UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERIO AMBIENTAL

TEMA:

"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE PUYO"

AUTORES:

WILSON EDUARDO COBA ITURRALDE

JAIME EDUARDO COBA ITURRALDE

DIRECTOR: MsC. PEDRO ANDRÉS PEÑAFIEL ARCOS

PUYO – ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS

Quienes suscriben Jaime Eduardo Coba Iturralde con C.I. 1850746288 y Wilson Eduardo Coba Iturralde con C.I. 1805180336, hacen constar que son autores del Proyecto de Investigación/ Trabajo de Integración Curricular titulado: **"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE PUYO"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo. MsC. Pedro Andrés Peñafiel Arcos. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como la interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 22 días del mes de Septiembre del 2020.



Wilson Eduardo Coba Iturralde

CI.1805180336



Jaime Eduardo Coba Iturralde

C.I 1850746288

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE PUYO"**



M.Sc. Rodríguez Leo

Presidente del Tribunal



M.Sc. Ledesma Rubén

Miembro del Tribunal



M.Sc. Cazares Karem

Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 288-SAU-UEA-2020

Puyo, 22 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El proyecto de investigación correspondiente a los egresados COGA ITURRALDE WILSON EDUARDO con C.I. 1805180335 y COGA ITURRALDE JAIME EDUARDO con C.I. 1850748268, con el Tema: **"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE PUYO"**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Ing. Peñafiel Arcos Pedro Andrés, M.Sc.. Ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 0%. Informe generado con fecha 22 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ingl Italo Marcelo Leon Pico M.Sc
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA .

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por
darme sabiduría y a la universidad por formarme,
en una persona con ética profesional y moral.

A mí tutor Ing. Pedro Peñafiel por tener
Paciencia y por a ver impartido sus conocimientos
Para elaborar el Proyecto.

Jaime

El agradecimiento primero es a Dios por bendecirme,
En cada momento de mi vida para ser mejor persona
Y a la universidad por formarme en una persona
Con ética y moral.

A mi tutor Ing. Pedro Peñafiel quien tuvo paciencia y
a ver impartido sus conocimientos para elaborar el proyecto.

Wilson

DEDICATORIA

En base al esfuerzo y perseverancia a este trabajo
Se lo dedico primero a Dios por haberme guiado y
Centrado en cada etapa de mi vida como estudiante.

A mi madre y mi padre por ser la base primordial en
Mi Vida, han sido quienes me han incentivado a seguir
A delante a pesar de los obstáculos que la vida me ha
Interpuesto.

Jaime

Este trabajo se lo dedico primero a Dios
Por haberme guiado en cada etapa que ha
de mi vida

A mis padres por ser el motor fundamental en mi vida,
Quiñes me han apoyado incondicionalmente a seguir
Adelante y cumplir con mis metas propuestas.

Wilson

RESUMEN

El objetivo fue implementar un tratamiento terciario de forma complementaria para la actual planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo que permita cumplir con la normativa ambiental de descarga, esto debido al inadecuado tratamiento que se da a dichas aguas, inicialmente se caracterizó los lixiviados física, química y microbiológicamente. Según lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A Normas de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, se determinó que los parámetros DBO, DQO, Nitrógeno total Kjedahl, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, están fuera de los límites permitidos establecidos en esta norma. Basándose en los análisis anteriores, se propuso tres sistemas para tratar los lixiviados, Filtro de Carbono, los Procesos de Oxidación Avanzada y Ósmosis Inversa, se evaluó la eficacia de estos sistemas en la reducción de la carga contaminante de los lixiviados. El sistema que se escogió por ser mas efectivo fue la Oxidación Avanzada de Fenton modificado con EDTA, este sistema opera de forma discontinua de 10h/día a temperatura ambiente, almacenando el lixiviado e impulsándolo mediante una bomba hacia el reactor Batch, en el cual se da el proceso de oxidación que permite reducir la carga contaminante, seguido de procesos que ayudan a cumplir su funcionamiento como la coagulación, sedimentación, y neutralización. La inversión del sistema de tratamiento de lixiviados es de $69,070.44 anual, con una inversión inicial de $103,830.28

PALABRAS CLAVES: lixiviados, relleno, planta de tratamiento, contaminación, filtro de carbono, Poa, osmosis inversa.

SUMMARY

The objective was to implement a complementary tertiary treatment for the current leachate treatment plant of the sanitary landfill of the city of Puyo that allows compliance with environmental discharge regulations, this due to the inadequate treatment given to said waters, initially characterized the leachates physically, chemically and microbiologically. As established in Ministerial Agreement 097-A Environmental Quality Standards and effluent discharge to water resources, it was determined that the parameters BOD, COD, Kjedahl total Nitrogen, total suspended solids, total solids, are outside the established permitted limits in this standard. Based on the previous analyzes, three systems were proposed to treat leachates, Carbon Filter, Advanced Oxidation Processes and Reverse Osmosis, the effectiveness of these systems in reducing the pollutant load of leachates was evaluated. The system that was chosen for being more effective was the Advanced Oxidation of Fenton modified with EDTA, this system operates discontinuously for 10h / day at room temperature, storing the leachate and driving it by means of a pump to the Batch reactor, in which it is It gives the oxidation process that reduces the pollutant load, followed by processes that help to fulfill its operation such as coagulation, sedimentation, and neutralization. The investment for the leachate treatment system is $ 69,070.44 per year, with an initial investment of $103,830.28

KEY WORDS: leachate, landfill, treatment plant, pollution, carbon filter, Poa, reverse osmosis.

