema de alcantarillado, después de efectuar cualquier actividad o proceso que requiera el empleo del agua, que no sea agua residual domestica ni aguas lluvia. Dependiendo del proceso industrial este tipo de agua residual, puede contener aceites, o elementos tóxicos como plomo, níquel, cobre, etc. (Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, 1991).

Aguas Residuales urbanas: estas pueden ser una mezcla de las aguas residuales provenientes del hogar, industrias y aguas lluvia o aquellas procedentes de actividades de riego y agrícolas tanto en zonas rurales como urbanas (Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, 1991).

En las aguas residuales urbanas hay que considerar que siempre estarán presentes las aguas residuales domésticas. El agua residual proveniente de las industrias dependerá si estas hacen un tratamiento previo a verterlas en la red sanitaria de la ciudad o las vierten sin un tratamiento, en los dos casos hay que considerar que un tratamiento previo disminuirá los contaminantes. Las aguas de escorrentía pluvial solo tendrán incidencia

cuando se registren las lluvias y si es que las precipitaciones son aledañas a las redes de alcantarillado o de saneamiento (Alianza por el Agua, 2014).

2.4. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales poseen características químicas, biológicas y físicas, que son diferentes a otros cuerpos de agua y es necesario conocer para optimizar el proceso de recolección, transporte, tratamiento y disposición final, mitigando los efectos nocivos de posibles descargas al medio ambiente o la reutilización del agua (Cubillos, 1981).

Las aguas residuales están compuestas por agua y sólidos en suspensión y solución que a su vez pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos orgánicos se clasifican en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados como su nombre lo indica poseen nitrógeno, estos son proteínas, aminoácidos, etc. Los sólidos inorgánicos están compuestos de nitrógeno, fosforo, sulfatos y sustancias nocivas como arsénico, cadmio, cromo, plomo, etc. (Portero Pesantes & Amat Marchán, 2017).

2.4.1. Características de las aguas residuales domesticas

El agua residual doméstica, es una mezcla de sustancias químicas, físicas y biológicas (Rogel & Gallardo, 2014).

Esta mezcla de sustancias se observa en la tabla 2.1:

Tabla 2. 1 Componentes de las aguas residuales domesticas

Fuente:(Alianza por el Agua, 2014)

Agua residual proveniente de:	Componentes
Cocina	sólidos, materia orgánica, grasas, sales
Lavadora	detergentes, nutrientes
Baño	jabones, geles, champús
Aguas negras	sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos

Las características o propiedades físicas de las aguas residuales domesticas se describen en la tabla 2.2:

Tabla 2. 2 Propiedades físicas de las aguas residuales domésticas.

Fuente:(Rogel & Gallardo, 2014)

Constituyente	Abreviatura/ Definición	Uso en el tratamiento de aguas	Unidades
Propiedades físicas			
Olor	NUO	Determinar si el olor puede ser un problema	-
Color	Café claro, gris, negro	Estimar la condición del agua residual (fresca o séptica)	Unidades de color
Sólidos totales	ST	Es la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105°C. Determinar la clase de proceso u operación más apropiada para su tratamiento	mg/l
Sólidos suspendidos totales	SST	Determinar la clase de proceso u operación más apropiada para su tratamiento	mg/l
Temperatura	°C o °F	Importante en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento. Un aumento de la temperatura 29 modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases.	°C o °F

Las aguas residuales también estar formados por agentes químicos, estos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos, los cuales son detallados en la tabla 2.3:

Tabla 2. 3 Propiedades químicas de las aguas residuales domésticas.
Fuente:(Rogel & Gallardo, 2014)

Constituyente	Abreviatura/ Definición	Uso en el tratamiento de aguas	Unidades
Propiedades químicas inorgánicas			
Alcalinidad	$\Sigma \text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ 2 +OH-H	Medida de la capacidad amortiguadora del agua residual	-
Cloruros	Cl	Evaluar la posibilidad de ser empleada en el uso agrícola	mg/l
Nitrógeno	N	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual.	mg/l
Fosforo total	PT	Medida de nutrientes.	mg/l
Sulfatos	SO ₄	Estimar la formación potencial de olores	mg/l
Características químicas orgánicas			
Potencial de Hidrogeno	pH	Medida de acidez o basicidad de una solución acuosa	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	DBO ₅	Medida de la cantidad de Oxígeno requerido para estabilizar biológicamente un residuo	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	DQO	Mide la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas	mg/l
Carbono Orgánico Total	COT	Usado con frecuencia como sustituto de la prueba de DBO	mg/l

En cuanto a las propiedades biológicas tenemos a: organismos coliformes los cuales estiman la presencia de agentes patógenos y microorganismos específicos que estiman la presencia de organismos específicos como virus, bacterias, protozoos y helmintos (Rogel & Gallardo, 2014).

2.5. Definición de términos en el estudio de la calidad del agua

En el presente capítulo se definirán los conceptos de carga y flujo de contaminantes los cuales son parámetros a considerar al momento de analizar la calidad del agua. Determinar la calidad del agua es un proceso por el cual se precisa la cantidad de los contaminantes que ingresan en un cuerpo de agua durante periodo de tiempo (Sierra Ramírez, 2011).

2.5.1. Explicación del termino carga contaminante (W)

La Real Academia Española (Rae) define carga contaminante como: “Numero de contaminantes aglutinados en un recurso natural, por ejemplo, agua y atmosfera” (RAE, s/f).

(Sierra Ramírez, 2011) nos afirma que la evacuación de líquidos por lo general se pueden expresar en términos de carga (W) como se muestra en la figura 2.1.

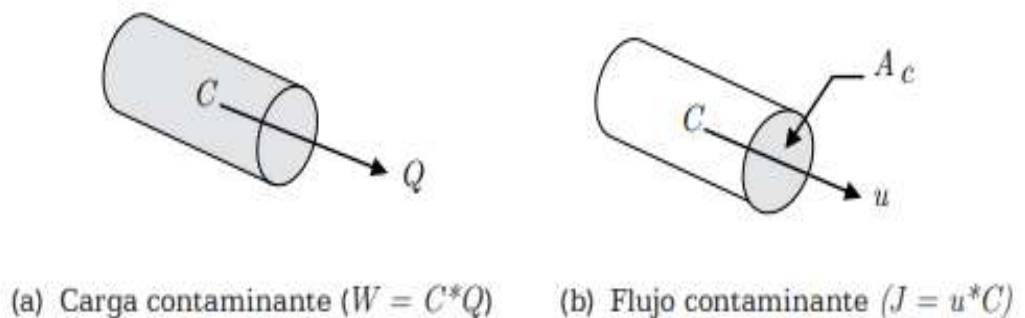


Figura 2. 1 Concepto de carga y flujo contaminante.

Fuente: (Sierra Ramírez, 2011)

$$W = Q * C = Q * \frac{m}{V} \rightarrow W = \frac{m}{t} \quad (1)$$

Dónde:

m= es la masa de un contaminante

Q= el caudal que transporta dicho contaminante

V= es el volumen

t= tiempo

2.5.2. Explicación del termino flujo contaminante (J)

(Sierra Ramírez, 2011) nos asegura que el flujo de un contaminante se emplea para denominar la cantidad de un contaminante en específico cuando este se está moviendo a través de un lugar. El agua residual generada por una vivienda por lo general es transportada por una tubería, el calcular el flujo de un contaminante que pasa a través de esa tubería se lo puede realizar con las siguientes expresiones:

$$J = u * C = u * \frac{m}{V} = \frac{u * m}{X * A_c} = \frac{m}{t} * \frac{1}{A_c} \rightarrow J = \frac{W}{A_c} \quad (2)$$

2.5.3. Conceptos empleados en calidad del agua

Operaciones unitarias, esta es una técnica por la cual se puede cambiar las características del agua empleando un método físico (Sierra Ramírez, 2011).

Procesos unitarios, son cambios a nivel químico en un elemento, este cambio puede producirse al agregarle una sustancia química o un agente biológico. Existe una serie de procesos unitarios que son ampliamente utilizados en la industria, para el tratamiento del agua el proceso unitario se lo denomina como Neutralización (García, 2012).

Agua potable, cuerpo de agua aptas para el consumo del ser humano, estas han pasado a través de un sistema de potabilización, lo cual elimina los microorganismos que puedan causar afectaciones a la salud y que además cumple con los estándares de calidad de agua (Secretaría de Servicios Públicos EPAS, s/f).

Número atómico, los átomos de cada elemento que existe cuenta con un número determinado de protones, los cuales son representados por la letra Z, el número atómico indica la cantidad existente de protones dentro del núcleo de un átomo (Coordinación General de Formación e Innovación Educativa, s/f).

Masa atómica, es la suma de los protones y neutrones existentes en el núcleo de un átomo (Coordinación General de Formación e Innovación Educativa, s/f).

Átomo-gramo, término utilizado cuando la masa total en gramos de un conjunto de átomos es igual a la masa atómica del elemento, esa igualdad de masa total y masa atómica es numéricamente (Sierra Ramírez, 2011).

Mol, es la unidad utilizada para contar los átomos que forman un compuesto, los moles se expresan en gramos (Universidad Nacional Autónoma de México, s/f).

Equivalente gramo, es un término que define que la masa de un compuesto cualquiera al momento en que está reaccionando, dividido para el número de electrones que participan en esa reacción (Sierra Ramírez, 2011).

$$\text{Equivalente - gramo} = \frac{\text{peso molecular del compuesto}}{z} \quad (3)$$

Número de Avogadro, un mol de cualquier sustancia equivale a $6,02 \cdot 10^{23}$, este número o constante se la conoce como número de Avogadro (Universidad Nacional Autónoma de México, s/f).

Concentración, término empleado para expresar o especificar la cantidad de un contaminante en el agua. Las unidades de medida utilizadas son mg, g, lb, cuando medimos el peso del contaminante por unidad de volumen. La concentración se puede expresar de las siguientes maneras:

Tabla 2. 4 Unidades de medida para expresar la concentración de un soluto.
Fuente: (Sierra Ramírez, 2011)

Unidad	Abreviatura	Definición
Miligramos por litro	mg/L	La concentración de cualquier sustancia en el agua se encuentra expresada en estas unidades cuando simplemente se pesa la cantidad de la sustancia que hay en un litro de agua.
Partes por millón	ppm	Esta unidad es análoga a la anterior. La diferencia radica en que en este caso la concentración se

		expresa en unidades de peso/peso. En otras palabras, es peso de soluto dividido en el peso de un litro de agua.
--	--	---

2.6. Tipos de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento del agua residual, es una práctica que se implementó hace mucho tiempo, hoy en día lo que se hace es buscar mejores maneras de tratar el agua, para que esta no contamine si es devuelta a su entorno o que pueda ser reutilizada en diferentes labores. Actualmente existen tres tipos de tratamiento: tratamiento primario, secundario y terciario. En algunos trabajos también se puede encontrar la existencia de un cuarto tratamiento, denominado tratamiento preliminar, a continuación se describirán cada uno de los métodos principales (SPENA GROUP, s/f).

2.6.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar es un sistema el cual está encargado de la separación y eliminación de contaminantes de mayor tamaño, si este no existiese estos contaminantes afectarían los procesos futuros. Entre los materiales de mayor tamaño tenemos a la arena o basura (Pallo, 2015; M. Reyes, 2016).

Entre las opciones de tratamiento preliminar tenemos:

Cribado o canal de rejillas: método empleado para disminuir los sólidos de gran tamaño. Las rejillas del sistema deberán estar separadas a cierta distancia, esta distancia depende del objeto, además la limpieza de las rejillas se puede realizar de forma manual o mecánica. Las rejillas deberán tener aberturas, estas también dependen del tamaño del objeto, para objetos o materiales finos las aberturas pueden ser de hasta 5mm. Para objetos gruesos las aberturas pueden ir desde los 4 hasta los 9cm (Morán Villela, 2014).

Desarenador: procedimiento utilizado para la remoción de sólidos como la arena, cenizas o grava. Este tipo de sólidos si no son eliminados en un

sistema de pretratamiento pueden causar problemas en las siguientes etapas, pueden tapan tuberías debido a que se acumulan. El desarenador es un proceso que utiliza la gravedad para extraer los materiales del agua, generalmente es una caja (Morán Villela, 2014).

Remoción de grasas y aceites: por lo general las aguas residuales provenientes de una vivienda contienen gran cantidad de estos materiales, para removerlos se tiene que hacer un barrido superficial ya que las grasas y aceites se acumulan en la superficie del cuerpo de agua, para el barrido se puede utilizar espuma o natas, al pasar por un vertedero se atrapan y retiran estos materiales del agua que se está tratando (Morán Villela, 2014).

2.6.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como finalidad la eliminación de sólidos gruesos a través de operaciones físicas como es la sedimentación o asistida por coagulantes. En este proceso se puede eliminar alrededor del 60% de sólidos suspendidos, entre el 25% al 40% de la DBO (Pallo, 2015; Portero Pesantes & Amat Marchán, 2017).

Entre los tipos de tratamiento primarios nos encontramos con la sedimentación primaria, precipitación química, filtros gruesos, flotación, oxidación química, reactor anaerobio, floculación y filtración (Portero Pesantes & Amat Marchán, 2017).

En la figura 2.2 se puede observar un tipo de filtro utilizado para la extracción de partículas gruesas (SPENA GROUP, 2016).



Figura 2. 2 Reja de Tambor Rotatoria NTF Nijhuis (Extracción de partículas gruesas)

Fuente:(SPENA GROUP, 2016)

La sedimentación primaria elimina arenas, grasas, aceites, elementos en suspensión, es decir este proceso suprime cualquier sólido suspendido en el agua. Este proceso es capaz de eliminar la mitad de estos sólidos en el agua residual, además la biooxidación es insignificante. Este método es ampliamente utilizado debido a su bajo costo y por ser de fácil manejo (Morán Villela, 2014).

En la figura 2.3 se muestra un reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, este sistema es capaz de separar gases, líquidos y sólidos, mejorando la evacuación del gas. Una gran desventaja de este tipo de tratamiento es que es lento, se tiene que tener un caudal uniforme y controlar continuamente los niveles de pH. En países con climas templados y subtropicales no se emplea mucho este tipo de sistemas debido a que las temperaturas reducen el nivel de eficiencia del tratamiento (Morán Villela, 2014).

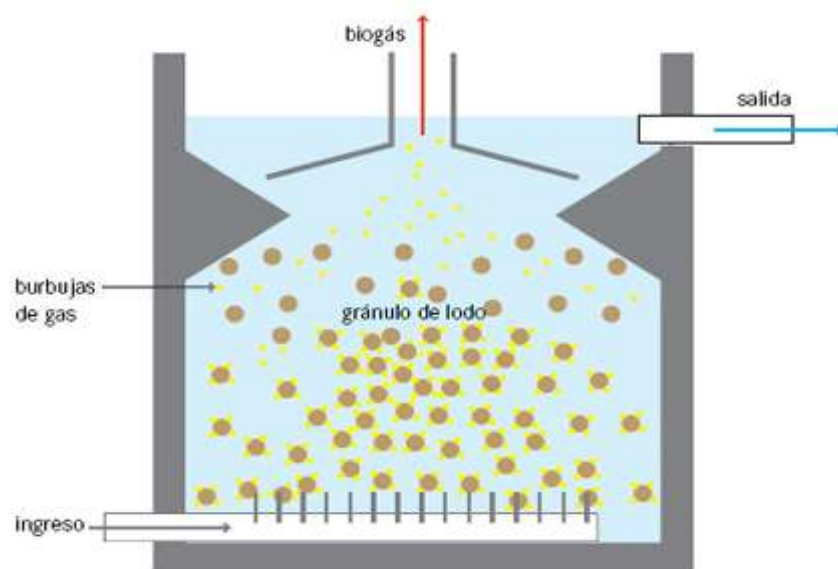


Figura 2. 3 Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB)

Fuente: (Alianza por el Agua, s/f)

2.6.3. Tratamiento secundario

Es la tercera etapa del tratamiento de aguas residuales, después del proceso preliminar y el tratamiento primario. Este tratamiento consiste en la degradación de la materia orgánica que es transportada por el agua residual, para lograr reducir estos elementos se realizan procesos biológicos y químicos, aquí se utiliza microorganismos principalmente bacterias. Las bacterias actúan de tal forma que convierten la materia orgánica en

componentes sedimentables, que pueden ser separados del agua por un decantador. Además el tratamiento secundario puede ser aeróbico o anaeróbico (Pallo, 2015; Portero Pesantes & Amat Marchán, 2017; M. Reyes, 2016).

Los tratamientos secundarios pueden clasificarse en:

- Sistemas con biomasa suspendida
- Sistemas con biomasa fija
- Lodos activados
- Filtros percoladores
- Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización: son una especie de balsas que cuentan con una profundidad de 1 a 4 metros, la profundidad depende del estudio previo realizado y para la función que se le dará a la laguna. En las lagunas de estabilización se realiza la oxigenación del agua residual. Este tipo de lagunas pueden ser empleados para tratamientos primarios, secundarios y terciarios (Morán Villela, 2014).

Otro tipo de tratamiento utilizado en el tratamiento secundario es el filtro anaeróbico, también llamados filtros sumergidos, se realiza un tratamiento a través del crecimiento de una biomasa por adherencia. Durante el proceso de tratamiento este filtro se encuentra sumergido en el agua residual, lo cual crea las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento, este correcto funcionamiento solo fallaría si en el agua residual existiese una gran cantidad de sólidos en suspensión lo cual taponaría el filtro (Morán Villela, 2014).