Tabla de contenido

CAPITULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2
1.2. OBJETIVOS 2
1.3.1. Objetivo general 2
1.3.2. Objetivos específicos 2
1.3. JUSTIFICACIÓN 3
CAPÍTULO II 4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1. Residuos sólidos. 4
2.2. Relleno sanitario 6
2.3. Lixiviados 10
2.4. Normativa Ambiental Vigente 16
CAPITULO III 21
3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION 21
3.1. LOCALIZACIÓN 21
3.1.1. Ubicación del área de estudio. 21
3.1.2. Mapa del relleno sanitario de la ciudad de Puyo. 22
3.1.3. Relleno sanitario de la ciudad de Puyo 23
3.1.4. Instalaciones del Relleno Sanitario. 23
3.2. TIPO DE INVESTIGACION 25
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 26
CAPÍTULO IV 29
4. ANALISIS DE RESULTADOS 29
4.1. Datos totales del caudal promedio diario. 29
4.2. Caracterización de lixiviados 30
4.3. Resultados del objetivo 2 32
4.3.1 Alternativas de tratamiento 32
4.3.2 Filtro de carbón activado 32
4.3.3. Oxidación avanzada 34
4.3.4. Osmosis Inversa 35

4.3.5. Comparación de los tratamientos 37
4.4. Resultados del objetivo 3 42
4.4.1. Sistema Propuesto. 42
4.5. Descripción del proceso 43
4.5.1. Proceso FENTON modificado como oxidación avanzada. 43
4.6. Criterios de diseño para el dimensionamiento de los equipos principales. 44
4.6.1. Tanque de almacenamiento del lixiviado. 46
4.6.2. Tanque de sedimentación. 56
4.6.3. Dimensionamiento de los equipos secundarios para el sistema complementario de tratamiento de lixiviados (FENTON modificado con EDTA). 60
4.6.4. Tanque de agitación para formación y preparación del complejo. 61
4.6.5. Tanques de almacenamiento de la solución de NaOH. 68
4.6.6. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico. 69
4.6.7. Diseño de agitadores. 70
4.7. Dimensionamiento de tuberías y bombas. 73
4.8. Costo de Inversión y Operación. 82
CONCLUSIONES: 85
RECOMENDACIONES 86
BIBLIOGRAFÍA 87
ANEXOS 93

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de desechos generados anualmente de a nivel mundial. 5
Tabla 2. Comparación de las características de un relleno sanitario. 9
Tabla 3. Características generales de los lixiviados 13
Tabla 4. Clasificación de los lixiviados según la edad. 14
Tabla 5. A.M 097-A, (tabla 9) Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. 16
Tabla 6. Coordenadas Geográficas del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza. 21
Tabla 7. Coordenadas del punto de muestreo a la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados. 23
Tabla 8. Métodos mediante los cuales se realizaron los análisis de los lixiviados 26
Tabla 9. Muestreo de caudal de lixiviados 29
Tabla 10 : Densidad del lixiviado 29
Tabla 11. Análisis Físico, químico y microbiológico previo al ingreso a la planta de tratamiento. 30
Tabla 12. Análisis Físico, químico y microbiológico de la descarga de la planta de lixiviado. 31
Tabla 13. Comparación de los tratamientos. 37
Tabla 14. Costo de Inversión inicial. 38
Tabla 15. Metodología de criterios. 40
Tabla 16. Alternativas mediante la Matriz de Leopold. 41
Tabla 17.Procesos de Oxidación Avanzada 42
Tabla 18: Proceso FENTON modificado con EDTA. 44
Tabla 19. Dimensiones de los equipos principales del sistema complementario de lixiviados. 45
Tabla 20. Especificaciones del tanque de almacenamiento. 46
Tabla 21. Especificaciones del reactor Batch. 49
Tabla 22: Especificaciones Tanque de coagulación. 54
Tabla 23. Especificaciones del Tanque de Sedimentación. 55
Tabla 24. Hoja del Tanque de neutralización 59
Tabla 25. Hoja del Tanque de formación y acondicionamiento del complejo. 61
Tabla 26. Hoja del tanque de almacenamiento H2O2. 66
Tabla 27. Hoja de especificación del tanque de almacenamiento de NaOH. 67
Tabla 28. Hoja del tanque de almacenamiento de H2SO4. 68
Tabla 29. Hoja del tanque de almacenamiento de agua. 69
Tabla 30. Dimensiones, potencia y tipos de agitador de los equipos propuestos. 72
Tabla 31: Dimensionamiento de tuberías, válvulas y bombas para equipos principales. 73
Tabla 32: Especificaciones de las tuberías y válvulas del sistema de bombeo para alimentación de reactivos. 74
Tabla 33. Velocidades permisibles de succión y descarga para el diseño de tuberías. 74
Tabla 34. Accesorios y constante presente en la tubería para el almacenamiento del lixiviado hacia el reactor 76

Tabla 35. Especificaciones de las tuberías que conectan al tanque reactor. 77
Tabla 36. Parámetros para el dimensionamiento de la tubería que conecta el almacenamiento del complejo con el reactor. 79
Tabla 37: Especificación de bombas. 80
Tabla 38. Tiempo de bombeo de los sistemas. 81
Tabla 39. Etapas y del proceso. 81
Tabla 40. Costo directo para el sistema complementario del tratamiento de lixiviados. 82
Tabla 41: Costos directos mensual y anual de operación para el sistema complementario de lixiviados. 83
Tabla 42. Costo Indirecto mensual de salarios. 84
Tabla 43: Costo Indirecto anual de salarios. 84
Tabla 44. Costos de inversión inicial del sistema complementario de lixiviados. 84
Tabla 45: Costo de implementación del sistema complementario de lixiviados. 84

Índice de Figuras

Figura 1: Barreras de un relleno sanitario. 7
Figura 2. Esquema del filtro de Carbón Activado 33
Figura 3. Oxidación Avanzada. 34
Figura 4. Esquema de osmosis inversa. 36
Figura 5: Costos de inversión y operación. 39

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Generación de lixiviados 12
Ecuación 2: Volumen Operacional 47
Ecuación 3: Volumen Nominal = volumen operacional * el 20% 47
Ecuación 4: Relación H/D 47
Ecuación 5: Diámetro 47
Ecuación 6: Espesor de las paredes. 48
Ecuación 7. Espesor de pared del reactor 50
Ecuación 8. Espesor de fondo del reactor 50
Ecuación 9: Diámetro del tanque Reactor 52
Ecuación 10: Área del sedimentador. 56
Ecuación 11: Tiempo de retención del sedimentador 56
Ecuación 12: La altura del agua sobre el vertedero 56
Ecuación 13: Pantalla difusora 57
Ecuación 14: Área de circunferencia. 57
Ecuación 15 : Calculo número de orificios en la placa difusora 57
Ecuación 16. La altura de la pantalla difusora 57
Ecuación 17. Espaciamiento de los orificios entre filas 58
Ecuación 18. Espacio de orificios entre las columnas 58

Índice de Anexos

Anexo 1. Certificado de la toma de datos, antes de iniciar la pandemia para desarrollo de la tesis en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, del Ing. Marco Barreto. 93
Anexo 2. Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de lixiviado puro, tomados previo al ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales. 94
Anexo 3. Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de lixiviados, tomados en el punto de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales. 96
Anexo 4. Esquema Actual de la planta. 98
Anexo 5. Esquema de la planta con oxidación fenton modificado. 99
Anexo 6. Diagrama de Moody. 100
Anexo 7. Curva de operación de operación de sistemas de impulsión de las bombas RECIPROCANTES 1,2 y 3. 101

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de países latinoamericanos las tecnologías que se implementan para el tratamiento de los lixiviados no cumplen con las condiciones técnicas adecuadas para controlar la contaminación ambiental, por ejemplo: en el suelo, sistemas fluviales y agua subterránea, así como afectaciones a la salud pública. Esto último incrementa los costos de operaciones para los sistemas de tratamiento y pone en riesgo el uso de los recursos ambientales existentes. Por lo tanto, resulta de especial interés estudiar las diferentes tecnologías para tratar los lixiviados que se desarrollan a nivel mundial para identificar y evaluar los diferentes sistemas de depuración y visualizar tendencias locales para su implementación (Mejía, 2018).

A nivel mundial se han realizado estudios de la depuración de los lixiviados en los rellenos sanitarios. Existen investigaciones a escala de laboratorio, así como investigaciones a escala real, las cuales han dado resultados interesantes mediante diferentes tecnologías de depuración. Las tecnologías habitualmente usadas en estas investigaciones son los siguientes: procesos biológicos; sistemas naturales; recirculación de lixiviados; evaporación forzada; procesos de oxidación avanzada (POA); ozonización (Escarola, 2018).

En el Ecuador hay ciudades como Quito, Guayaquil, Cuenca y Loja que han logrado avances en el manejo de los desechos sólidos y el tratamiento de los lixiviados de una manera aceptable, para la mayoría de las ciudades del país no cuenta con un tratamiento adecuado para estas aguas. Por otra parte, la ciudadanía no cuenta con los conocimientos y cultura para depositar los desechos en lugares adecuados, por lo que son destinados a botaderos, ríos, quebradas, terrenos baldíos, esteros e incluso en la vía pública.

De forma local, en la ciudad de Puyo se ha podido evidenciar el mal manejo de los residuos sólidos por parte de la ciudadanía, ya que desechan los desperdicios en lugares que no están adecuados para esta actividad, esto pese a que se han realizado capacitaciones y charlas por parte de la municipalidad para instruir sobre este tema a la población. Así también se ha podido evidenciar el mal manejo del relleno sanitario y de manera especial en la planta de tratamiento de lixiviados, ya que no cuentan con procesos adecuados para hacer que los lixiviados cumplan con los parámetros establecido en la normativa vigente.

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema complementario para el tratamiento de los lixiviados que se dan en la planta de tratamiento del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, se plantea revisar y comparar diferentes procesos de depuración de lixiviados y escoger el proceso que logre una mayor eficiencia buscando así la mayor eficiencia al momento de descontaminar dichas aguas.