2.6.4. Tratamiento terciario

La última etapa en el tratamiento de aguas residuales, tiene como objetivo eliminar las últimas impurezas que persisten en el agua después del tratamiento secundario, el agua después de esta etapa ya debe contar con la calidad necesaria para regresarla a su entorno o reutilizarla. Existe una gran variedad de tratamientos que pueden ser empleados en esta etapa como; desinfección con cloro, floculación, uso de rayos UV, etc. (Pallo, 2015; Portero Pesantes & Amat Marchán, 2017).

2.7. Marco legal

En el presente subcapítulo se hará mención a la parte legal de la República del Ecuador, sobre el cuidado del medio ambiente y sobre todo del agua.

2.7.1. Constitución de la República del Ecuador

La constitución de la República del Ecuador está dividida en varios capítulos, cada uno de estos posee diferentes secciones, los artículos importantes a tener en cuenta para el desarrollo del presente trabajo son mencionados a continuación:

- Artículo 12 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El artículo 12 trata sobre el derecho que tiene el ser humano al acceso al agua como un elemento esencial para la vida.

- Artículo 14 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El estado ecuatoriano reconoce el derecho a sus habitantes a vivir en un ambiente sano, es importante la conservación de los ecosistemas y sobre todo la prevención del daño ambiental.

- Artículo 66 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El artículo 66 está conformado por varios incisos, el artículo como tal garantiza varias cosas a los ciudadanos, entre ellos el acceso al agua potable.

- Artículo 72 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

Ecuador es uno de los países que reconocen a la naturaleza como sujeto de derecho, esto es mencionado entre los artículos 71-74, en el caso del art. 72 se le reconoce a la naturaleza el derecho a su restauración, además el estado buscara los métodos más eficientes para alcanzar dicha restauración.

- Artículo 83 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El art. 83 también cuenta con varios incisos, el sexto de ellos, menciona que hay que respetar los derechos de la naturaleza, además de que hay que utilizar los recursos renovables de forma racional.

- Artículo 264 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

En este artículo se hace mención a las competencias que tendrán los gobiernos municipales, en el inciso 4, habla sobre los servicios que estos gobiernos deben dar a los ciudadanos, entre ellos destacan: los servicios de agua potable, alcantarillado, depuración de agua residuales, etc.

- Artículo 396 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El estado adoptara las políticas necesarias para evitar daños ambientales, además los actores de diferentes actividades asumirán la responsabilidad de prevenir cualquier daño ambiental, y en caso de haber causado algún daño será el responsable de repararlo.

- Artículo 411 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

El estado regulara cualquier actividad que pueda afectar la calidad y cantidad del agua.

- Artículo 415 (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

Los gobiernos autónomos implementaran programas para el uso eficiente del agua y tratamiento adecuado de desechos líquidos.

2.7.2. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

Art. 1 (Ministerio del Ambiente, 2003).

Inciso 1: El pueblo ecuatoriano deberá minimizar los riesgos e impactos negativos al medio ambiente.

Inciso 15: El estado ecuatoriano deberá atender a diversos casos que involucren la gestión ambiental del país, un tema prioritario a dar solución es la contaminación del agua.

Art. 53. (Ministerio del Ambiente, 2003).

A las competencias locales y regionales les corresponde realizar o establecer tasas por vertidos para la prevención y control de la contaminación.

Tabla 2. 5 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Fuente: (Buenaño, 2015)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100

Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de Alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2

2.7.3. Ley de gestión ambiental

- Art. 4 (Ministerio del Ambiente, 2004b).

Los reglamentos, instructivos, etc. Deberán estar pendientes de las siguientes etapas: desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos.

- Art. 8 (Ministerio del Ambiente, 2004b).

La autoridad ambiental nacional será ejercida por el Ministerio del Ramo, este aplicara las políticas ambientales dictadas por el Presidente de la República.

- Art. 9 (Ministerio del Ambiente, 2004b).

El Ministerio del ramo tiene varias tareas que debe cumplir, entre ellos tenemos:

b) Proponer normas de manejo ambiental y evaluación de impactos ambientales.

c) Aprobar anualmente la lista de planes, actividades, etc. Para la gestión medioambiental nacional.

d) Coordinar a los organismos competentes para expedir y aplicar normas de protección ambiental

- Art. 19 (Ministerio del Ambiente, 2004b).

Todo tipo de proyecto sea público o privado que puedan causar impactos medio ambientales, serán calificados previamente por lo organismos de control.

- Art. 35 (Ministerio del Ambiente, 2004b).

El estado establecerá incentivos económicos para las actividades que se enfoquen en la protección del medio ambiente y el correcto manejo de los recursos naturales.

2.7.4. Ley orgánica de la salud

- Art. 4 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

La autoridad sanitaria nacional es el Ministerio de Salud Pública, esta será la responsable del control y vigilancia del cumplimiento de leyes y normas vigentes.

- Art. 5 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

El Ministerio de Salud Pública creara los diferentes mecanismos que regularan los recursos destinados a la salud y cuyo beneficiario sea el estado ecuatoriano.

- Art. 6 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

El ministerio de Salud Pública es responsable de:

11. Determinar zonas de alerta sanitaria

15. Informar a la población las actividades concernientes a la calidad del agua.

- Art. 7 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

Toda persona en relación a la salud tiene los siguientes derechos:

c) Vivir en un ambiente sano.

- Art. 103 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

Se prohíbe a toda persona el vertimiento de aguas servidas y residuales sin ningún tratamiento previo a ríos, mares, canales y otros sitios similares. También se prohíbe su uso para la cría de animales o actividades agropecuarias.

- Art. 104 (Ministerio de Salud Pública, 2006).

Todo establecimiento (industrial, comercial o de servicios) deberá contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales y según sea el caso de residuos tóxicos provenientes de la actividad realizada.

2.7.5. Ley de aguas

- Artículo 2. Ámbito de aplicación (Secretaría del Agua, 2014).

La presente ley regirá todo el territorio nacional, toda persona nacional o extranjera estará sujeta a esta norma.

- Artículo 4. Principios de Ley (Secretaría del Agua, 2014).

b) El agua es un recurso que debe ser preservado y protegido mediante una gestión sostenible y sustentable.

- Artículo 79. Objetivos de prevención y conservación del agua (Secretaría del Agua, 2014).

b) Preservar el agua y mejorar su calidad.

d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua.

e) Prohibir y sancionar la contaminación del agua.

- Artículo 112. Devolución de las aguas (Secretaría del Agua, 2014).

Las aguas aprovechadas para la actividad minera deberán ser devueltas a su cauce original o al cauce más adecuado, antes de devolverlas deberá existir un tratamiento previo para evitar la contaminación de fuentes de agua para el consumo humano.

2.7.6. Ley reformativa al código penal

- Artículo 437 A (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

De dos a cuatro años de prisión a quien, en casos fuera de la ley, produzca, introduzca o tenga posesión de desechos tóxicos, sustancias radioactivas u otras similares que puedan afectar la salud humana o degraden y contaminen el medio ambiente.

- Artículo 437 B (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

De uno a tres años de prisión a quien infrinja las normas de protección ambiental, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, que puedan afectar flora, fauna, recursos hídricos o la biodiversidad.

- Artículo 437 C (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

Se fijara una pena de 3 a 5 años cuando:

- a) Los actos causen daño a la salud de personas o a sus bienes.
- b) Los actos tengan carácter irreversible.
- c) Las actividades sean echas clandestinamente por el autor.
- d) Los actos contaminantes afecten gravemente recursos naturales necesarios para la actividad económica.

- Artículo 437 D (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

Si en consecuencia de la actividad contaminante provoca la muerte de una persona, se aplicara la pena de homicidio inintencional.

- Artículo 437 E (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

Se aplicara pena de 1 a 3 de prisión a quien autorice o permita que se viertan residuos contaminantes de cualquier clase por encima de los límites permitidos por ley.

- Artículo 437 k (Ministerio de Defensa de Ecuador, 2009).

El juez podrá ordenar la suspensión de la actividad que este contaminando, así como la clausura del lugar.

2.7.7. Ley de prevención y control de contaminación

- Artículo 6 (Ministerio del Ambiente, 2004a).

Queda prohibido descargar al entorno aguas residuales que contengan contaminantes nocivos para la salud humana, flora, fauna, etc.

- Artículo 8 (Ministerio del Ambiente, 2004a).

Los Ministerios del Ambiente y Salud, fijaran el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en un cuerpo receptor.

- Artículo 9 (Ministerio del Ambiente, 2004a).

Los Ministerios del Ambiente y Salud están facultados de supervisar la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, así como su operación y mantenimiento.

2.8. Sistemas embebidos

Un sistema embebido es una tarjeta que combina hardware y software, diseñado para realizar trabajos en tiempo real, tienen características o capacidades de un computador, pero a diferencia de un computador es que estos son de bajo costo y tiene un limitado nivel de procesamiento. A nivel industrial su utilización es limitada, pero son perfectos para: la parte didáctica en colegios y universidades y experimentar proyectos a escala que simulen procesos industriales (Guerrero Aguirre & Ramos Giraldo, 2014; Vega et al., 2018).

En el mercado existe una gran variedad de tarjetas embebidas, a continuación describiremos las más utilizadas:

2.8.1. Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto, que integra hardware y software. Cuenta con una serie de placas electrónicas basadas en un microcontrolador, poseen pines de entrada/salida (E/S) donde se pueden leer datos o enviar una señal para activar algún dispositivo conectado a la tarjeta. Para programar cualquier tarjeta Arduino se tiene que descargar el software Arduino IDE disponible en su página oficial (Arduino, s/f-c).

Arduino fue creada en el Instituto de Diseño de Interacción Ivrea, dirigida hacia estudiantes que no tuvieran experiencia en programación y electrónica, pero debido a que es una herramienta muy fácil de utilizar, esta se fue adaptando a nuevas necesidades, a tal punto que puede emplearse para aplicaciones IoT, dispositivos portátiles, impresión 3D (Arduino, s/f-c).

Arduino cuenta con una gran variedad de productos, en su página oficial separan a las tarjetas embebidas varios grupos, el nivel de entrada, las tarjetas con características mejoradas y tarjetas diseñadas para el IoT (Arduino, s/f-d).

- Arduino Uno

La tarjeta Arduino Uno está basada en el microcontrolador Atmega 328P, tiene 14 pines de E/S, de los cuales seis se pueden usar como salidas PWM. Esta placa es la primera de la serie de placas USB Arduino, y el nombre de la placa es para conmemorar el lanzamiento del Software Arduino IDE (Arduino, s/f-b).



Figura 2. 4 Arduino Uno.

Fuente:(Arduino, s/f-b)

En la tabla 2.6 se muestra las especificaciones técnicas de la placa Arduino Uno.

Tabla 2. 6 Especificaciones técnicas de la placa Arduino Uno.

Fuente: (Arduino, s/f-b)

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Digital E/S	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital E/S	6
Pines de salida analógicos	6
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

- Arduino Mega 2560

Esta tarjeta embebida está diseñada para proyectos más complejos como: robótica, impresoras 3D, ya que sus especificaciones técnicas son mejores en comparación a la placa de Arduino Uno (Arduino, s/f-a).



Figura 2. 5 Arduino Mega 2560.

Fuente: (Arduino, s/f-a)

En la tabla 2.7 se muestra las características más importantes de la placa de Arduino Mega 2560.

Tabla 2. 7 Especificaciones técnicas de la placa Arduino Mega 2560.

Fuente: (Arduino, s/f-a)

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Digital E/S	54 (of which 15 provide PWM output)
Pines de entrada analógicos	16
Memoria Flash	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13

2.8.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi es una placa basada en un microcontrolador desarrollada para ser empleada en diferentes situaciones debido a su flexibilidad. Al igual

que Arduino, Raspberry Pi es una muy buena herramienta para el aprendizaje. La placa posee conectores USB, Ethernet, salida de video HDMI, etc. (Valera et al., 2014).

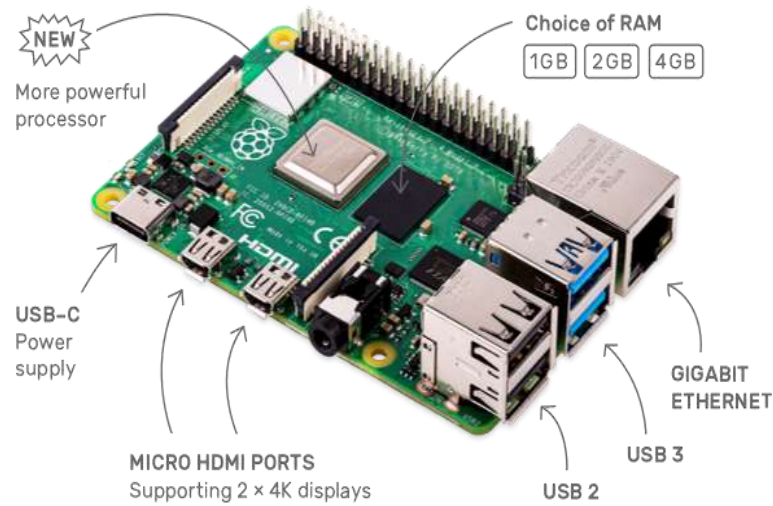


Figura 2. 6 Tarjeta Raspberry Pi 4.

Fuente: (Raspberry Pi, s/f-b)

Las características principales de la Raspberry Pi 4 Model B se muestran en la tabla 2.8:

Tabla 2. 8 Especificaciones técnicas de la placa Raspberry Pi 4 Model B.

Fuente: (Raspberry Pi, s/f-b)

Raspberry Pi 4 Model B	
Procesador	ARM Cortex-A72
Conectividad	Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet
Puertos	GPIO 40 pines 2 x micro HDMI 2 x USB 2.0 2 x USB 3.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla táctil) Micro SD Conector de audio jack USB-C (alimentación)
Memoria	1GB - 2GB - 4GB LPDDR4-3200 SDRAM (depending on model)
Lenguajes de programación	Cualquiera

Otra alternativa que ofrece Raspberry, pero menos potente que la placa anterior, es la Raspberry Pi 3 Model B+, esta forma parte de la tercera generación de las placas ofrecidas por Raspberry. Las características principales de la Raspberry Pi 3 Model B+ se muestran en la tabla 2.9:

Tabla 2. 9 Especificaciones técnicas de la placa Raspberry Pi 4 Model B.

Fuente: (Raspberry Pi, s/f-a)

Raspberry Pi 3 Model B+	
Procesador	ARM Cortex-A53
Conectividad	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE
Puertos	GPIO 40 pines 2 x HDMI x USB 2.0 4 x CSI camera port x DSI (pantalla táctil) x Micro SD x Conector de audio jack USB-C (alimentación)
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Lenguajes de programación	Cualquiera

2.8.3. BeagleBoard

BeagleBoard es una corporación que promueve la educación en torno al empleo de hardware y software de código abierto. Posee una comunidad extensa que participa en dar soluciones a problemas de robótica, construcción de impresoras 3D, cortadoras laser, etc. Las placas están basadas en procesadores de Texas Instruments (BeagleBoard, s/f-a).

BeagleBoard cuenta con diversas placas, de las cuales se destaca la BeagleBone Black la cual está basada en Linux al igual que el resto de placas que ofrece BeagleBoard, además cuenta con soporte para Android, Ubuntu, Debian, etc. El procesador es el AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8, tiene 512MB DDR3 RAM, cuenta con un acelerador de gráficos 3D, así como puertos HDMI o Ethernet (BeagleBoard, s/f-b).



Figura 2. 7 Placa BeagleBone Black.

Fuente: (BeagleBoard, s/f-b)

Las características principales de la Placa BeagleBone Black se muestran en la tabla 2.10:

Tabla 2. 10 Especificaciones técnicas de la placa BeagleBone Black.

Fuente: (Valera et al., 2014)

BeagleBone Black	
Procesador	AM335x ARM® Cortex-A8
Velocidad del procesador	1GHz
Pins analógicos	7
Pins digitales	65 GPIO (8 PWM)
Memoria	512MB RAM
Lenguajes de programación	Cualquiera

2.8.4. Odroid

Las placas Odroid son la solución propuesta por HardKernel, para la implementación de aplicaciones a través de una placa extremadamente eficiente y potente (Fernandes & Bala, 2016).

HardKernel posee diversas opciones entre las cuales elegir, una de ellas es la Odroid - XU4Q, la cual está impulsada por la tecnología ARM. Estas placas son de código abierto y soportan diferentes sistemas operativos como Linux o Android (HardKernel, s/f-b).



Figura 2. 8 Odroid-XU4Q.

Fuente:(HardKernel, s/f-b)

Las características principales de la Placa Odroid-XU4Q se muestran en la tabla 2.11:

Tabla 2. 11 Especificaciones técnicas de la Odroid-XU4Q.

Fuente: (HardKernel, s/f-b)

Procesador	Samsung Exynos5422 ARM® Cortex™-A15 Quad 2.0GHz/Cortex™-A7 Quad 1.4GHz
Memoria	2Gbyte LPDDR3 RAM PoP (750Mhz, 12GB/s memory bandwidth, 2x32bit bus)
Audio	HDMI Digital audio output. Optional USB sound card
USB3.0 Host	SuperSpeed USB standard A type connector x 2 port
USB2.0 Host	HighSpeed USB standard A type connector x 1 port
Display	HDMI 1.4a with a Type-A connector
Fast Ethernet LAN	10/100/1000Mbps Ethernet with RJ-45 Jack (Auto-MDIX support)

Otra opción, más potente pero menos económica es la Odroid-H2, la cual se muestra en la figura 2.9, cuenta con un procesador Intel quad-core de 14 nanómetros, puede alcanzar un máximo de 32GB de RAM, posee dos puertos Gbit Ethernet, Intel UHD graphics 600, puertos HDMI 2.0 (HardKernel, s/f-a).



Figura 2. 9 Odroid-H2.