Los beneficiarios directos de esta investigación son la ciudadanía en general, ya que se busca minimizar la contaminación causada por la descarga de estos desechos en los efluentes, así como el municipio ya que se presentará un diseño eficiente para complementar el tratamiento de los lixiviados y solucionar dicho problema.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Deficiencia en los procesos de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, actualmente los lixiviados después de ser tratados no cumplen con los límites máximos permisibles de descarga al cuerpo de agua dulce, según lo establecido en la normativa, esto comprobado en el análisis físico – químico y microbiológico realizado en el año 2019. Así mismo los lixiviados pueden causar daños en el suelo, agua y demás recursos naturales existentes. Por tal motivo se plantea el presente estudio técnico con el fin de proponer el diseño de un sistema factible para el tratamiento terciario como complemento de los procesos para descontaminar dichos lixiviados.

1.2. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Implementar un tratamiento terciario de forma complementaria para la actual planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo que permita cumplir con la normativa ambiental de descarga.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el proceso y las condiciones actuales de generación y caracterización de los lixiviados tratados en el sistema de tratamiento del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.

- Investigar procesos complementarios de tratamiento para los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo que permitan cumplir con la normativa ambiental vigente

- Proponer un proceso terciario, mediante un esquema de funcionamiento que permita dimensionar el equipo y los costos del mismo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfoca en el mejoramiento de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, ya que el proceso existente en la actualidad requiere un sistema complementario, para que funcione de forma más eficiente ya que la planta lleva funcionando dos años, en ese tiempo ya ha tenido un cambio en sus procesos, agregando un sistema para que el agua lluvia no se mezcle con los lixiviados, en los últimos análisis realizados a los lixiviados se demostró que parámetros como: la DBO, DQO, Nitrógeno total, Sólidos suspendidos totales y Sólidos totales no cumplen con lo establecido en la normativa ambiental vigente.

Ya Emilys Mosquera (2018), menciona la falta de efectividad por parte de los procesos para depurar los lixiviados, por lo cual en su trabajo se plantea el diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados para la celda emergente con el fin de disminuir la contaminación causada por los mismas, dicho diseño se implementó para tratar los lixiviados proveniente de la celda antigua de disposición final de residuos sólidos, pero en los análisis físico, químicos y microbiológicos que se realizaron siguen sin cumplir con la normativa.

Así también en el trabajo de Paulo Carvajal (2019), se hace un análisis físico-químico y microbiológico de los lixiviados en donde se demuestra que parámetros como: DBO, DQO, Nitrógeno, Solidos totales, Fosforo total, Arsénico, no cumple con lo establecido en el A.M 097-A (tabla 9) anexo 1, y se plantea un plan de manejo ambiental para intentar mejorar la calidad de los procesos que se llevan a cabo en el relleno sanitario y a su vez disminuir la contaminación de los lixiviados.

Por lo tanto, si no se logra controlar adecuadamente la carga contaminante de los lixiviados, estos pueden contaminar los suelos, aguas superficiales y subterráneas, para ello se plantea proponer un sistema terciario para optimizar los procesos que se llevan a cabo dentro del relleno sanitario al momento de tratar los lixiviados.

Los beneficiarios directos de esta investigación son la ciudadanía en general, ya que se busca minimizar la contaminación que causa la descarga de efluentes contaminantes en los cuerpos naturales de agua del sector, así como el Municipio ya que se busca una alternativa económica y a su vez efectiva para solucionar dicho problema.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Residuos sólidos.

Se define como todo material desechados por la población siendo de origen doméstico, industrial, comercial y también proveniente de las construcciones, la cual carecen de valor económico (Richmagui, 2017).

2.1.1. Composición:

- Residuos orgánicos: son desechos de origen biológico que fue parte de un ser vivo.
- Residuos inorgánicos: no son de origen biológico ya que son de origen industrial u otros procesos no naturales.
- Mezcla de residuos: son mezclas de los materiales orgánicos e inorgánicos (Recytrans, 2013).
- Residuos peligrosos: Tienen un potencial peligroso por combinación de los residuos orgánicos e inorgánicos (Recytrans, 2013).

2.1.2. Composición de residuos sólidos.

Los residuos se componen de factores como:

- El nivel y modo de vida de la población, por consumo excesivo de productos hecho de envases y de todo tipo. (Alvarado, 2016).
- La actividad poblacional como sectores rurales, sectores urbanos o residencias.
- La climatología son tipos de productos que se consumen en las diferentes estaciones del año. (Alvarado, 2016).
- La potencialización de producción de los residuos sólidos urbanos e industriales son los principales dueños del consumo (MAE & PNGIDS, 2015).

Tabla 1. Tipos de desechos generados anualmente de a nivel mundial.

Generación de Desechos	
Metales	4%
Vidrio	5%
Plástico	12%
Papel	17%
Alimentos o Mundial, 2018	44%

Fuente: (Banco Mundial, 2018).
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

En países pobres o bajo ingreso económico los desechos no son recogidos de manera adecuada alrededor de un 90%, por lo que los costos constituyen un 20% del presupuesto municipal, los desecho son quemados a cielo abierto (Banco Mundial, 2018).

2.1.3. Gestión integral de residuos sólidos.

La gestión de los residuos impulsa a los municipios del Ecuador a una economía eficiente para la disminución de la contaminación del ambiente y mejor la calidad de vida de la población, así como: capacitaciones acerca del manejo de los residuos para el manejo adecuado de los mismos (MAE, 2014).

Los residuos sólidos que se generan en el mundo son el principal subproducto del desarrollo urbano, la contaminación alta del aire, agua y el suelo, siendo un riesgo inminente para la salud (MAE & PNGIDS, 2015).

Para la disminución de impactos de la gestión de los residuos son designadas a las autoridades locales con el fin de disminuir la contaminación. (MAE & PNGIDS, 2015).

2.1.4. Programa nacional de la gestión integral de los residuos sólidos.

El MAE junto al gobierno con el programa nacional para la gestión integral de residuos sólidos “PNGIDS”, tiene como objetivo fortalecer la gestión de los residuos sólidos, de forma sostenible e integral, tratando de bajar la contaminación ambiental, buscando la calidad de vida de la población (MAE, 2017).

El estado ecuatoriano considera que el 70% de desechos sean ubicados en los rellenos sanitarios con estrictas normas técnicas, ya que el programa de (PNGIDS), tiene como objetivo hacer cumplir la eliminación de los basureros a cielo abierto en las municipalidades del país (MAE, 2017).

El programa de Gestión Integral de residuos sólidos tuvo beneficios en 15 gobiernos del país, con el financiamiento del estudio del PNGIDS a 47 gobiernos descentralizados de los cuales 23 están transcurso y 24 ya terminaron estudios (MAE, 2017).

2.1.5. Etapas de la GIRS (Redondo, 2016).

- **Generación:** producción de los residuos orgánicos e inorgánicos por la sociedad.
- **Disposición inicial:** es la separación de la fuente ya que el proceso se realiza en la fuente generadora, antes de ser almacenado.
- **Almacenamiento temporal:** en esta etapa son almacenados pasajeramente y aclimatados los residuos para el transporte y su respectivo tratamiento final.
- **Recolección y transporte:** aquí intervienen las municipalidades quienes son los encargados de la recolección.
- **Acopio o transferencia:** los residuos son almacenados temporalmente, para después ser trasladados a los transportes, aquí se transporta la mayor cantidad para reducir costos de viaje.
- **Aprovechamiento y transformación (tratamiento y reciclaje):** esta etapa consiste en los procesos de transformación física, química y biológica de los desechos, las mismas que modifican las características, ya que puede ser utilizado.
- **Disposición final:** la última etapa es destinada a técnicos para sus respectivos manejos de desechos evitando daños ambientales.

2.2. Relleno sanitario

Se denomina relleno sanitario al espacio destinado donde se depositan los residuos sólidos de una ciudad.

Principalmente en los rellenos sanitarios debe ser almacenada la basura en terrenos grandes, lejos de las ciudades, disponiéndolos en capas de determinado espesor, los cuales son cubiertos con ciertos materiales aptos para esto, como son la arcilla o el hule polietileno, usado para tener un adecuado manejo de olores y gases que generan los residuos (Torri, 2017).

Las operaciones de los rellenos sanitarios deben estar respaldadas por documentación específica y seguir las distintas normas que regulan tanto el espacio y la ubicación del relleno, así como el encargado de la recolección de la basura y al personal en general que labora en dichos rellenos (Umaña, 2018).

El reglamento de gestión de residuos sólidos en 1995, la ley de Medio Ambiente Nº1333, lo define al relleno sanitario como: "Una obra de ingeniería para la disposición final segura de residuos sólidos en sitios adecuados y bajo condiciones controladas, para evitar daños al ambiente y la salud" (Ministerio del Medio Ambiente y Agua, 2012, pág. 11).

Concepto Moderno: "sistema de múltiples barreras donde la barrera exterior siempre protege cuando la barrera interior por alguna razón pierde su función" (Gavilanes, 2017).

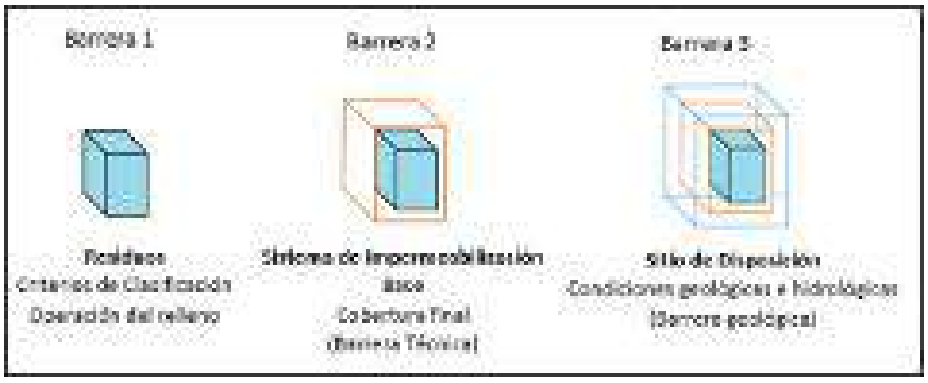


Figura 1: Barreras de un relleno sanitario.

Fuente: (Gavilanes, 2017).

- Primera Barrera: depende de las características de los residuos y de la forma de la operación del relleno sanitario.
- Segunda Barrera: son las técnicas de medida que se realizan durante la operación de los rellenos sanitarios.
- Tercera Barrera: son en el propio sitio, es decir la aptitud de la zona que está ubicada.

2.2.1. Cómo funcionan los rellenos sanitarios

Los rellenos sanitarios operan mediante la colocación de los residuos en un gran agujero, existiendo diferentes niveles de residuos para facilitar la descomposición de los mismos, además de atrapar los gases tóxicos que son liberados en el proceso (Brandan , 2016).