Fuente: (HardKernel, s/f-a)

2.9. SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) son ampliamente utilizados en la industria, esto debido a que se puede supervisar y controlar variables dentro de un proceso industrial por medio de una interfaz que realiza la comunicación operador-sistema, el sistema a controlar puede ser local o remoto. Para lograr dicha comunicación existen diversos instrumentos, actuadores, protocolos de comunicación, etc. Los sistemas SCADA por medio de un HMI se pueden localizar alarmas, mediante la pantalla solucionar el inconveniente que existiese en el proceso (Pérez-López, 2015).

Un sistema SCADA cuenta con las siguientes características:

- Obtención y guardado de datos generados por el proceso controlado.
- Representación gráfica del proceso.
- Realizar cambios para modificar el proceso.
- Arquitectura libre y flexible que cuenta con la capacidad de ampliación.
- Intercambio de datos con dispositivos de campo y otros PC.
- Generación de alarmas.

2.9.1. Siemens

La empresa Siemens cuenta con su entorno de trabajo denominado Simatic SCADA Systems. Desde Siemens se le da una gran importancia a la administración y almacenado de los datos que son generados hoy en día por todas las industrias, de igual manera se considera vital el monitoreo y control confiable, eficiente y productivo de los procesos industriales, además estos se deben optimizar constantemente (SIEMENS, s/f-a).

El software empleado para realizar un sistema SCADA es el WinCC Professional el cual está integrado en el TIA Portal. El operador podrá realizar la visualización y el control de procesos, flujos de producción, máquinas y plantas e todos los sectores, desde su estación simple de un usuario hasta los sistemas distribuidos de múltiples usuarios. La funcionalidad de este SCADA puede ser ampliada mediante el uso de opciones para WinCC RT Professional, opciones SCADA o complementos de WinCC (SIEMENS, s/f-a).



Figura 2. 10: SIMATIC WinCC (TIA Portal)

Fuente: (SIEMENS, s/f-b)

2.9.2. Wonderware

Wonderware posee a su disposición una solución SCADA para la supervisión de procesos en tiempo real, además de un excelente entorno para la gestión de operaciones. Wonderware System Platform es capaz de ofrecer una mejora hasta el 40% en la eficiencia. Esta plataforma soporta funciones de supervisión, SCADA, MES, IIoT (Wonderware, s/f-a).

Cuenta con varios factores que destacan la sencillez de la plataforma, ya que facilita las etapas de desarrollo e ingeniería, maximiza la agilidad operativa del proceso, cumple con el cumplimiento de normas y estándares además ofrece una mejora continua del proceso (Wonderware, s/f-a).



Figura 2. 11: Vista de la información basada en Model-driven
Fuente: (Wonderware, s/f-b)

2.9.3. Ignition SCADA Software

Ignition SCADA desarrollado por Inductive Automation posee un modelo de licencia ilimitada, con implementación en la web, además de contener un conjunto de herramientas óptimas para la industria, capaces de realizar el control, supervisión y adquisición de datos, en una plataforma de libre acceso y escalable (Inductive Automation, s/f).

El sistema desarrollado viene con herramientas como OPC UA ya incorporado para su posterior conexión con cualquier PLC, además cuenta con la capacidad de conectarse a cualquier base de datos basada en SQL. Además Ignition puede convertir los datos obtenidos de la base de datos en un historiador de tipo industrial con altas prestaciones y con la capacidad de conectarse a dispositivos IIOT por medio de MQTT (Inductive Automation, s/f).

Otra herramienta integrada es Ignition Designer el cual funciona en cualquier sistema operativo (Inductive Automation, s/f).



Figura 2. 12 Visualización en tiempo real de los parámetros de la planta.

Fuente:(Inductive Automation, s/f)

2.10. Sensores

Un sensor es un dispositivo de entrada el cual provee una salida manipulable de la variable física que se está midiendo. Dicho de otra forma un sensor es un intermediario entre la variable y el sistema de medición. Los sensores de la actualidad entregan señales eléctricas en la salida (Ramírez et al., 2014).

Los sensores pueden clasificarse de diferentes maneras, entre la más comunes son por el tipo de variable que se mide y por el principio de transducción utilizado (Ramírez et al., 2014).

Tabla 2. 12 Clasificación de los sensores según la variable física a medir.

Fuente: (Ramírez et al., 2014)

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz, visión
	De gas y pH
	Biométricos
De corriente	

2.10.1. Sensor pH

El sensor de pH es un instrumento de medición capaz de medir la acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua. El rango del pH va desde 0 al 14.

Una forma de medir el valor del pH es a través de electrodos de pH, estos son ampliamente utilizados en diferentes sectores industriales donde se necesite un control continuo del pH. Debido a que pueden ser empleados en multitud de aplicaciones por lo general se necesitan varios de estos electrodos de pH de diferentes características. Para elegir correctamente los electrodos de pH hay que considerar varios factores, uno de ellos es el grado de suciedad que existe en el ambiente en el que va a ser aplicado.

La figura a continuación muestra un electrodo de pH que puede ser implementado en el tratamiento de aguas residuales, su rango de medición va del 0 al 14 pH, la presión máxima que soporta es de 6 bares y trabaja en un rango de temperatura comprendido entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (PCE Instruments, s/f).



Figura 2. 13: Electrodo HI1001.

Fuente:(PCE Instruments, s/f)

Otro método muy utilizado para la medición del pH es el empleo de un sensor electroquímico de pH. Un sensor de pH combinado es un tipo de sensor electroquímico que cuenta con un electrodo para medir y un electrodo de referencia. La función del electrodo de medición es detectar cualquier cambio en el valor del pH, mientras que el electrodo de referencia como su nombre lo indica proporciona una señal para la comparación. El sensor utiliza un dispositivo de alta impedancia, el cual se lo conoce como medidor de pH, esto sirve para mostrar la señal de mili voltios en unidades de pH (Sensorex, s/f).



Figura 2. 14: Sensores de pH/ORP 3/4 en combinación

Fuente: (*Sensores de pH/ORP 3/4 en combinación | Hach Chile—Aspectos Generales | Hach, s/f*)

2.10.2. Sensor cloro

Existen varios tipos de sensores de cloro, entre ellos tenemos los sensores de: cloro libre, dióxido de cloro y cloro total. Estos se miden para la monitorización y control de la desinfección del agua para consumo, agua reutilizada y agua de piscinas.

Para realizar la medición del cloro en plantas de tratamiento de aguas residuales se emplean los sensores de cloro total, los cuales miden el estado de desinfección de las aguas efluentes (Endress+Hauser, s/f-b).



Figura 2. 15: Sensor digital de cloro total Memosens CCS120D

Fuente: (Endress+Hauser, s/f-a)

El sensor de cloro Cl_2 , es un sensor amperométrico de cloro libre, que fue diseñado con la finalidad de medir el cloro inorgánico en el agua, por la forma en que fue diseñado es de fácil instalación y mantenimiento, el pH para su correcto funcionamiento debe estar entre 6.5 y 9 y no puede existir una presión superior a los 6 bar, cuenta con protección IP68. Cuenta con cuatro pines de conexión, el primero es el electrodo de trabajo, el segundo es el contra electrodo, el tercero es el electrodo de referencia y el cuarto pin es el que va a tierra (ITC Dosing Pumps, s/f).



Figura 2. 16: Sensor Cl_2

Fuente: (ITC Dosing Pumps, s/f)

2.10.3. Sensor sólidos suspendidos

Otro aspecto importante en el control de la calidad del agua residual, es la medición de la turbidez. Para medir esta variable en el tratamiento de aguas residuales se emplean sensores de sólidos en suspensión. Este tipo de sensores utilizan el principio de medición de luz dispersa. El sensor está provisto de una lámpara LED, además de poseer dos detectores. La turbidez se determina a partir de la cantidad de luz dispersa por el LED que reciben los detectores (Endress+Hauser, s/f-d).



Figura 2. 17: Sensor Memosens para sólidos en suspensión y medición de la turbidez en aguas residuales.

Fuente: (Endress+Hauser, s/f-c)

Estos sensores trabajan en el rango de luz infrarroja, los sensores de ss emplean la retro dispersión que mejora la medición en condiciones más extremas, diseñados para una larga vida útil con poco mantenimiento. Además existen sensores de sólidos en suspensión que ya cuentan con un monitor que te arroja los valores medidos en tiempo real como “El monitor de sustancias en suspensión Modelo Q46/88” (Mejoras energéticas, s/f).



Figura 2. 18: Monitor de sustancias en suspensión Modelo Q46/88.

Fuente: (Mejoras energéticas, s/f)

Capítulo 3: Diseño de la Planta de tratamiento de Aguas residuales

3.1. Consideraciones iniciales

Para seleccionar un tratamiento o implementar una combinación de varios tratamientos se deben considerar ciertos factores como:

- Características del agua.
- Calidad del agua tratada.
- Espacio necesario.

También se debe considerar factores como, la cantidad de personas al cual se le brindara el servicio, además de factores estadísticos sobre el consumo del agua per cápita.

Un tema importante a tomar en cuenta dentro las consideraciones iniciales es la huella de carbono, la cual es una medida de emisiones de CO₂ y otros gases, los cuales son generados por el ser humano y sus actividades cotidianas. El estudio de la huella de carbono nos permite tener información de donde se originan las principales emisiones de efecto invernadero y ante esto poder implementar medidas realistas para reducir dichas emisiones (Vidal, s/f).

En Ecuador las emisiones de CO₂ durante el año 2018 rodean las 45.000 kilo toneladas, lo que ubica al Ecuador en el puesto 121 en un ranking de 184 países, el orden de la lista va de los menos contaminantes a los más contaminantes (Datosmacro, s/f).

Otros conceptos importantes son el agua virtual y la huella hídrica, estos permiten cuantificar el empleo del agua destinado para las actividades humanas (Fernández, 2017).

El agua virtual, es la cantidad de agua necesaria para producir un alimento, o producto que satisfaga las necesidades de los humanos, por ejemplo en el caso de la elaboración de alimentos, para producir un kilo de trigo es necesario el uso de 1000 litros de agua, 1 kilo de carne se necesitaría una cantidad de 15000 litros de agua aproximadamente (Fernández, 2017).

Teniendo en cuenta la cantidad de agua necesaria para procesar la carne, en una cena de 4 personas se consumiría un equivalente a 60000

litros de agua, cantidad que es equivalente al agua consumida por 50 personas en un año (Espacio Sustentable, s/f).

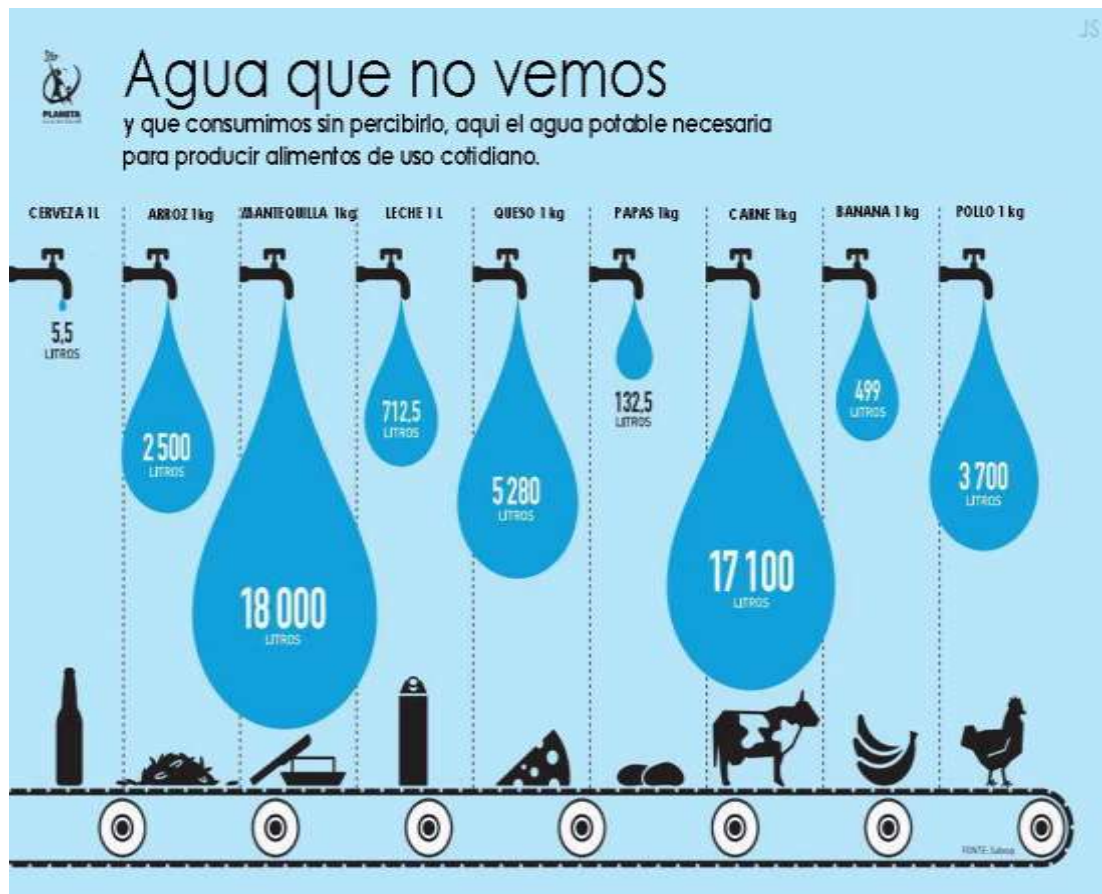


Figura 3. 1 Agua necesaria para la producción de alimentos.

Fuente: (Espacio Sustentable, s/f)

Por otro lado huella hídrica es la cantidad de agua dulce consumida por el ser humano (Espacio Sustentable, s/f).

Pero no solo en la industria alimentaria existe un consumo excesivo del agua, para el confeccionado de la ropa también existe un mal empleo del agua potable, por ejemplo los pantalones de uso diario (jeans) es necesario el empleo de 3000 litros de agua para solo un pantalón, 1500 litros para las camisas y alrededor de los 1000 litros de agua para los interiores (López, 2018).

Un par de zapatos de cuero necesita 8000 litros de agua para su producción, camisas de algodón alrededor de 4100 litros de agua por camisa.

En la figura a continuación se muestran más productos y la cantidad de agua promedio necesaria para su producción.

PRODUCTO	AGUA USADA PARA LA PRODUCCIÓN (litros)
1 Kg algodón	10.000
1 Kg Azúcar	8.000
1 Kg Arroz	4.500
1 Kg mantequilla	4.000
1 Kg Trigo	1.500
1 Huevo	1.000
Botella Agua Mineral	1.000
1 Pan (800g)	220
1 Litro de Leche	140
1 kg de Fresas	140
1 Kg de Pepinos	15
1 litro de Cerveza	10-16
Metal para 1 coche	450.000
4 neumáticos	760.000
1 Kg de carne de vacuno	13.000
1 Kg de Pollo	3.920
1 camiseta de algodón	2.700
1 Kg de papel	2.000
1 taza de café	140
1 gramo de oro	230
1 tomate	13
1 papa	25
1 copa de vino	120
1 vaso de leche	200
1 naranja	50

Figura 3. 2 Agua utilizada para la producción de uso cotidiano.

Fuente: (Aguas Industriales, 2014)

Según un artículo redactado por Isabel Alarcón para el diario El Comercio, un ecuatoriano gasta en promedio 249 litros de agua al día, cifra que es mayor a la recomendada por la Organización Mundial de la Salud (Alarcón, 2018).

En el Ecuador el 82.6% del consumo del agua está destinado para el consumo agrícola, un 8% para su empleo en industrias y algo más del 9% para su uso doméstico. Dentro del agua destinada para la agricultura, se pierde en promedio un 25% de agua potable debido a fallos en tuberías (Muñoz, 2019).

El diario “Expreso” presento un artículo titulado “El 53 % del agua de riego en Guayas está contaminada”, y es que según un estudio desarrollado por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), el 53% aguas empleadas en el sector agrícola no cumplen las normas de calidad establecidas (Toranzos, 2019).

En la tabla 3.1 se muestra algunos de los parámetros que se deben medir en el agua y su límite máximo permisible para el uso agrícola.

Tabla 3. 1 Límite máximo permisible de algunos parámetros del agua para empleo agrícola.

Fuente:(Secretaria Nacional del Agua, 2011)

Parámetro	LMP Uso agrícola
Cloro	5 mg/L
pH	Entre 6 a 9
Aceites y grasas	0,3
Aluminio	5
Hierro	5
Coliformes totales	1000
Organoclorados Total	0,2

El último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), muestra que la población de Guayaquil es de 2.350.915 (INEC, s/f).

Además el INEC afirma que el 80% de las empresas dentro del territorio ecuatoriano no invierten dinero en temas de protección ambiental y no cuentan con un estudio que indique que efectos causan al medio ambiente sus actividades (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2011).

Esto quiere decir que la ciudad de Guayaquil en promedio gasta 585.377.835 litros de agua por día. La FETD-UCSG, la cual cuenta con 7 carreras universitarias, que en promedio cada una tiene 100 alumnos, es

decir alrededor de 700 personas, eso al aumentarle los docentes, secretarías, personal de limpieza y seguridad, la población de la FETD-UCSG rodaría las 800 personas, se podría considerar que la FETD-UCSG contaminaría 199200 litros de agua por día, pero al ser un centro de estudios universitario que además cuenta con varios sectores fuera de la FETD con servicios sanitarios, la cantidad de agua contaminada dentro de la FETD no puede ser medida con exactitud.

3.2. Descripción del sistema

La planta de tratamiento de aguas residuales propuesta en esta tesis, cuenta con una etapa de pretratamiento que está separada de los tres tipos de tratamiento que serán utilizados para descontaminar el agua. Esta etapa de pretratamiento es un módulo de separación de grasas y sólidos la cual cuenta con una rejilla para evitar el paso de sólidos de gran tamaño, la función del módulo es evitar que las natas y lodos no avancen a las siguientes etapas de tratamiento, así evitando que no se tapen los tubos ni se dañen los equipos de las siguientes etapas. La limpieza de este módulo deberá ser realizada manualmente levantando la tapa que lo recubre. Una tubería conectará el módulo de pretratamiento con el núcleo de la planta. La planta de tratamiento estará dividida en 4 secciones en las cuales se realizarán los tres tipos de tratamiento principales. El tratamiento primario se llevará a cabo mediante un filtro percolador anaerobio en el cual se realiza un proceso de degradación biológica por medio de bacterias anaerobias. El agua pasa al segundo compartimento a través de una tubería que los interconecta. El tratamiento secundario realizado en esta segunda zona, se basa en una cámara aerobia de lodos activados con lecho fluidizado en donde se completa la biodegradación por oxígeno disuelto, esta etapa cuenta con aireadores en el fondo y rosetas que ayudan a la eliminación de malos olores y contaminantes. El agua pasa a la última etapa de tratamiento, la cual es una cámara de decantación secundaria, en esta se usa un panel lamelar para evitar el paso de los sólidos en suspensión más pequeños. El agua ya clarificada pasa a la última etapa, en este nuevo módulo el agua pasará a través de un hipoclorador de tabletas, con el fin de desinfectar el agua.

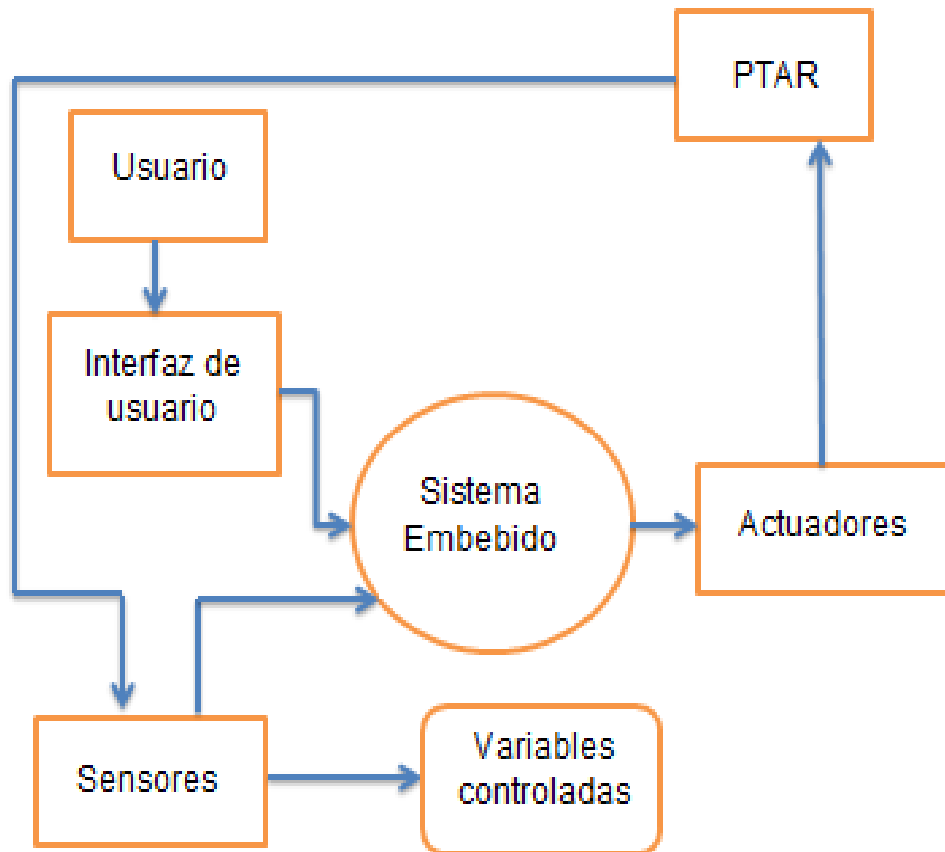


Figura 3. 3: Descripción del sistema de monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Elaborado por: Autor.

En esta última etapa se encontrarán los sensores de pH, cloro y de sólidos en suspensión, los cuales analizarán dichas variables, estas serán comparadas en el código que se cargó en el sistema embebido para comprobar si el agua tratada cumple con los requisitos mínimos para ser reutilizada en el riego de zonas verdes y reabastecimiento de baterías sanitarias de la FEDT. Este módulo tendrá dos salidas que estarán controladas por electroválvulas que estarán cerradas hasta que el sistema embebido les envíe una señal para que se abra alguna de las 2. En caso de que los valores estén dentro de los rangos el sistema embebido enviará una señal a la electroválvula 1 para que el agua pase a ser almacenada en un tanque o cisterna. Caso contrario, el embebido enviará una señal a la electroválvula 2, la cual hará circular el agua por un filtro UV, el cual eliminará cualquier contaminante restante del agua, después el agua pasará a ser almacenada en el tanque o cisterna. La conexión del sistema embebido con los elementos de la planta se los realizará de acuerdo a la siguiente figura.

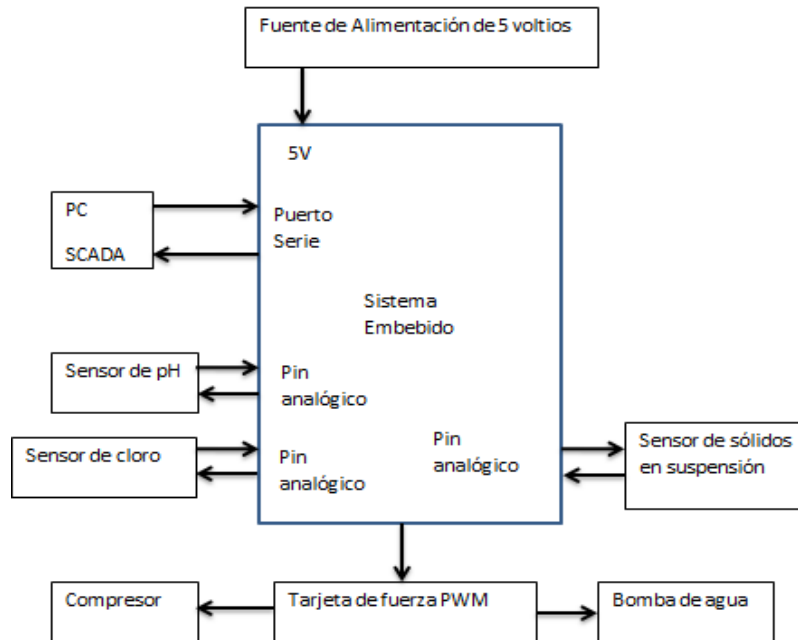
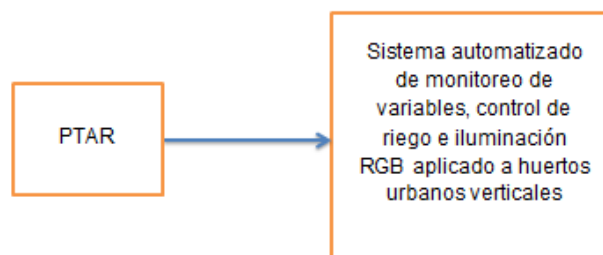


Figura 3. 4: Propuesta del diagrama de conexión del sistema embebido con los periféricos de la PTAR.

Elaborado por: Autor.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales, tiene por consigna de que el agua pueda ser capaz de ser reutilizada en el riego de zonas verdes, para esto se hace el control de las variables mencionadas, pero hay que destacar el potencial de hidrogeno ya que este te permite saber la acidez del agua empleada para el riego. El pH que debe tener el agua de riego debe estar en un rango de 5.5 a 6.5. Se recalca esta parte, puesto que la planta propuesta puede abastecer de agua a un trabajo de tesis de la FETD-UCSG en el que se plantea un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB aplicado a huertos urbanos verticales (Garcés, 2019).



La flecha indica que la planta de tratamiento de aguas residuales abastece de agua al sistema automatizado de riego.

Figura 3. 5: Opción de empleo de la PTAR.

Elaborado por: Autor.

La figura 3.6 muestra un ejemplo de diagrama de flujo sobre las funciones de lecturas de datos, además de funciones extras que podría tener la planta de tratamiento de aguas residuales.

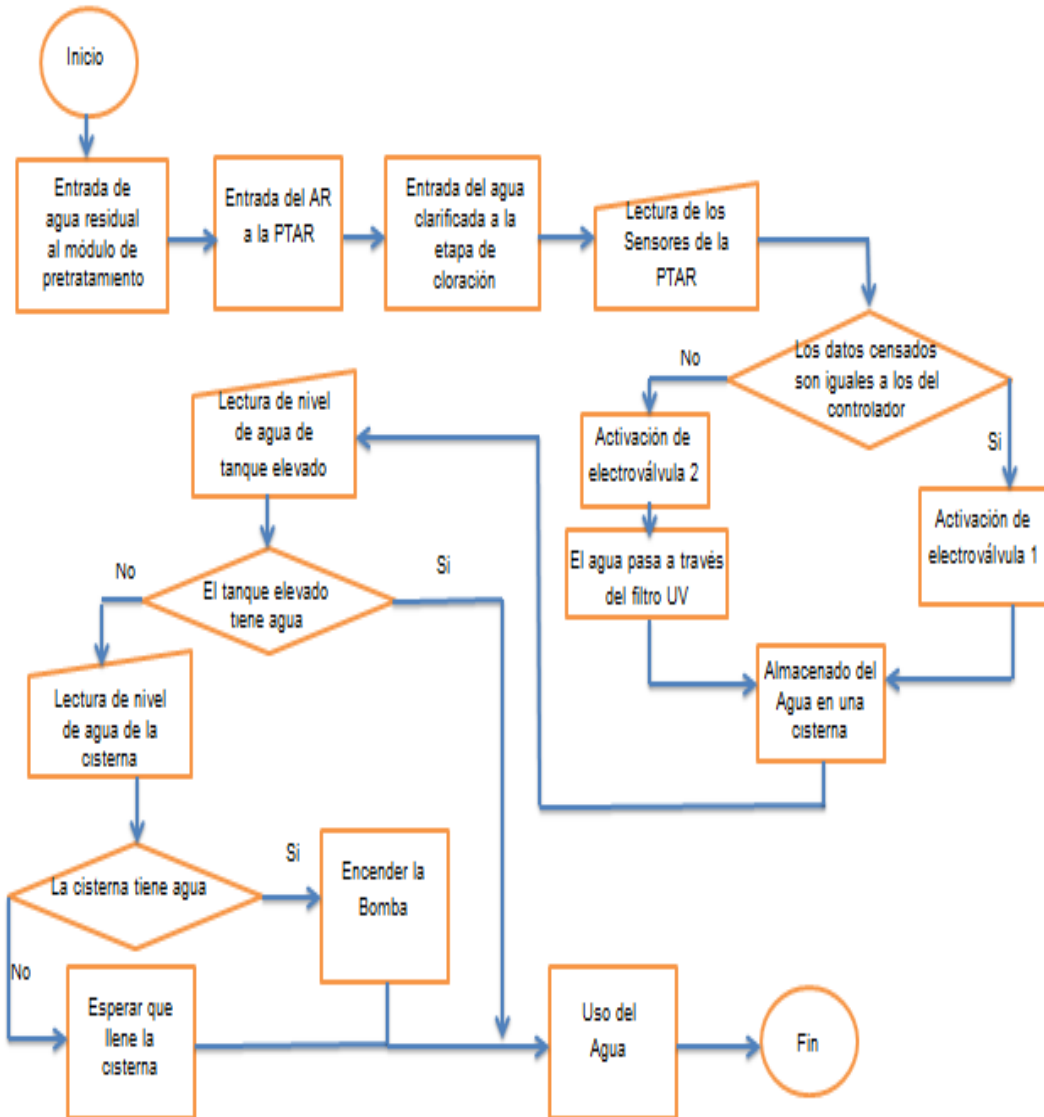


Figura 3. 6: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta

Elaborado por: Autor.

3.3. Cálculos para el diseño del módulo de separación de grasas y sólidos

Para el diseño de la planta se toma en cuenta los elementos instalados en la FETD-UCSG y está destinado para su implementación en ella, si la FETD-UCSG considera de que la planta de tratamiento de aguas residuales deba ser implementada en alguna de las granjas que le pertenecen (Granja San Isidro-UCSG y Granja Integral Experimental LIMONCITO), se deberán

utilizar las mismas formulas, pero deberán realizar los cálculos en función de los elementos sanitarios instalados en la granja.

Para realizar el módulo de separación de grasas y sólidos, se toma a consideración los elementos sanitarios instalados en la facultad, así como su unidad de gasto, como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Unidades de gasto de los aparatos sanitarios instalados en la facultad.
Fuente: Autor

Aparato sanitario	Tipo	Unidad de gasto
Lavadero de baño	Múltiple	6
Lavadero de cocina	Múltiple	6
Baterías sanitarias		16
Mingitorios		8

Las unidades de gasto representan, cada elemento sanitario instalado. Para el diseño y dimensionamiento del módulo se tomaran en cuenta las siguientes formulas y consideraciones:

$$Q = 0,3\sqrt{\sum u} \quad (1)$$

Dónde:

Q= caudal máximo en L/s

$\sqrt{\sum u}$ = suma de todas las unidades de gasto.

$$V = 2,5' - 3' \quad (2)$$

Dónde:

V= volumen en litros

El periodo de retención se expresa en minutos (')

Para construir el modulo se tiene que tener en cuenta de que el volumen debe ser igual o superior a los 300 L. La altura mínima que debe tener desde la base hasta el punto máximo donde llega el agua es de 80cm, esta altura puede aumentar si se considera necesario. Otro parámetro que se debe tomar en cuenta al momento del diseño es que la relación L: a debe ser de 2:1 – 3:2.

H es la altura máxima donde llega el agua, se recomienda que exista una separación de unos 30cm desde ese punto hasta la tapa del módulo.

El material para su construcción puede ser acero inoxidable, mampostería de ladrillos o concreto.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de elementos sanitarios instalados y unidad de gasto.

Tabla 3. 3 Unidad de gasto total aproximado de la FETD.

Fuente: Autor

# Aparatos sanitarios	U. gasto	U. Total
16	6	96
4	2	8
16	16	256
8	3	24
$\sum u$		384

A continuación se muestran los calculos respectivos para el diseño del modulo de separacion de grasas y sólidos.

$$Q = 0,3\sqrt{384}$$

$$Q = 5,878 \frac{L}{s}$$

$$Q = V/t \quad (3)$$

$$V = Q * t$$

Se considerará un tiempo de retención de 3 minutos por lo tanto:

$$V = 8,878 \frac{L}{s} * 180 s$$

$$V = 1058.2 L$$

Conviertiendo litros a metros cúbicos tenemos:

$$L = 1.0582 m^3$$

$$V = A * H \quad (4)$$

Dónde:

$$H \geq 0,8m$$

Para el diseño se considerara un H=1,20m

A continuación se calculara el área mínima necesaria para el modulo:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{1,0582 \text{ m}^3}{1,20 \text{ m}}$$

$$A = 0,88 \text{ m}^2$$

Para el diseño se considerara que el modulo tenga un ancho de 0.8m, entonces:

$$A = L * a$$

$$A = 1,20\text{m} * 0.8\text{m}$$

$$A = 0,96 \text{ m}^2$$

El area del diseño propuesto es mayor que el area minima necesaria para albergar el agua residual generada, asi que cumple con los parametros de diseño.

Tambien cumple con la relacion de L:a= 2:1 - 3:2

L:a= 2-1.5

$$\frac{L}{a} = \frac{1.20\text{m}}{0.8\text{m}} = 1.5$$

3.4. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en AutoCAD

El diseño de la estructura propuesto en este trabajo de titulación, se realiza en el software de AutoCAD, este permite elaborar planos en 2D y en 3D, cuenta con diversas herramientas que facilitan la elaboración de planos. Entre las herramientas para el diseño en 3D se destaca la posibilidad de hacer un corte en el plano para poder visualizar dentro del objeto, además este software posee diferentes tipos de vistas, por ejemplo la vista realista, o vista rayos x.

3.4.1 Módulo de separación de grasas y sólidos

En la figura 3.7 se muestra el diseño del módulo de separación de grasas y sólidos. Para el tamaño del módulo se siguen las medidas calculadas en el subcapítulo 3.3. El diseño cuenta con unos rieles ubicados en la mitad, para colocar una rejilla que impida el paso de los sólidos más grades (basura). Los orificios del módulo están dimensionados para que se emplee tuberías de 3 pulgadas.

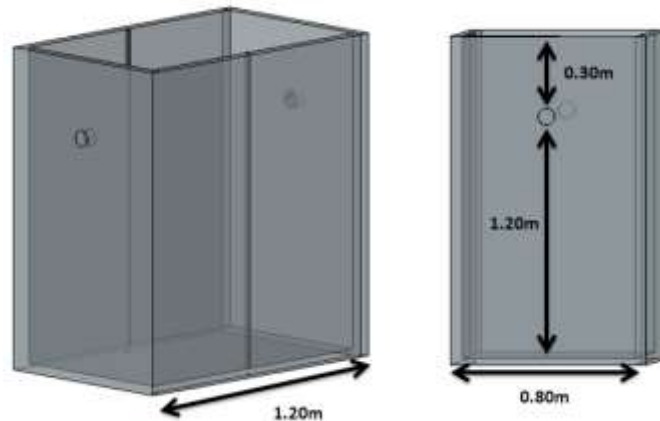


Figura 3. 7: Medidas del módulo de separación de grasas y sólidos.
Elaborado por: Autor.