2.2.2. Infraestructura necesaria.

Sistema de impermeabilización de base: evita la filtración de los lixiviados y protegen las aguas subterráneas.

- Recolección y tratamiento de lixiviados: el área de la celda del drenaje se cubre con capas, con tubos para drenar y para tener eficiencia, encima de los tubos se coloca grava, el tubo debe ser grande para que no haya taponamientos.
- Control de aguas superficiales: se debe evitar las aguas superficiales para disminuir los lixiviados.
- Recolección y tratamiento de gases: la generación de los gases se da por la descomposición anaerobia.
- Sistema de geo-membranas: este sistema evita filtraciones (Arias & Agudelo, 2005).

2.2.3. Tipos de rellenos sanitarios.

Relleno sanitario manual: son procesos a mano como la colocación, compactación y la cubierta de los desechos, construcción de chimeneas, mantenimiento de las cunetas, excavación de las nuevas celdas, los rellenos sanitarios manuales tienen límites ya que la compactación del material es menos eficiente, la estabilidad del cuerpo de basura no lo permite las elevadas altura por lo que podría colapsar, estos rellenos sanitarios es recomendable para municipios con escases económico y comunidades pequeñas (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010, págs. 13-14).

Relleno sanitario semi mecanizado: este relleno sirve para poblaciones que generan 40 toneladas/ días (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010, págs. 13-14)

Relleno sanitario mecanizado: son técnicas apropiadas para municipalidades medianas y grandes que producen un porcentaje considerable de basura, estos rellenos utilizan máquinas para compactar y cubrir los desechos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010, págs. 13-14).

Tabla 2. Comparación de las características de un relleno sanitario.

Características	Relleno manual	Relleno semi mecanizado	Relleno mecanizado
Producción de 15 Tn/ día	SI	NO	NO
Producción de 40Tn/ día	NO	SI	SI
Utilización de maquinaria y herramientas para los rellenos sanitarios	NO	SI	SI
Personal calificado	NO	SI	SI
Sistema de tratamiento de lixiviados	SI	SI	SI
Caseta de control	NO	SI	SI
Bascula de pesaje	NO	SI	SI
Sistema de tratamiento de gases	SI	SI	SI
Metodología de trabajo	Excavación de celdas en terrenos planos	Colina artificial sobre los terrenos planos	Construcción de celdas nuevas de gran capacidad
	Construcción de celdas terraceadas sobre un talud	Relleno en quebrada seca y en un hueco	Movimiento del material de cobertura y construcción de celdas para residuos peligrosos

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010, pág. 15).
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

2.2.4. Fases de descomposición de los residuos sólidos de un relleno sanitario.

La descomposición de residuos se da por cinco fases:

- Fase 1 ajuste inicial: los compuestos orgánicos se descomponen por la acción microbiana en condiciones aeróbicas ya que el aire queda atrapado en el cuerpo del relleno.
- Fase 2 transición: aquí hay disminución de oxígeno, lo que se crea es un ambiente anaerobio, el nitrato se reduce a un gas nitrógeno y mientras que el sustrato se trasforma en sulfuro de hidrogeno.
- Fase 3, fase ácida: los ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de hidrogeno, por lo que se da un peso alto molecular a los compuestos para que los microrganismos sean comprendidos.
- Fase 4 fermentación: en esta fase el metano se transforma en ácido acético y gas de hidrogeno por los microorganismos anaerobios que son comúnmente los metanos genéticos, en esta fase los residuos alcanzan los 40 a 60 ºC.
- Fase 5 maduración: en esta última fase la actividad microbiana desciende, así como el metano y el dióxido de carbono, ya que el nitrógeno y el oxígeno se infiltra a través de los residuos.

También depende de la composición de los residuos, la humedad y el pH, la compactación de residuos y presencia de las bolsas de aire.

Cuando se habla de degradación anaerobia es importante que haya presencia de humedad en los residuos, ya que no si existe humedad disminuye la acción microbiana hasta que se detenga la degradación (Chávez, 2011).

2.3. Lixiviados

Los lixiviados es resultado del filtrado del agua procedente de la escorrentía superficial, lluvia o producida por la descomposición de los mismos residuos, a través de los materiales del vertedero, proceso denominado percolación, esto adquiere a su paso materiales de los residuos y productos de la descomposición de los mismos cambiando la composición de estos líquidos y produciendo lixiviados con diferente agresividad de contaminación.

Los lixiviados posiblemente son riesgo de contaminación como, en el suelo, el subsuelo, en aguas superficiales y subterráneas (Alvarado, 2018).

2.3.1. Definiciones.

Los lixiviados "son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y que se producen por la disolución de uno o más compuesto de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos." (Contreras Álvarez & Suárez Gelvez, 2006).

Los lixiviados son "como cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que sea emitido o esté contenido en un vertedero" puede ser caracterizado como solución acuosa en cuatro grupos de contaminantes: macro componentes inorgánicos, metales pesados, materia orgánica disuelta y compuestos xenobióticos (Pérez , 2008).

Según (Portillo, 2020) "son los líquidos que circulan entre los residuos que se encuentran en los vertederos".

2.3.2. Generación de lixiviados

Los lixiviados se determinan con el volumen en el relleno sanitario:

- Precipitación anual.
- Escorrentía superficial o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSU.
- Grado de compactación de los residuos.
- Capacidad de campo para retener humedad: del suelo y de residuos (Luna, 2008).