3.5 Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

Para el núcleo de la planta, el diseño se lo realizara por etapas, y al final se verán ya todo el núcleo de la planta unido en un solo sistema. Considerar que al ser diseñadas por partes no se visualizara el diseño del recubrimiento, pero este deberá ser capaz de desmontaje fácil para realizar algún mantenimiento.

3.5.1 Primera etapa

En la figura 3.8 se muestra el diseño de la primera etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales. Las dimensiones de este módulo son 2.50 metros de alto, 2 metros de ancho y 2.50 metros de largo. Los orificios para la interconexión de las tuberías deberán estar ubicados 30 cm por debajo dl techo, igual que en módulo de separación de grasas y sólidos. El diseño cuenta con un soporte para la instalación del filtro percolador.

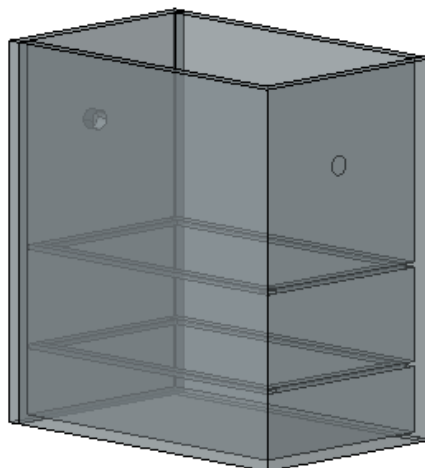


Figura 3. 8: Diseño de la primera etapa de tratamiento.
Elaborado por: Autor.

3.5.2 Segunda etapa

La segunda etapa, correspondiente al tratamiento secundario, tiene como novedad de que el orificio de salida del agua que está siendo tratada está ubicada en la parte inferior como se ve en la figura 3.9, se recomienda que tenga una separación mayor a los 30cm del fondo del cubículo. Las dimensiones de este módulo son 2.50 metros de alto, 2 metros de ancho y 2.50 metros de largo.

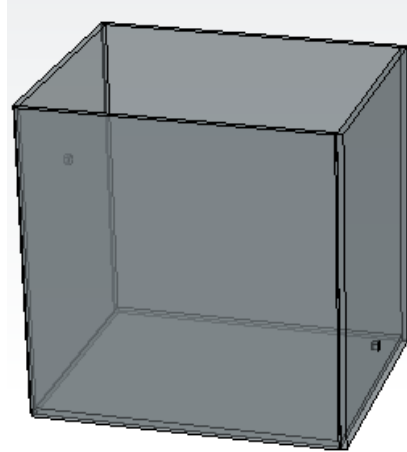


Figura 3. 9: Cámara de la segunda etapa de tratamiento.

Elaborado por: Autor.

3.5.3 Tercera etapa

En la tercera cámara correspondiente al tratamiento terciario, debe poseer un panel lamelar, en la mitad de la cámara existirá una división por medio de una pared para que se pueda realizar la instalación del panel, la altura de esta será de 2.20m, es decir tendrá la misma altura que la del orificio de salida del agua, como se muestra en la figura 3.10.

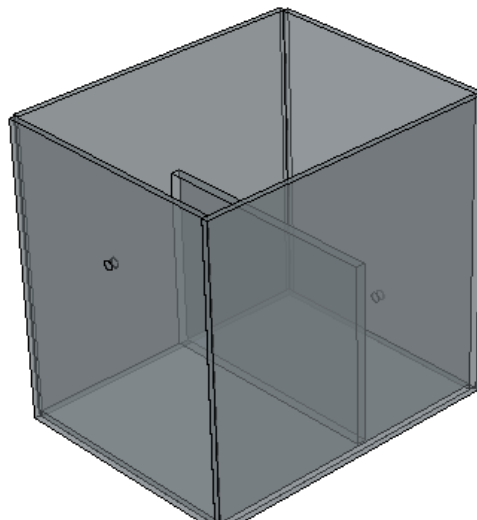


Figura 3. 10: Cámara de la tercera cámara de tratamiento.

Elaborado por: Autor.

3.5.4 Cuarta etapa

La cuarta etapa, correspondiente a la desinfección del agua mediante el uso de pastillas de cloro, se tendrá dos salidas, como se muestra en la figura 3.11. A la salida de cada una se instalará una electroválvula, que estará controlada por el sistema embebido. En esta etapa, es donde se realizará la adquisición de datos por medio de los sensores, estos son introducidos por la parte superior.

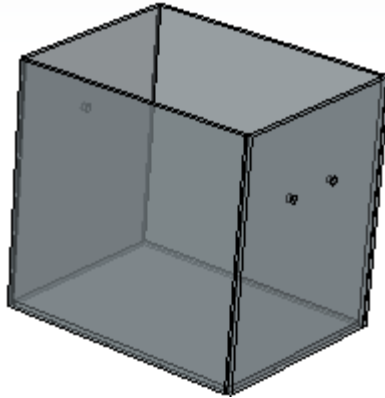


Figura 3. 11: Cámara de la cuarta cámara de tratamiento.
Elaborado por: Autor.

3.5.5 Estructura completa de la planta de tratamiento de aguas residuales

En la figura 3.12 se muestra el diseño estructural de toda la planta, diseñado en AutoCAD, se utiliza la visión de rayos x para mostrar el interior de la planta.

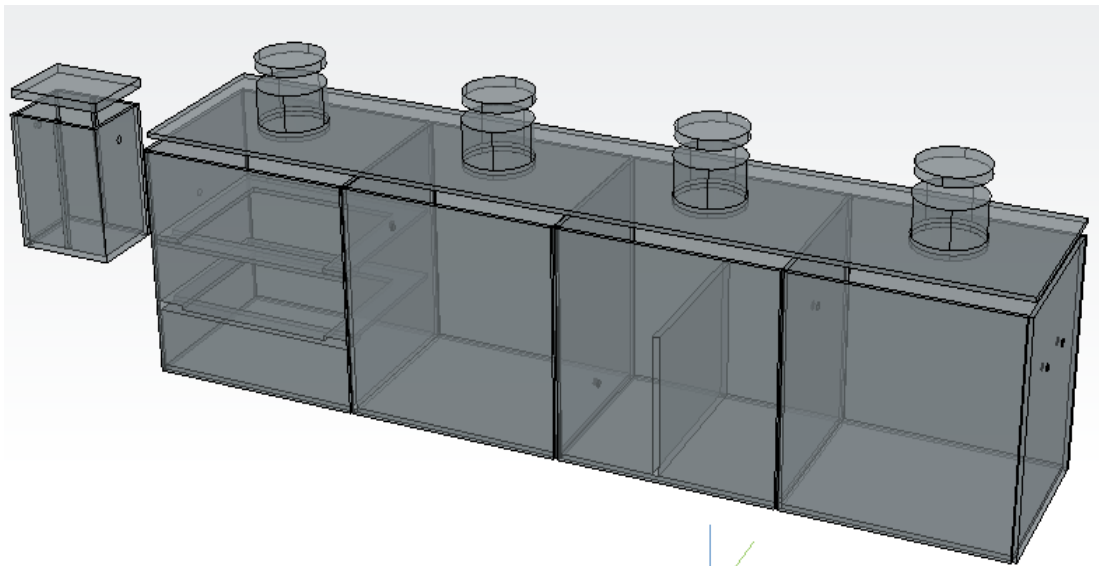


Figura 3. 12: Diseño estructural completo de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.13 se muestra una vista realista de la planta de tratamiento de aguas residuales, con la respectiva interconexión de las tuberías de PVC, se utiliza una herramienta de AutoCAD para recortar una parte del diseño dejando ver el interior.

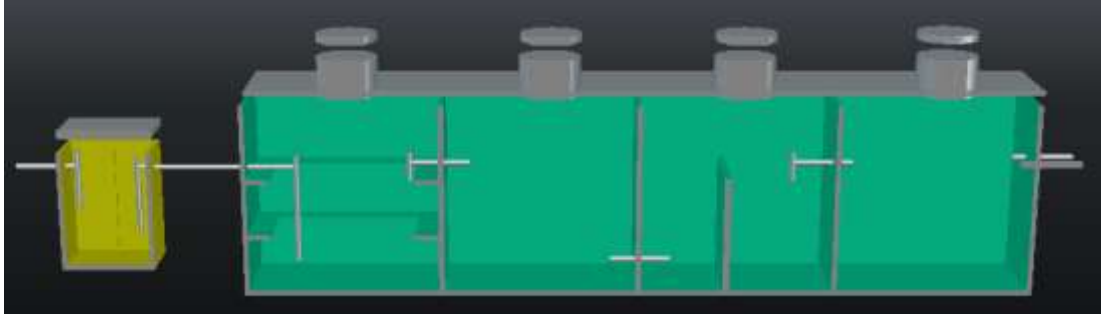


Figura 3. 13: Plano lateral de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Elaborado por: Autor.

3.6 Materiales

El material para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales puede ser acero inoxidable, mampostería de ladrillos o concreto.

Para el diseño propuesto se necesitan tuberías y T de reparto de PVC de 3 pulgadas.

La elección de los sensores y el sistema embebido, queda a disposición de la UCSG-FETD.

Como ya se indicó en la descripción del sistema, el tratamiento primario se llevara a cabo mediante un filtro percolador anaerobio en el cual se realiza un proceso de degradación biológica por medio de bacterias anaerobias. El filtro percolador está compuesto de rosetas plásticas como se muestra en la figura 3.14.



Figura 3. 14: Filtro percolador anaerobio.
Fuente: (RENOVACIONES MECÁNICAS, s/f)

En el tratamiento secundario, se utiliza una cámara aerobia de lodos activados con lecho fluidizado en donde se completa la biodegradación por oxígeno disuelto, para lograr esto se necesita la colocar rosetas plásticas al igual que en el tratamiento primario, pero las rosetas deberán ser de menor tamaño como se muestra en la figura 3.15.



Figura 3. 15: Rosetón plástico filtrante.

Fuente: (Grupo Markin, s/f)

Para el lecho fluidizado es necesario la instalación de un aireador sumergible como se muestra en la figura 3.16, este introducirá aire al agua que está siendo tratada, esto hará que las rosetas estén en constante movimiento.



Figura 3. 16 Aireador sumergible para el tratamiento de agua.

Fuente: (PowerDEPOT, s/f)

La figura 3.17 muestra un ejemplo del panel lamelar que debe ser instalado en la tercera etapa, correspondiente al tratamiento terciario.



Figura 3. 17: Panel lamelar.

Fuente: (Canales sectoriales Interempresas, s/f)

En la etapa de desinfección del agua, se deberá instalar un hipoclorador de tabletas como se muestra en la figura 3.18. La utilización de este hipoclorador se debe a que el método más utilizado y económico para la desinfección del agua es el empleo del cloro.



Figura 3. 18: Clorador Valac.

Fuente: (Valac, 2017)

EL último módulo (etapa de desinfección del agua) cuenta con dos salidas, en cada salida se instalara una electroválvula, como se muestra en la figura 3.19.



Figura 3. 19 Electroválvula 12VDC.

Fuente: (Tecnocultivo, s/f)

A la salida de una de las electroválvulas se deberá instalar el filtro de luz ultra violeta, como se muestra en la figura 3.20, el agua circulara por medio de este filtro cuando en la etapa de desinfección el agua no cumpla con los valores seteados en el controlador del sistema embebido.



Figura 3. 20 Filtro de luz UV.

Fuente: (“Lámpara UV Polaris Ultravioleta Germicida para Agua”, s/f)

3.7 Simulación

3.7.1 Software

En la actualidad existen diversos softwares que se dedican a la simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales, pero por lo general los distribuidores de estos softwares solo te permiten descargar un demo gratuito, lo cual limita las prestaciones del programa.

El software utilizado en el presente trabajo de titulación es el GPS-X desarrollado por Hydromantis Environmental Software Solutions, INC.

En la figura 3.21, se muestra la ventana de trabajo de este software, tiene las herramientas básicas de cualquier programa como copiar, cortar, etc. Cuenta con un menú de herramientas ubicado en el costado izquierdo, en este menú se encuentra los diversos métodos existentes para el tratamiento de aguas residuales, tanto para tratamiento preliminar, como para el tratamiento primario, secundario y terciario. Además cuenta con menús con tratamientos complementarios, repartidores de flujo, herramientas para el control PID, etc.

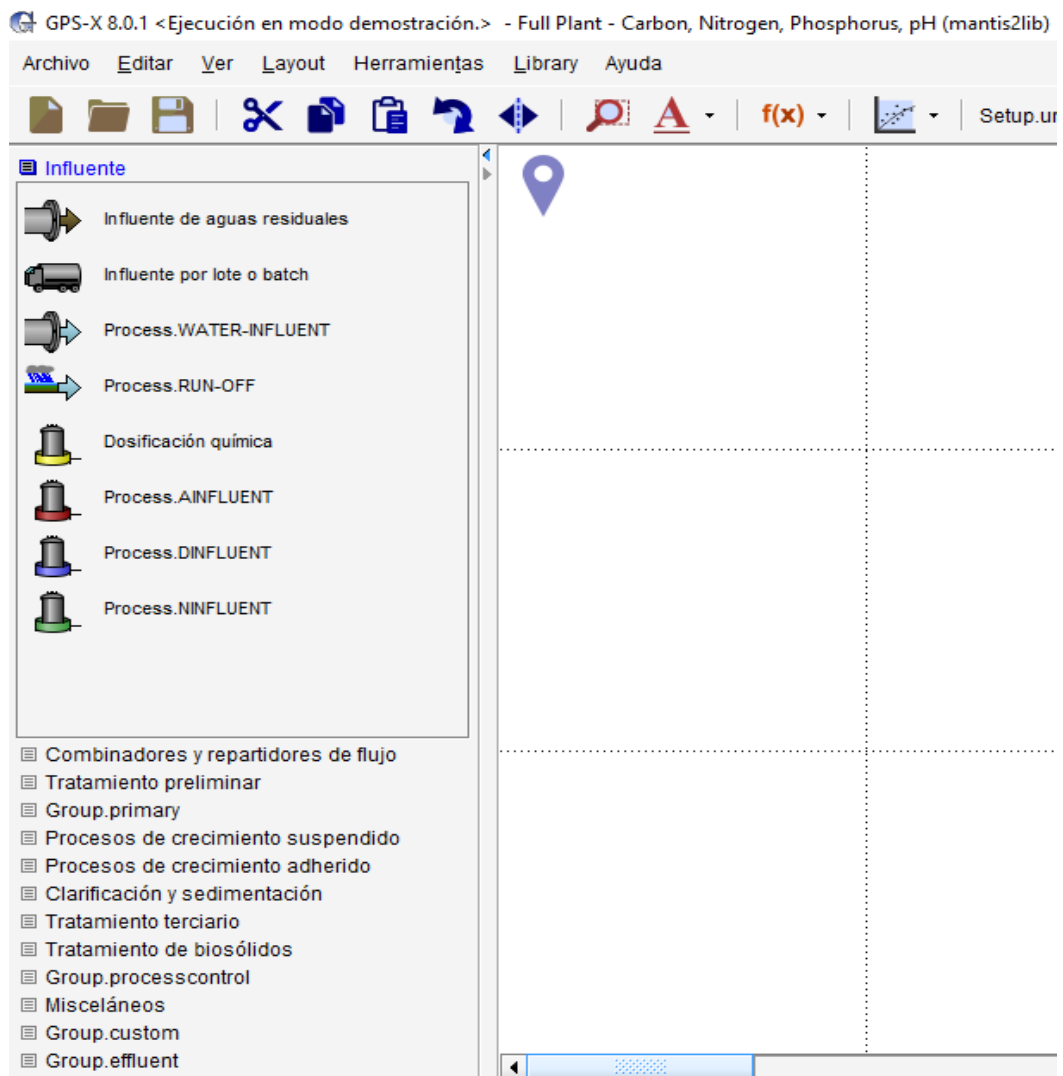


Figura 3. 21 Ventana de trabajo del software GPS-X.

Fuente: Autor.

Para simular el funcionamiento de nuestra planta de tratamiento de aguas residuales se procede a escoger de las diferentes librerías un influente, el cual suministrara las aguas residuales, un filtro percolador, un reactor secuencial batch, este realizara la función del sistema de lodos activados con lecho fluidizado que se propone en el tratamiento secundario, un tanque de filtro de flujo ascendente que realizara la función del panel lamelar, el sistema de desinfección por cloro y el filtro de luz UV, como se muestra en la figura 3.22. Como ya se mencionó, al ser un demo no cuenta con todas las herramientas activas, por ese motivo que en la simulación se omite el uso de una etapa de pretratamiento y también se omite el control de electroválvulas por lo cual el agua siempre va a circular por el filtro de luz UV.

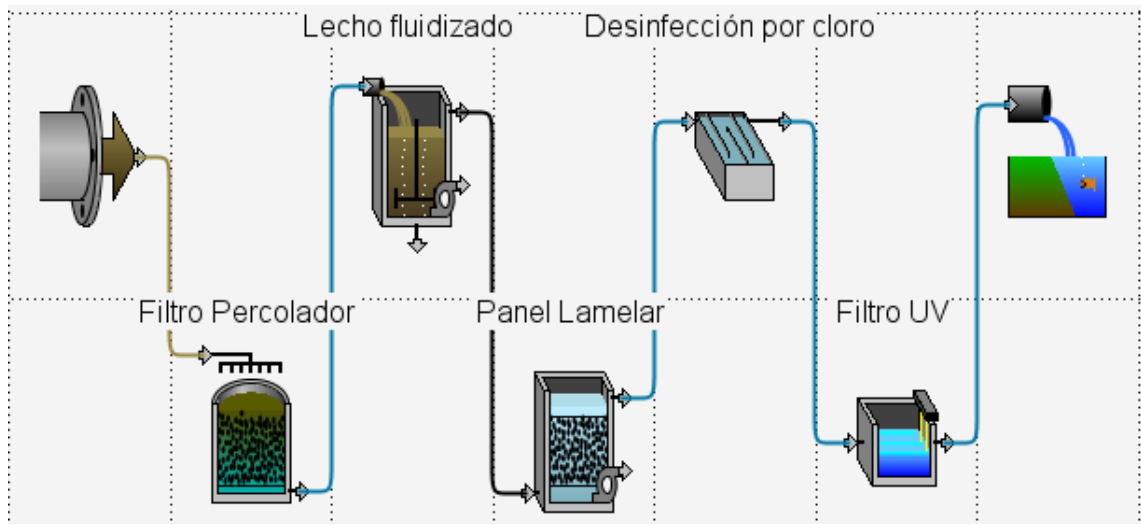


Figura 3. 22 Etapas de tratamiento que simularan el funcionamiento de la PTAR propuesta.

Fuente: Autor.

Antes de dar inicio a la simulación, se procede a la configuración de cada elemento seleccionado.

En la figura 3.23, se muestra las características del agua residual que va a ser suministrada a la planta, para esto se debe dar clic derecho en la tubería, ubicarse en la opción de composición lo cual desplegara un menú, se elegirá caracterización del influente.

Influent Advisor - Library: mantis2lib - Influent Model: codstates - Modelo biológico			
User Inputs			
- Influent Composition			
cod	DQO total	gCOD/m3	300.0
tkn	NTK total	gN/m3	30.0
tp	fósforo total	gP/m3	9.0
- Nitrogen Compounds			
snh	nitrógeno del amoníaco	gN/m3	20.0
snoi	nitrito	gN/m3	0.0
snoa	nitrato	gN/m3	0.0
- Phosphorus Compounds			
sp	ortho-phosphate	gP/m3	8.0
xpp	stored poly-phosphate in P...	gP/m3	0.0
- Influent Fractions			
ivsstotss	proporción SSV / SST	gVSS/gTSS	0.75
- Organic Fractions			
frsi	soluble inert fraction of total ...	-	0.05
frss	readily biodegradable fracti...	-	0.2
frxi	particulate inert fraction of to...	-	0.13
frscol	colloidal fraction of slowly bi...	-	0.15
- Nitrogen Fractions			
frsnh	fracción del amonio en el N...	-	0.9
insi	Contenido de N en el mater...	gN/gCOD	0.05
inxi	N content of inert particulate...	gN/gCOD	0.05
- Phosphorus Fractions			
ipsi	Contenido de P del material...	gP/gCOD	0.01
ipxi	P content of inert particulate...	gP/gCOD	0.01
- pH and Alkalinity			

Figura 3. 23 Características del agua residual.

Fuente: Autor.

En la figura 3.24 se muestran otras características del agua residual, como el pH, componentes inorgánicos, fracción orgánica.

- pH and Alkalinity			
ph	pH	-	7.0
alkalinity	carbonate alkalinity	gCaCO3/m3	250.0
- Inorganic Compounds			
sca	total calcium	gCa/m3	140.0
smg	total magnesium	gMg/m3	50.0
spot	total potassium	gK/m3	28.0
scat	other cation	eq/m3	3.0
sana	other anion	eq/m3	12.0
- Organic Fractions			
frsac	acetate fraction of total COD	-	0.0
frspro	propionate fraction of total C...	-	0.0
frsmet	methanol fraction of total C...	-	0.0
frxbh	heterotrophic biomass fracti...	-	0.0
frxbai	ammonia oxidizer biomass ...	-	0.0
frxbaa	nitrite oxidizer biomass fract...	-	0.0
frxbp	phosphate accumulating bi...	-	0.0
frxbpro	acetogenic biomass fractio...	-	0.0
frxbacm	acetoclastic methanogenic ...	-	0.0
frxbh2m	hydrogenotrophic methano...	-	0.0
frxbmet	methylotrophic biomass fra...	-	0.0
frxbf	fermenting biomass fractio...	-	0.0
frxbax	anammox biomass fraction ...	-	0.0
frxu	unbiodegradable cell produ...	-	0.0
frxbt	poly-hydroxy alkanooates in ...	-	0.0

Figura 3. 24 Características del agua residual.

Fuente: Autor.

En la figura 3.25 se muestran otras características del agua residual, como los precipitados inorgánicos y gases solubles.

- Inorganic Precipitates			
xaloh	aluminum hydroxide	gAl(OH)3/m3	0.0
xalpo4	aluminum phosphate	gAlPO4/m3	0.0
xfeoh	iron hydroxide	gFe(OH)3/m3	0.0
xfepo4	iron phosphate	gFePO4/m3	0.0
xcaco3	calcium carbonate	gCaCO3/m3	0.0
xcapo4	calcium phosphate	gCaPO4/m3	0.0
xmgco3	magnesium carbonate	gMgCO3/m3	0.0
xmgpho4	magnesium hydrogen phos...	gMgHPO4/m3	0.0
xmgnh4po4	magnesium ammonium ph...	gMgNH4PO4...	0.0
- Soluble Gases			
so	oxigeno disuelto	gO2/m3	0.0
- Soluble Gases			
sh2	dissolved hydrogen gas	gCOD/m3	0.0
sn2	dissolved dinitrogen gas	gN/m3	18.0
sch4	dissolved methane	gCOD/m3	0.0

Figura 3. 25 Características del agua residual.

Fuente: Autor.

A continuación se muestra como fueron configurados cada elemento que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales.

En la figura 3.26 se muestra la configuración del filtro percolador, se cambia las dimensiones del filtro para ajustarlo a lo propuesto en el presente trabajo.

Dimensiones de la Unidad			
[109] profundidad del lecho del filtro	2.0	m	
[109] superficie del lecho del filtro	4.0	m ²	
<input type="button" value="Más ..."/>			
Medios Filtrantes			
[109] superficie específica de los medios filtrantes	100.0	1/m	
[109] tiempo de retención del líquido en el filtro	15.0	min	
[109] espesor máximo de la película líquida de cultivo...	5.0e-05	m	
[109] espesor máximo de la biopelícula	0.001	m	
[109] densidad de la biopelícula	1020000.0	mg/L	
[109] contenido de material seco de la biopelícula	0.1	-	
Dimensiones del modelo			
[109] número de capas horizontales en el filtro	6		
		<input type="button" value="Aceptar"/>	<input type="button" value="Cancelar"/>

Figura 3. 26 Configuración del filtro percolador.

Fuente: Autor.

En la figura 3.27 se muestra la configuración del reactor secuencial batch, se cambia las dimensiones del filtro para ajustarlo a lo propuesto en el presente trabajo.

Dimensiones			
[122] area superficial	4.5	m ²	
[122] nivel de agua máximo (altura)	1.8	m	
[122] punto de alimentación desde el fondo	0.5	m	
<input type="button" value="Más ..."/>			
		<input type="button" value="Aceptar"/>	<input type="button" value="Cancelar"/>

Figura 3. 27 Configuración de las dimensiones del reactor secuencial batch.

Fuente: Autor.

En la figura 3.28 se muestra la configuración operacional del reactor secuencial batch.

Parámetro	Valor	Unidad
[122] tiempo del ciclo total	6.0	h
[122] mezcla (y lleno)	0.5	h
[122] aireado (y lleno)	1.5	h
[122] aerate only	2.0	h
[122] solo mezcla	0.0	h
[122] sedimentación	1.0	h
[122] decantación	0.5	h
[122] descarte de lodo	0.1	h
[122] Duración de la rotación	0.0	h

Figura 3. 28 Configuración operacional del reactor secuencial batch.

Fuente: Autor.

En la figura 3.29 se muestra la configuración de las dimensiones del panel lamelar, las propiedades del filtro, etc.

Parámetro	Valor	Unidad
[115] profundidad del lecho del filtro	2.0	m
[115] superficie del lecho del filtro	2.5	m ²
[115] superficie específica de los medios filtrantes	1000.0	1/m
[115] porosity of media (fraction of packed media volu...)	0.4	-
[115] espesor máximo de la película líquida de cultivo...	5.0e-05	m
[115] espesor máximo de la biopelícula	0.001	m
[115] densidad de la biopelícula	1020000.0	mg/L
[115] contenido de material seco de la biopelícula	0.1	-

Figura 3. 29 Configuración de las dimensiones del panel lamelar.

Fuente: Autor.

En la figura 3.30 se muestra la configuración del volumen de agua que puede estar en el módulo de desinfección.

Parameter	Value	Unit	Dropdown	Document Icon
[118] volumen	11.0	m3	▼	📄
[118] t10 to detention time ratio	0.7	-	▼	📄
[118] t50 to detention time ratio	0.9	-	▼	📄

Figura 3. 30 Configuración del módulo de desinfección por cloro.

Fuente: Autor.

En la figura 3.31 se muestra la configuración operacional del módulo de desinfección por cloro, utilizando valores por defecto como la temperatura y los demás seteados por el usuario.

Parameter	Value	Unit	Dropdown	Document Icon
[118] use local temperature	OFF			📄
[118] local liquid temperature	20.0	C	▼	📄
[118] pH in chorine contact tank	7.0	-	▼	📄
[118] bromine concentration	0.0	mg/L	▼	📄
[118] total coliform count before disinfection	10000000	MPN/100mL	▼	📄

Figura 3. 31 Configuración operacional del módulo de desinfección por cloro.

Fuente: Autor.

En la figura 3.32 se muestra la configuración del filtro de luz UV, se establece un valor de volumen de 0.23m³, se utilizara solo una lámpara, y la temperatura será el valor por defecto de 20°C.

Físico			
Físico			
[120] volumen del canal	0.23	m3	
[120] number of lamps	1.0	-	
[120] average UV intensity	8.0	mW/cm2	
Temperatura			
[120] use local temperature	<input type="checkbox"/> OFF		
[120] local liquid temperature	20.0	C	

Figura 3. 32 Configuración del filtro de luz UV.

Fuente: Autor.

En la figura 3.33 se muestra la configuración operacional del filtro de luz UV, los valores mostrados son los que vienen por defecto en el programa.

Operacional			
Operating Mode			
[120] operation method	direct		
[120] percentage of lamp in operation	100.0	%	
[120] target dose	40.0	mW-s/cm2	
[120] transmitancia UV no filtrada a 253.7 nm	75.0	%	
[120] hydraulic factor	0.8	-	
[120] fouling factor	0.9	-	
WERF UV Inactivation Model Coefficients			
[120] coeficiente empírico n relacionado a las dosis ...	-1.876647	-	
[120] coeficiente empírico log (A)	11.13275	-	
[120] coeficiente empírico a	0.9762881	-	
[120] coeficiente empírico b	-4.053016	-	

Figura 3. 33 Configuración operacional del Filtro de luz UV.

Fuente: Autor.

3.8 Resultados

Para la simulación, las características del agua residual mostrada en la figura 2.23, se fueron cambiando para comprobar que tan bien responde el sistema propuesto en este trabajo de titulación.

Los parámetros que fueron cambiados para realizar las diferentes pruebas son: demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (tp), nitrógeno de amoníaco (snh), proporción de sólidos suspendidos totales (SST), calcio total (SCA), magnesio total (SMg).

Para la primera prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 1.

Fuente: Autor

DQO	300 gCOD/m ³
TP	30 gN/m ³
SNH	10 gP/m ³
SST	25 gN/m ³
SCa	140 gCa /m ³
SMg	50 gMg /m ³

En la figura 3.34 se muestra los resultados obtenidos de la primera prueba. El pH que se obtuvo es de 6.623 a la entrada y de 7.476 a la salida, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba están en un rango de 5.986 a 6.781 mg/L, valores que están dentro de la normativa.

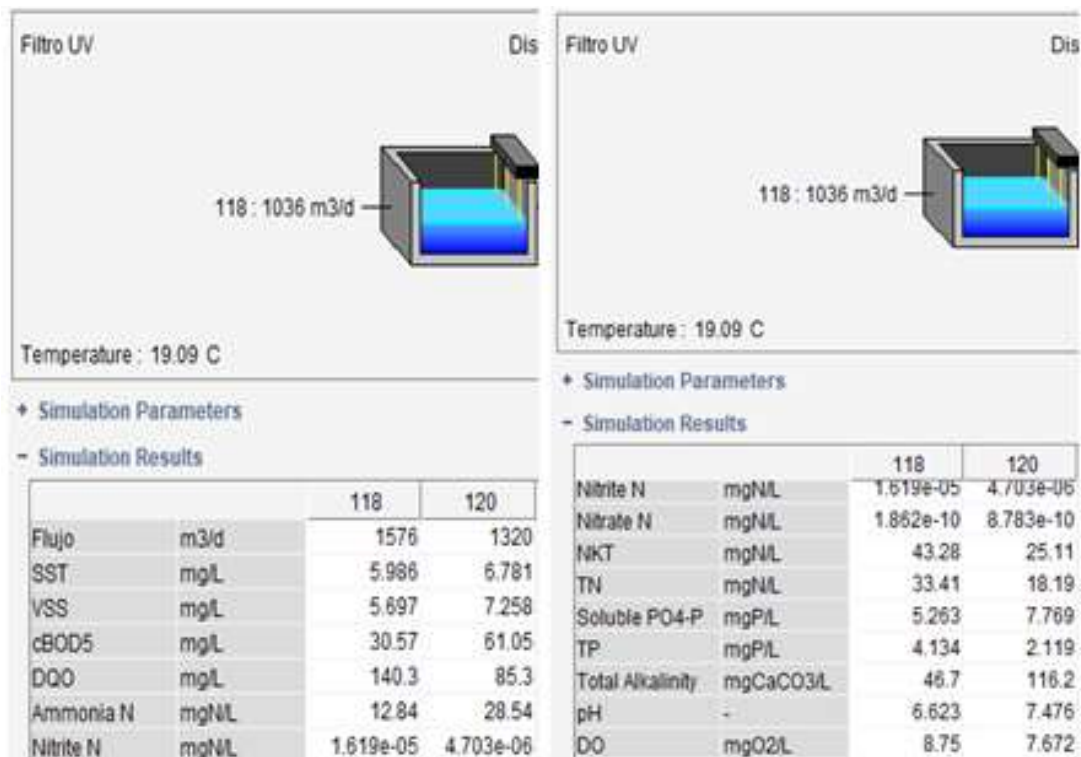


Figura 3. 34 Resultados de la primera prueba.

Fuente: Autor.

Para la segunda prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 2.

Fuente: Autor

DQO	350 gCOD/m ³
TP	35 gN/m ³
SNH	15 gP/m ³
SST	30 gN/m ³
SCa	135 gCa /m ³
SMg	45 gMg /m ³

En la figura 3.35 se muestra los resultados obtenidos de la segunda prueba. El pH que se obtuvo es de 6.866, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba están en un rango de 7.304 a 3.454 mg/L, valores que están dentro de la normativa.,

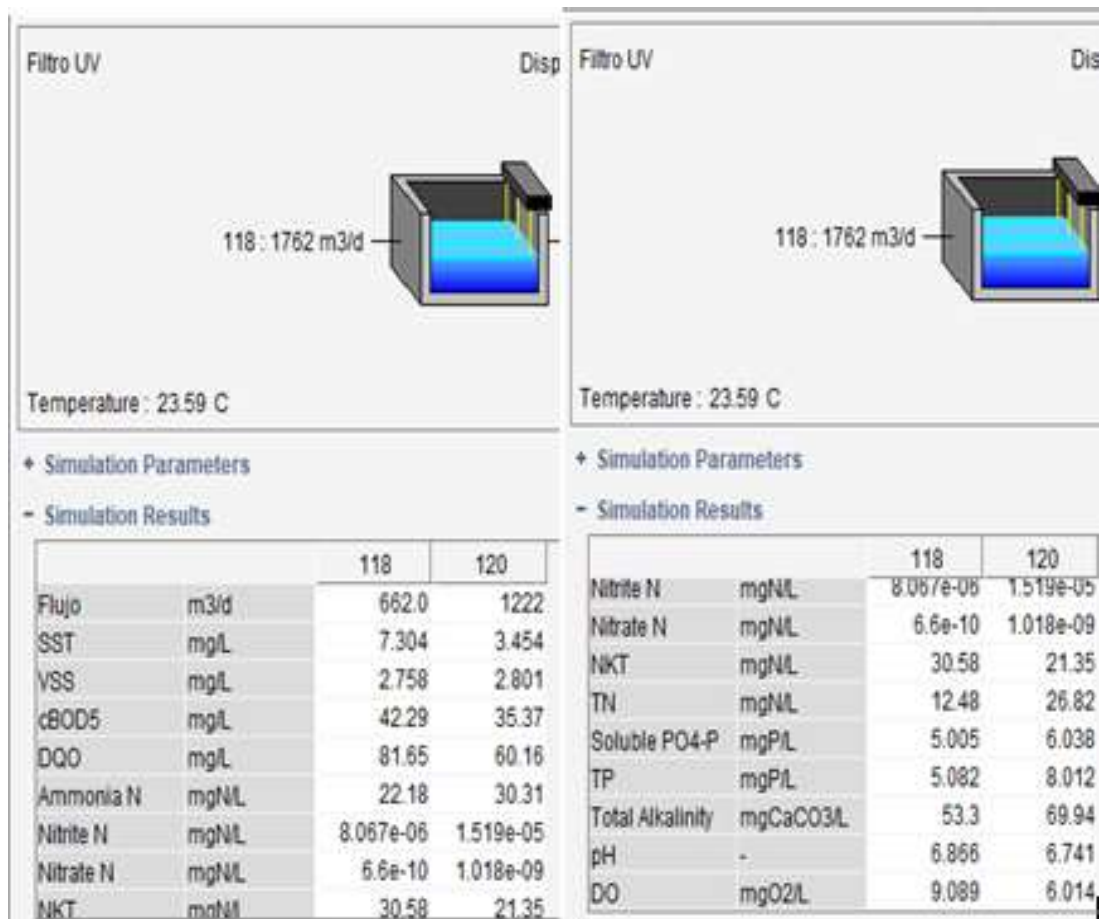


Figura 3. 35 Resultados de la segunda prueba.