2.3.3. Cálculo de la generación de lixiviados.

Lixiviados con el volumen esta dado principalmente a la precipitación, por lo que la escorrentía influye en su aumento. Los volúmenes pueden alterarse por la operación y la localización de cada relleno, se calcula dependiendo cada relleno.

Para calcular el lixiviado percolado o el caudal se utiliza el método suizo ya que es más rápido y sencillo.

Ecuación 1. Generación de lixiviados

$$\boldsymbol{Q = \frac{1}{t}\, P * A * K}$$

Dónde:

Q= Caudal medio de lixiviados (l/seg)

P= Precipitación media anual (mm/año)

A= Área superficial del relleno (m2)

T= Número de segundos en un año (31,356.000 seg/año)

K= Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura; se recomienda los siguientes valores:

- Para rellenos débiles la compactación con el peso específico es de 0,4 a 0,7 Tm/m3 y se estima la producción de lixiviado entre 25 y 50% (K= 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno sanitario.
- Para los rellenos que son compactados fuerte con peso específico > 0,7 Tm/m3, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (K= 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual (Timbalombo, 2014).
- La precipitación dado tomado de la estación meteorológica de la ciudad de Puyo es de 4.460,0 mm/año (Lascano, 2020).

2.3.4. Características de los lixiviados.

Los lixiviados pueden estar en compuestos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y metales pesados, además pueden contener microorganismos patógenos. Las calidades de los mismos dependen de la cantidad de material orgánico. Por lo general en países en vías de desarrollo, los lixiviados de los rellenos sanitarios contienen mayor cantidad de material orgánico, siendo estos más fáciles de tratar (Giraldo, 2018, pág. 12).

Tabla 3. Características generales de los lixiviados

Valor, mg/l		
Constituyente	**Relleno nuevo (< 2 años)**	**Relleno maduro (>10 años)**
DBO5	10,000	100-200
COT	6,000	80-160
DQO	18,000	100-500
Solidos suspendidos totales	500	100-400
Nitrógeno orgánico	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	200	20-40
Nitrato	25	5-10
Fosforo total	30	5-10
Orto fosforo	20	04-ago
PH	6	6.6-7.5
Calcio	1,000	100-400
Magnesio	250	50-200
Potasio	300	50-400
Sodio	500	100-200
Cloro	500	100-400
Sulfatos	300	20-50
Hierro total	60	20-200

Fuente: (Giraldo, 2018, pág. 12)
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

2.3.5. Tipos de lixiviados según la edad.

Los lixiviados de un relleno sanitario varían con el tiempo. Como se verá a continuación esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento y debe tenerse cautela, cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales, las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia

orgánica fácilmente biodegradable, que se tiene en los residuos sólidos en los países en desarrollo (Giraldo, 2014).

- Lixiviado joven: Se produce en rellenos sanitarios recién rellenados, cuyas características son altamente contaminantes, provocando problemas de toxicidad. Mientras transcurre el tiempo las concentraciones de las sustancias disminuyen continuamente con el tiempo; siempre va haber una parte del relleno que aporta lixiviados jóvenes. Se recomienda sistemas de tratamientos biológicos (López, 2016).
- Lixiviado maduro: Se considera a los residuos líquidos que tienen una edad entre 5 y 10 años.
- Lixiviado viejo: Se considera al lixiviado entre una edad mayor a 5 años. Tienen una baja biodegradabilidad de la materia orgánica. Se recomienda sistemas de tratamiento físicos químicos (García J. , 2018).

Tabla 4. Clasificación de los lixiviados según la edad.

	Joven	Maduro	Viejo
Parámetro	I Biodegradable	II Intermedio	III Esterilizado
Edad (años)	<5	5 – 10	>10
PH	6,5	6,5 -7,5	>7,5
DQO (mg/l)	>20000	3000 – 15000	<5000
DQO/COT	<2,7	2,0 - 2,7	>2,0
DBO5/DQO	>0,5	0,1 - 0,5	<0,1
AGV (%COT)	>70	5 - 30	<5
Metales pesados	2		<50 mg/l

Fuente: (Timbalombo, 2014).
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

2.3.6. Tratamientos.

Los sistemas para tratar los lixiviados son los tratamientos físico – químico, este puede llevar corto el tiempo para ponerla en marcha, la sencillez del equipamiento y material, fácil automatización y poco sensibilidad a los cambios de toxicidad derivada del propio uso de compuestos químicos, este tratamiento se puede aplicar dependiendo del tipo de lixiviado que se tenga y la edad del vertedero (CIFUENTES, 2013).