Fuente: Autor.

Para la tercera prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 3.

Fuente: Autor

DQO	360 gCOD/m ³
TP	30 gN/m ³
SNH	18 gP/m ³
SST	28 gN/m ³
SCa	120 gCa /m ³
SMg	55 gMg /m ³

En la figura 3.36 se muestra los resultados obtenidos de la tercera prueba. El pH que se obtuvo es de 7.377 a 7.788, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba en la prueba es de 7.98 a 9.045 mg/L, lo cual está dentro de la normativa.

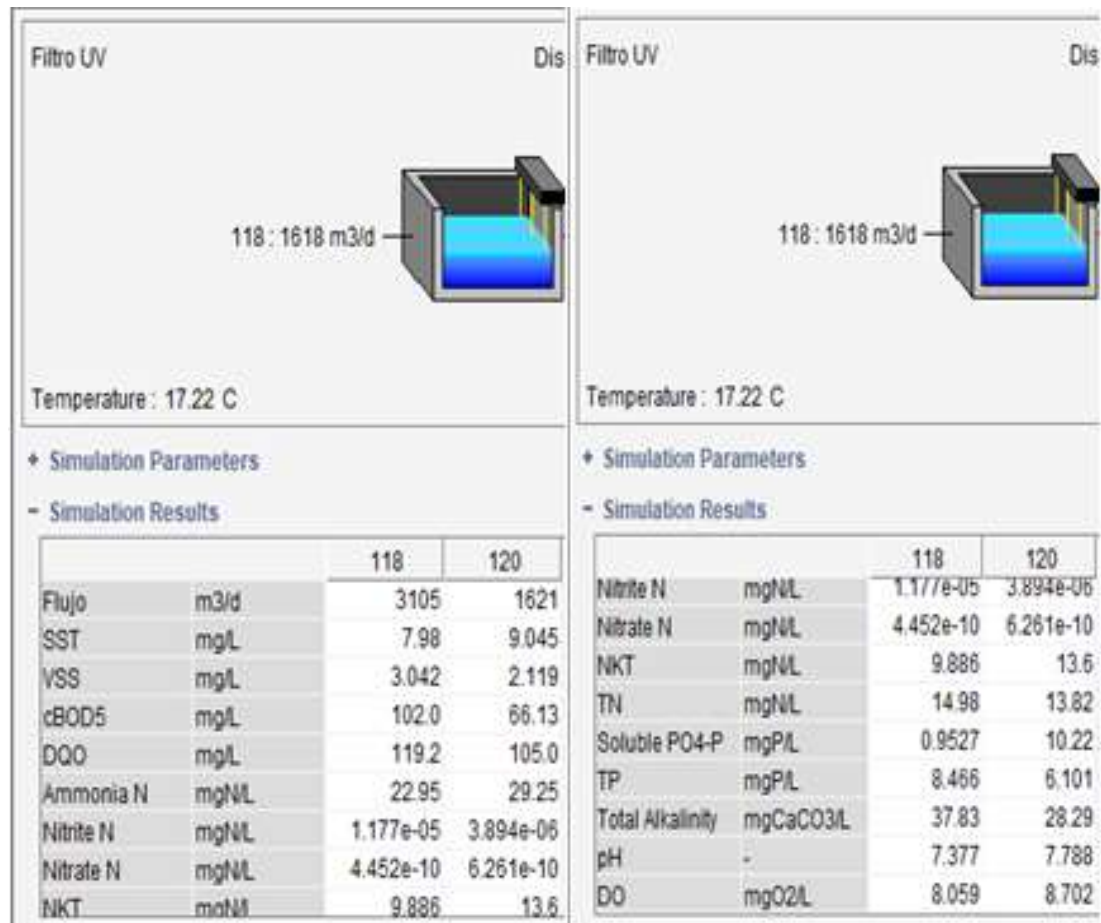


Figura 3. 36 Resultados de la tercera prueba.

Fuente: Autor.

Para la cuarta prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 4.

Fuente: Autor

DQO	370 gCOD/m ³
TP	40 gN/m ³
SNH	10 gP/m ³
SST	35 gN/m ³
SCa	155 gCa /m ³
SMg	38 gMg /m ³

En la figura 3.37 se muestra los resultados obtenidos de la cuarta prueba. El pH que se obtuvo es de 8.195 a 8.635, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba es de 6.606 a 10.05 mg/L, lo cual está dentro de la normativa.

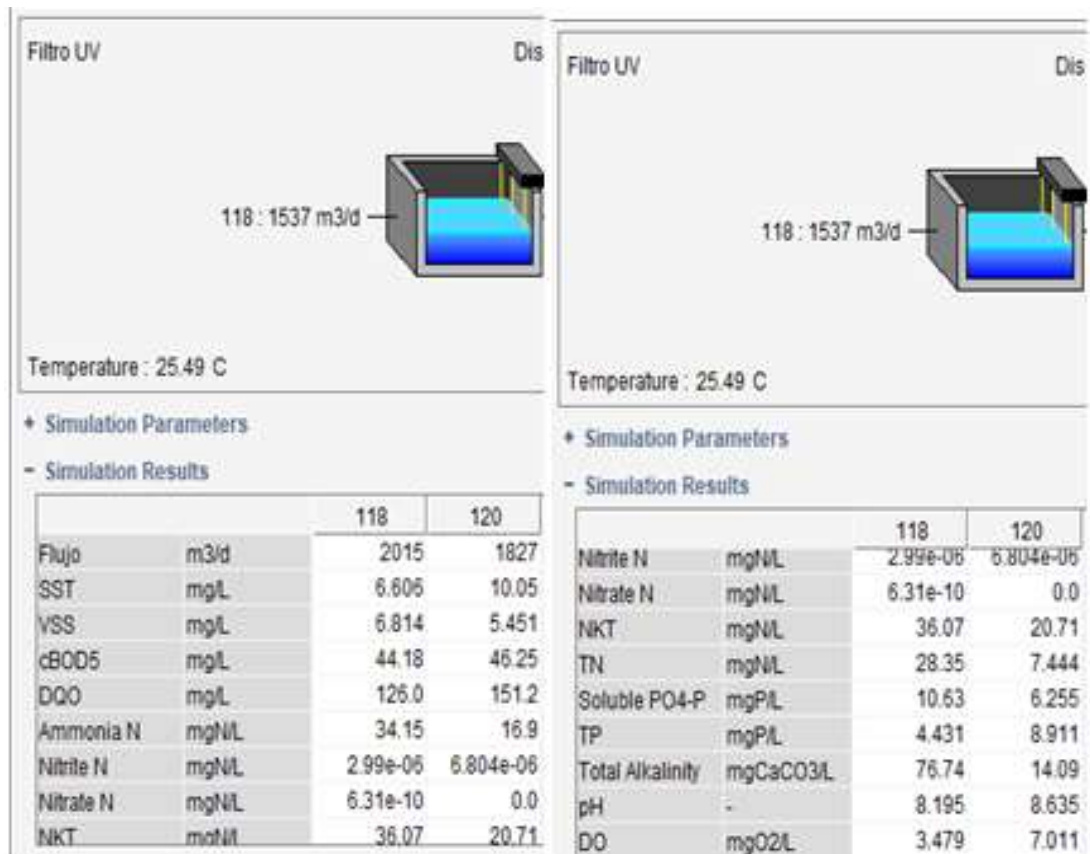


Figura 3. 37 Resultados obtenidos de la cuarta prueba.

Fuente: Autor.

Para la quinta prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.8.

Tabla 3. 8 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 5.

Fuente: Autor

DQO	320 gCOD/m ³
TP	55 gN/m ³
SNH	20 gP/m ³
SST	30 gN/m ³
SCa	145 gCa /m ³
SMg	50 gMg /m ³

En la figura 3.38 se muestra los resultados obtenidos de la quinta prueba. El pH que se obtuvo es de 7.14 a 8.33, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba es de 6.077 a 5.509mg/L, parámetros que están dentro de la normativa.

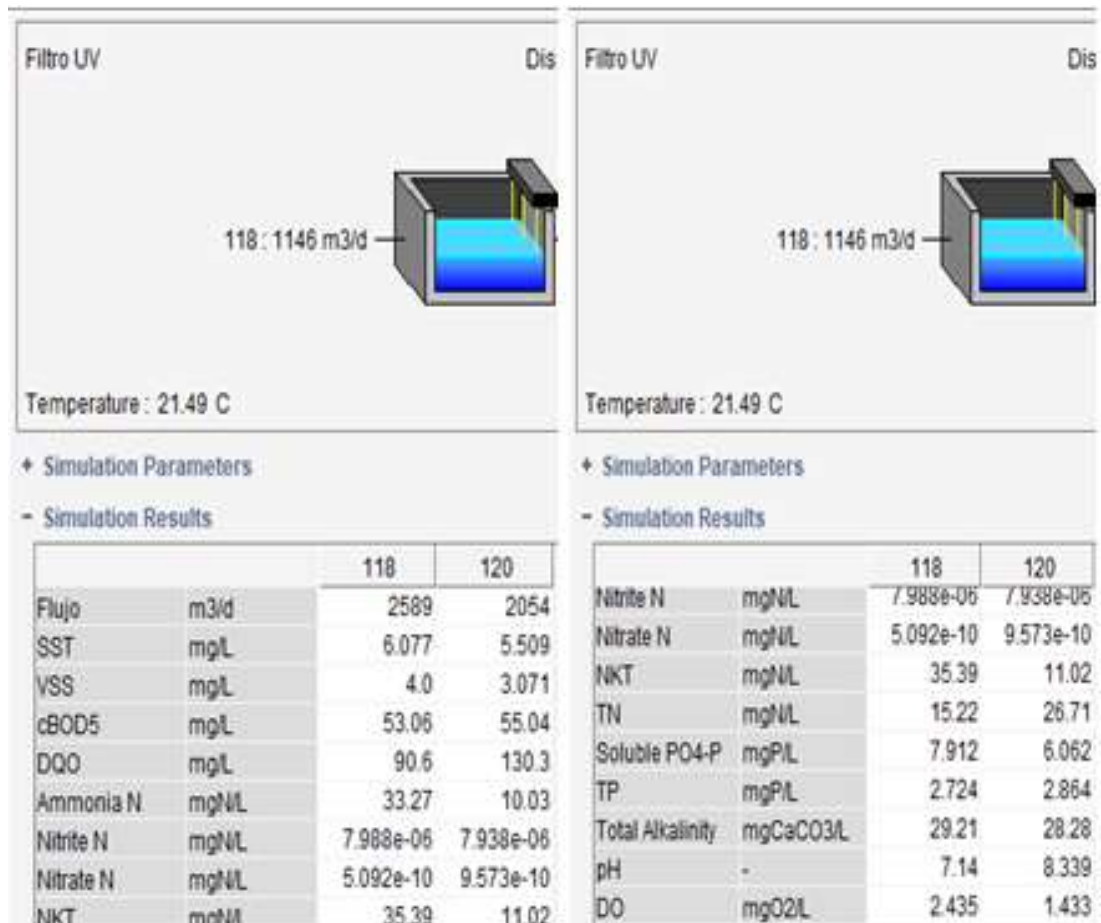


Figura 3. 38 Resultados de la quinta prueba.

Fuente: Autor.

Para la sexta prueba se utilizan los valores mostrados en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Parámetros físicos del agua residual en la prueba 6.

Fuente: Autor

DQO	400 gCOD/m ³
TP	40 gN/m ³
SNH	20 gP/m ³
SST	25 gN/m ³
SCa	155 gCa /m ³
SMg	60 gMg /m ³

En la figura 3.39 se muestra los resultados obtenidos de la sexta prueba. El pH que se obtuvo del módulo de desinfección por cloro es de 5.914, el cual está por debajo de la norma, pero al pasar a través del filtro de luz UV el pH subió a 7.351 el cual si cumple con las normativas, los sólidos suspendidos totales obtenidos en la prueba están en un rango de 21.8 y 7.017 mg/L, el ultimo valor es después de pasar por el filtro de luz UV.

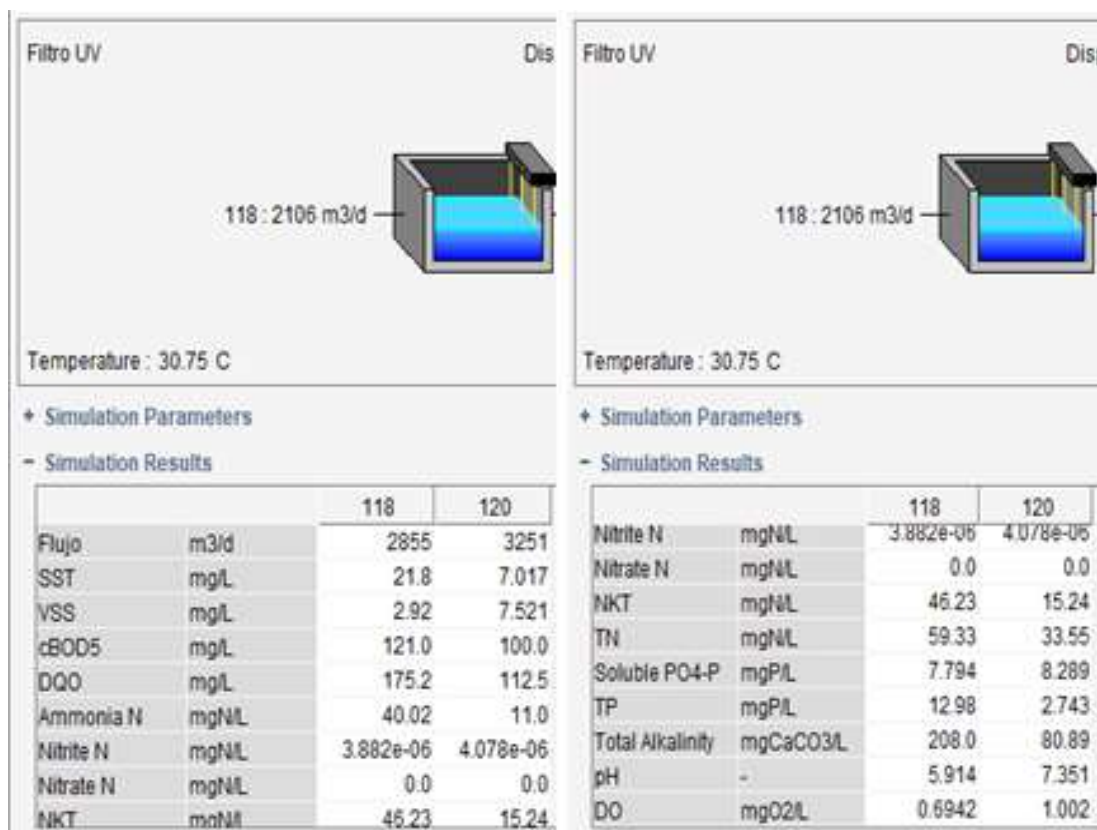


Figura 3. 39 Resultados de la sexta prueba.

Fuente: Autor.

Conclusiones.

A la conclusión de este trabajo de titulación podemos concluir lo siguiente:

- Como se muestra en el capítulo 2, existen 3 tipos de tratamientos principales y un cuarto tratamiento denominado tratamiento preliminar. En cada tipo de tratamiento hay una gran variedad de métodos que funcionan de diferentes formas, pero tienen el objetivo de ir depurando el agua, la combinación de estos en una planta de tratamiento de aguas residuales es lo que logra la correcta depuración de los contaminantes del agua. Actualmente con el avance de la tecnología, existen nuevos métodos como el uso de filtros de Luz UV, el cual es un germicida muy potente y eficaz, lo cual lo hace idóneo en aplicaciones como el tratamiento de aguas residuales y tratamiento de agua potable.
- En el capítulo 2 se describen las especificaciones técnicas de varios sistemas embebidos, a pesar de que el uso de estos dispositivos es prácticamente nulo en el sector industrial, debido a su falta de robustez, eso no implica que no sean capaces de controlar sistemas como el que se propone en el presente trabajo de titulación. Los sistemas embebidos descritos, ya se han empleado en diferentes proyectos alrededor del mundo, un ejemplo de aplicación es su implementación en plantas didácticas desarrollado en la FETD-UCSG, donde dan un excelente rendimiento con diferentes tipo de controladores, además del empleo de bombas de agua, electroválvulas, sensores de caudal, etc.
- En el capítulo 3 se observa que para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, se emplea las normativas técnicas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), cumpliendo con sus estándares de diseño, la estructura donde se realizaran los tres tipos de tratamientos principales fue dimensionada en base al tamaño final del módulo de

pretratamiento. Utilizando el software de AutoCAD, debido a su sencillez y a que posee diversas herramientas para el diseño en 3D.

- Las formulas mostradas en el capítulo 3, pueden utilizarse para realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior instalación en domicilios o fincas dedicadas a actividades agrícolas. Queda a consideración de la FETD-UCSG el uso de dicho material para el diseño PTAR para las fincas que son propiedad de la UCSG.
- Después de realizar varias pruebas en el software GPS-X, se determina que la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta en el presente trabajo de titulación, depura correctamente los contaminantes del agua, haciendo posible su reutilización en el riego de cultivos, reabastecimiento de baterías sanitarias, etc. Debido a que los valores obtenidos de pH y sólidos en suspensión están dentro de las normas sanitarias vigentes del país.

Recomendaciones.

Se recomienda:

- Antes de cualquier construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, hay que hacer un análisis del agua a tratar, esto facilitara la elección de los tratamientos que deban realizarse, físico, químico o biológico.
- En el módulo de separación de grasas y solidos la limpieza se debe realizar manualmente, las grasas o natas deben ser guardadas en bolsas cerradas herméticamente para que estas no entren en contacto con el suelo.
- Como se menciona en el capítulo 3, la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta puede ser complementaria de los sistemas de riego verticales automatizados, haciendo un doble control de la calidad del agua.
- Los lodos generados por la planta pueden ser reutilizados tanto en la agricultura para la adecuación de suelos de cultivo o para la fabricación de ladrillos, en ambos casos se les debe hacer un tratamiento respectivo para que cumplan las normas sanitarias.
- Los sensores propuestos no son los únicos que pueden ser implementados en la planta, usar sensores de nivel mejoraría el control de las diferentes cámaras de la planta de tratamiento por parte del usuario, la implementación de sensores de humedad en caso de que el agua sea reutilizada para el riego.
- Para la construcción de la estructura se podrían reutilizar materiales, como plástico para el módulo de pre-tratamiento.
- La aplicación de sistemas embebidos compatibles con IoT, mejoraría el control remoto del usuario, los datos leídos por los sensores pueden ser enviados y almacenados en la nube.
- Profundizar en el tema de depuración de sólidos, ya que el Ecuador al ser un país petrolero está expuesto a contaminar el agua con este sólido, como ya se ha visto en varios casos en todo el Ecuador.

- Hacer campañas de concientización dentro de la universidad, para que estudiantes y trabajadores conozcan sobre el uso eficiente del agua a través de una PTAR.
- Se recomienda que no se interconecte el agua residual proveniente de un sanitario, con el agua proveniente de lavamanos o de instalaciones en donde el agua será mezclada con jabones y detergentes.

Bibliografía

Aguas Industriales. (2014, agosto 8). *Aguas industriales requerida para producir ciertos alimentos y productos*. Aguas Industriales.

<http://aguasindustriales.es/aguas-industriales-conoces-la-cantidad-de-agua-requerida-para-producir-determinados-alimentos-y-productos/>

Alarcón, I. (2018). *En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región | El Comercio*.

<https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>

Alianza por el Agua. (s/f). *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de

<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t9.html>

Alianza por el Agua. (2014). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-de-depuracion-de-aguas-residuales-urbanas>

Arduino. (s/f-a). *Arduino Mega 2560 Rev3 | Arduino Official Store*.

Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de

<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Arduino. (s/f-b). *Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Arduino. (s/f-c). *Arduino—Introduction*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>

Arduino. (s/f-d). *Arduino—Products*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

Asamblea Constituyente de Montecristi. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf

Avilés, M. (2018, julio 22). *Guayas: El tratamiento de aguas, en deuda con el ambiente*. www.expreso.ec.
<https://www.expreso.ec/actualidad/guayas-aguas-residuales-tratamiento-salud-medioambiente-KJ2290048>

BeagleBoard. (s/f-a). *BeagleBoard.org—About*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://beagleboard.org/about>

BeagleBoard. (s/f-b). *BeagleBoard.org—Black*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://beagleboard.org/black>

Buenaño, M. (2015). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental (T.U.L.A.S)*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10534>

Canales sectoriales Interempresas. (s/f). *Decantadores con módulos lamelares para sedimentación acelerada; proceso de mantenimiento*. Interempresas. Recuperado el 28 de enero de 2020, de <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/106819-Decantadores-con-modulos-lamelares-para-sedimentacion-acelerada-proceso-de-mantenimiento.html>

Coordinación General de Formación e Innovación Educativa. (s/f). *Conceptos de número atómico, número de masa, masa atómica e isótopos*. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de

https://www.aev.cgfie.ipn.mx/Materia_quimica/temas/tema2/subtema3/subtema3.html

Cubillos, A. (1981). *Parámetro y características de las aguas residuales*.

[Biblioteca Virtual]. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=R EPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=140899&indexSearch=ID>

Datosmacro. (s/f). *Ecuador—Emisiones de CO2 2018*. datosmacro.com.

Recuperado el 1 de febrero de 2020, de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>

Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, 31991L0271, CONSIL, OJ L 135 (1991). <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj/spa>

Endress+Hauser. (s/f-a). *Buscador de productos por categoría | Endress+Hauser*. Recuperado el 26 de enero de 2020, de <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/buscador-productos?filter.business-area%5B%5D=analysis&filter.measuring-application-task%5B%5D=disinfection#filter>

Endress+Hauser. (s/f-b). *Medidor de cloro libre, cloro total y dióxido de cloro | Endress+Hauser*. Recuperado el 26 de enero de 2020, de <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/sensores-transmisores-cloro>

Endress+Hauser. (s/f-c). *Sensor inteligente de sólidos en suspensión | Endress+Hauser*. Recuperado el 26 de enero de 2020, de

<https://www.mx.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/sensor-solidos-suspension>

Endress+Hauser. (s/f-d). *Turbidímetros. Sensores de turbidez del agua* |

Endress+Hauser. Recuperado el 26 de enero de 2020, de

<https://www.mx.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/turbidimetros-sensores-turbidez-agua>

Espacio Sustentable. (s/f). *Agua, asado y cultura responsable*. Recuperado

el 1 de febrero de 2020, de <https://espaciosustentable.com/agua-asado-y-cultura-responsable/>

Fernandes, S. L., & Bala, G. J. (2016). ODROID XU4 based implementation of decision level fusion approach for matching computer generated sketches. *Journal of Computational Science*, 16, 217–224.

<https://doi.org/10.1016/j.jocs.2016.07.013>

Fernández, V. (2017, marzo 28). Agua virtual y Huella hídrica. *Territorio*

Geoinnova - SIG y Medio Ambiente. <https://geoinnova.org/blog-territorio/agua-virtual-y-huella-hidrica/>

Garcés, J. (2019). *Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano*. 123.

García, M. L. (2012). *Operaciones y Procesos Unitarios*. Issuu.

https://issuu.com/ingenieriaarquitecturausat/docs/operaciones_y_procesos_unitarios

González, J. (2017, julio 18). *Alcaldía de Guayaquil firmó contrato para tratar aguas residuales de 350 000 habitantes*. El Comercio.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/jaimenebot-firma-contrato-aguasresiduales-guayaquil.html>

Grupo Markin. (s/f). *Rosetón para tratamiento de aguas residuales – TL Ingeambiente*. Recuperado el 28 de enero de 2020, de <http://tingeambiente.com/servicios/roseton-para-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Guerrero Aguirre, Á., & Ramos Giraldo, P. J. (2014). *Sistema embebido de bajo costo para visión artificial*. 19(2), 12.

HardKernel. (s/f-a). *ODROID-H2 – ODROID*. Recuperado el 14 de diciembre de 2019, de <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-h2/>

HardKernel. (s/f-b). *ODROID-XU4Q Special Price – ODROID*. Recuperado el 14 de diciembre de 2019, de <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-xu4q-special-price/>

Inductive Automation. (s/f). *Powerful Control & Data-Visualization Software | Ignition SCADA*. Recuperado el 25 de enero de 2020, de <https://inductiveautomation.com/scada-software/>

INEC. (s/f). *Población y Demografía |*. Recuperado el 27 de enero de 2020, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *El 80% de las empresas en Ecuador no invierten en protección ambiental*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-80-de-las-empresas-en-ecuador-no-invierten-en-proteccion-ambiental/>

ITC Dosing Pumps. (s/f). *ITC_Sensor-ES.pdf*. Recuperado el 1 de febrero de 2020, de https://www.itc.es/wp-content/uploads/ITC_Sensor-ES.pdf

Lámpara UV Polaris Ultravioleta Germicida para Agua. (s/f). *Carbotecnia*.

Recuperado el 24 de febrero de 2020, de

<https://www.carbotecnia.info/producto/lampara-polaris-uv/>

López, M. (2018). *¿Sabes cuánta agua se necesita para fabricar tu ropa*

interior? El Plural. <https://www.elplural.com/el->

[telescopio/sostenibilidad/sabes-cuanta-agua-se-necesita-para-](https://www.elplural.com/el-telescopio/sostenibilidad/sabes-cuanta-agua-se-necesita-para-)

[fabricar-tu-ropa-interior_122040102](https://www.elplural.com/el-telescopio/sostenibilidad/sabes-cuanta-agua-se-necesita-para-fabricar-tu-ropa-interior_122040102)

Mejoras energéticas. (s/f). Monitor de sólido en suspensión en las aguas

residuales modelo Q46/88. *Control de Calidad del Agua - Mejoras*

Energéticas. Recuperado el 1 de febrero de 2020, de

[https://calidad.mejoras-energeticas.com/producto/monitor-de-solidos-](https://calidad.mejoras-energeticas.com/producto/monitor-de-solidos-q4688/)

[q4688/](https://calidad.mejoras-energeticas.com/producto/monitor-de-solidos-q4688/)

Ministerio de Defensa de Ecuador. (2009). *Código Penal*.

http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_ecu_penal.pdf

Ministerio de Salud Pública. (2006). *LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD*.

<https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY->

[ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf](https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2003). *TULSMA.pdf*.

<http://www.ambiente.gob.ec/wp->

[content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2004a). *LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE*

LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

Ministerio del Ambiente. (2004b). *LEY-DE-GESTIÓN-AMBIENTAL*.

<http://www.ambiente.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf

Morán Villela, D. J. R. (2014). *Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. URL.

Muñoz, H. B. (2019, mayo 8). ¿En Ecuador dónde se concentra la mayor demanda de agua? ¿Es realmente en el sector agrícola? *Dialoguemos*. <https://dialoguemos.ec/2019/05/en-ecuador-donde-se-concentra-la-mayor-demanda-de-agua-es-realmente-en-el-sector-agricola/>

Oviedo Moreno, F. (2017). *Automatización y control operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales de una productora cartonera*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/39152>

Pallo, L. (2015). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones no mayores de 3.000 habitantes*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3585>

PCE Instruments. (s/f). *Electrodos de pH*. Recuperado el 31 de enero de 2020, de <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/electrodos-pH.htm>

Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>

Portero Pesantes, M. B., & Amat Marchán, V. A. (2017). *Repositorio Digital UCSG: Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de*

la ciudad de Babahoyo.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9160>

PowerDEPOT. (s/f). *Aireadores Sumergibles ABS Aireadores de Agua Sumergibles ABS TA TAK*. Recuperado el 24 de febrero de 2020, de https://www.catalogodebombasdeagua.com/productos-aireadores_sumergibles_ta_tak.html

RAE. (s/f). *Definición de carga contaminante—Diccionario del español jurídico—RAE*. Diccionario del español jurídico - Real Academia Española. Recuperado el 28 de noviembre de 2019, de <https://dej.rae.es/lema/carga-contaminante>

Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.

Raspberry Pi. (s/f-a). *Buy a Raspberry Pi 3 Model B+ – Raspberry Pi*. Recuperado el 14 de diciembre de 2019, de <https://www.raspberrypi.org>

Raspberry Pi. (s/f-b). *Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi*. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://www.raspberrypi.org>

RENOVACIONES MECÁNICAS. (s/f). *FILTRO ANAEROBIO ROSETON – RENOVACIONES MECÁNICAS*. Recuperado el 28 de enero de 2020, de <http://www.renovacionesmecanicas.com.co/filtro-anaerobio-roseton/>

Reyes, G. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: Desinfección y formación de subproductos*. 94.

Reyes, M. (2016). *USO DEL CLORO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS: DESINFECCIÓN Y FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS* [Thesis].

<http://www.repositoriodigital.ipn.mx//handle/123456789/23350>

Rogel, K., & Gallardo, M. (2014). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Politecnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7555>

Ronquillo Abad, R. (2016). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales para ser utilizada en el Riego del Parque Samanes*.

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/16077>

Secretaría de Servicios Públicos EPAS. (s/f). *Agua Potable—EPAS*.

Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de

<http://www.epas.mendoza.gov.ar/index.php/sistema-sanitario/agua-potable>

Secretaría del Agua. (2014). *Ley de Recursos Hídricos Usos y*

Aprovechamiento del Agua. <https://www.agua.gob.ec/ley-de-aguas/>

Secretaria Nacional del Agua. (2011). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA, PROCESO No. 682-10-Dn, DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA ESMERALDAS*. [https://www.agua.gob.ec/wp-](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/InformeCrecult2.pdf)

[content/uploads/downloads/2012/07/InformeCrecult2.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/InformeCrecult2.pdf)

Sensores de pH/ORP 3/4 en combinación | Hach Chile—Aspectos

Generales | Hach. (s/f). Recuperado el 26 de enero de 2020, de

<https://www.termodinamica.cl/sensor-de-ph-y-orp/sensores-de-ph-orp-3-4-en-combinacion/family?productCategoryId=53559369015>

- Sensorex. (s/f). PH Sensors for Water and Wastewater Monitoring.
Sensorex. Recuperado el 26 de enero de 2020, de
<https://sensorex.com/ph-sensors-3/>
- SIEMENS. (s/f-a). *SIMATIC SCADA Systems* [Newton_ps-overview].
Siemens.Com Global Website. Recuperado el 24 de enero de 2020,
de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada.html>
- SIEMENS. (s/f-b). *SIMATIC WinCC (TIA Portal) ES*. Siemens.Com Global
Website. Recuperado el 24 de enero de 2020, de
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/simatic-wincc-tia-portal/simatic-wincc-tia-portal-engineering-software.html>
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1a ed). Ediciones de la U.
- SPENA GROUP. (s/f). Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales. *SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>
- SPENA GROUP. (2016, diciembre 19). Reja de Tambor Rotatoria NTF Nijhuis. *SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales*.
<http://spenagroup.com/filtro-reja-tambor-rotatoria-ntf-nijhuis/>
- Tecnocultivo. (s/f). *Electroválvula Agua 12vdc 1/2"*. Tecnocultivo.
Recuperado el 24 de febrero de 2020, de
<https://www.tecnocultivo.es/material-electrico/2776-electrovalvula-agua.html>

- Toranzos, M. (2019, diciembre 16). *El 53 % del agua de riego en Guayas está contaminada*. www.expreso.ec.
<https://www.expreso.ec/guayaquil/agua-riego-contaminada-guayas-1498.html>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (s/f). *Mol y Ley de Avogadro*. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de
<http://www.objetos.unam.mx/quimica/mol/>
- Valac. (2017). Clorador Valac. *Potabilizadores de agua eficientes, bajo costo y mantención, cloradores para potabilización de agua | VALAC*.
<http://www.valac.cl/category/sin-categoria/>
- Valera, A., Soriano, A., & Vallés, M. (2014). Plataformas de Bajo Coste para la Realización de Trabajos Prácticos de Mecatrónica y Robótica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(4), 363–376. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.09.002>
- Vega, N., Parra, P., Córdova, L., Andramuño, J., & Navarrete, V. (2018). Adaptive Control Implemented with Embedded Systems. *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609713>
- Vidal, M. (s/f). *Huella de carbono, La Primera Medida*. Recuperado el 1 de febrero de 2020, de
https://ecodes.org/documentos/Ecodes_HC_Ser%20Responsable.pdf
- Wonderware. (s/f-a). Wonderware System Platform | Highly scalable SCADA Platform. *Wonderware Software - Powering the Industrial World*.

Recuperado el 24 de enero de 2020, de

<https://www.wonderware.es/hmi-scada/system-platform/>

Wonderware. (s/f-b). Wonderware System Platform – Características |

Wonderware Iberia. *Wonderware Software - Powering the Industrial*

World. Recuperado el 24 de enero de 2020, de

<https://www.wonderware.es/hmi-scada/system->

[platform/caracteristicas/](https://www.wonderware.es/hmi-scada/system-platform/caracteristicas/)



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio** con C.C: # 0931056733 autor del Trabajo de Titulación: **Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 27 de Febrero del 2020

f. _____

Nombre: Alvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio

C.C: 0931056733



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en suspensión		
AUTOR(ES)	Álvarez Cedeño, Johnny Fabrizzio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Bastidas Cabrera, Tomás Gaspar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de Febrero del 2020	No. DE PÁGINAS:	86
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas Microcontroladores, Diseño Electrónico		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SISTEMAS EMBEBIDOS, PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AUTOMATIZADA, CALIDAD DEL AGUA, SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN AGRICULTURA, FILTROS UV		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	En el presente trabajo de titulación se realiza una propuesta a la FETD-UCSG, sobre la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales automatizada que permita determinar la cantidad de pH, cloro y sólidos en suspensión del agua tratada, así controlando la calidad de esta para que pueda ser reutilizada en riego de zonas verdes, agricultura o reabastecimiento de baterías sanitarias. El control de planta se basa en un sistema embebido en el cual controlara diversos instrumentos de la planta como: sensores, actuadores, etc. La planta de tratamiento de aguas residuales propuesta cuenta con una etapa preliminar de separación de sólidos, un módulo donde se realizan los tres principales tipos de tratamiento de aguas residuales y desinfección del agua mediante cloro, si el controlador de la planta determina de que el agua todavía no cumple con los estándares de calidad, hará circular el agua a través de un filtro UV. El diseño de la planta propuesta se ajusta a las necesidades de la FETD-UCSG para el tratamiento y reutilización de sus aguas negras, pero en base del mismo estudio se podría adecuar el diseño de la planta para las granjas que son propiedad de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593999172516	E-mail: johnny.fac17@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	Teléfono: +593-9-85086815		
	E-mail: eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			