- Filtro de carbono: El sistema de filtro de carbón activado es la transferencia del soluto a un gas líquido, donde el soluto es retenido por la adhesión intermolecular acompañada con moléculas sólidas (Méndez , Hernández et al., 2002).
- POA: Los procesos de oxidación avanzada, utilizan oxidantes químicos para disminuir los niveles de DQO/DBO, por lo que buscan separar los componentes orgánicos e inorgánicos oxidables, estos procesos son capaces de oxidar totalmente los materiales orgánicos a través del radical hidroxilo, transformándolos en compuestos menos contaminantes (Monge, Silva, & Bengoa, 2016).
- Ósmosis inversa: El proceso de ósmosis inversa es un método más avanzado para la purificación del agua, el efluente necesita atravesar su ciclo por varios filtros, siendo una técnica muy eficiente a diferencia de otros procesos que utilizan presión alta para lograr traspasar el efluente por la membrana (Hidalgo, 2016).
- Procesos anaerobios: son tecnologías clásicas para el removimiento de la materia orgánica, ya que en los lixiviados es predominante la materia orgánica disuelta son procesos biológicos de tratamiento.
- Procesos aerobios: Este proceso al igual que los anaerobios son altamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados de relleno sanitario, existe experiencia con las lagunas aireadas hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas, se utilizan cuando requieren obtener una baja concentración de DBO en los efluentes (Ger, 2017).
- Sistemas Naturales: Tienen la ventaja de la simplicidad en su operación y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento desde su pretratamiento hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse (Decologia.info, 2019).
- Recirculación de los lixiviados: se conoce sus usos como la tecnología del relleno birreactor que se está estudiando en los EE.UU con el apoyo de la EPA, la recirculación de los lixiviados con frecuencia se imputan otros beneficios a su efecto en el pretratamiento de los lixiviados como son el aumento en las tasas de producción de biogás en el relleno sanitario, maximizando de la producción de gas por tonelada de residuo dispuesto y aumento de las tasas de estabilización y asentamientos en el relleno (Alvarado, 2016).
- Sistemas de membranas: Se encuentra en la literatura de aplicaciones de la micro filtración, la ultrafiltración, la ósmosis inversa, ósmosis directa e inclusive la pree vaporación al tratamiento de los lixiviados ya sea directa o acoplada, se observa la

micro filtración como la ultrafiltración, se han acoplado a los procesos biológicos de tratamiento aerobio en reemplazo de los sedimentadores, tanto para la remoción de DBO como para la nitrificación del amoniaco (Chisag, 2014).

2.4. Normativa Ambiental Vigente

Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 9: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Las descargas de aguas están regidas principalmente por el Acuerdo Ministerial 097-A, Norma de Calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua, donde se establecen los límites permisibles de descarga para un cuerpo de agua dulce, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5. A.M 097-A, (tabla 9) Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	**Expresado como**	**Unidad**	**Límite máximo permisible**
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	30,0
Alquil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,1
Arsénico Total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro Total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro Total	CN-	mg/L	0,1
Cinc	ZN	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5

Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl-	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción>al 99,9%
Color real 1	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cormo Hexavalente	Cr+6	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO5	mg/L	50,0
Demanda Química de Oxigeno	DQO	mg/L	100,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	Fenol	mg/L	5,0
Fosforo total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso Total	Mn	mg/L	2,0

Materia flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno total Kjedahl	N	mg/L	50,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de Hidrogeno	PH	mg/L	5-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Solidos suspendidos Totales	SST	mg/L	80,0
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO4-2	mg/L	1000
Sulfuros	S-2	mg/L	0,5
Temperatura	ºC	mg/L	<35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/L	0,5

Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de Carbono	mg/L	1,0
Nota: La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.			

Fuente: (MAE, 2015)**.**
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

2.4.1. Acuerdo Ministerial No.097-A de 06 de noviembre de 2015.

El Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo I: la reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULSMA, Norma de calidad ambiental y de la descarga de efluentes al recurso agua, en la tabla 9, enseña las normas generalizadas para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.

2.4.2. Constitución de la República del Ecuador

Al revisar la Constitución de la República del Ecuador nos encontramos que en su artículo 12, dispone que el agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable, que constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible y que por lo tanto es esencial para la vida; en si artículo 14 dice que uno de los objetivos del régimen de desarrollo será recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garanticen a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad de agua, aire y suelo; en el artículo 411, dispone que el Estado debe garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad del agua (Asamblea Nacional, 2008).

2.4.3. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD)

En concordancia con la Constitución, el COOTAD, entra en vigencia tras su publicación en Registro Oficial del día martes 19 de octubre del 2010. El COOTAD tiene como objetico impulsar la equidad a través de la organización del territorio, la conformación del régimen de gobiernos autónomos descentralizados y regímenes especiales; y consolida la descentralización de manera obligatoria y progresiva. En este código se precisa como uno de los fines de los gobiernos autónomos descentralizados – GAD "LA recuperación y conservación de la naturaleza y mantenimiento de un ambiente sostenible y sustentable", en

el artículo 136 cuarto inciso, dispone a los GADs municipales, establecer “en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas esteros o más, aguas residuales provenientes de alcantarillado público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado” (Ministerio Coordinador de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados, 2010).

2.4.4. Código Orgánico Ambiental (COA)

En su Título II: Sistema único de manejo ambiental; Capítulo V: Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos; Articulo 19: Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales: expresa que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para las instalaciones de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley. Así mismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salud pública. Si las aguas residuales no pueden llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no se afecte los cuerpos receptores, suelo o vida silvestre (Ministerio del ambiente y el agua, 2018).

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. LOCALIZACIÓN

3.1.1. Ubicación del área de estudio.

La planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Catón Pastaza se encuentra ubicada en el kilómetro 6 ½ vía Puyo a la parroquia "10 de agosto".

Coordenadas geográficas del Relleno Sanitario:

Tabla 6. Coordenadas Geográficas del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza.

PUNTO	X	Y	ZONA
1	838555	9837944	17
2	838796	9837867	17
3	838761	9837714	17
4	838943	9837644	17
5	838894	9837025	17
6	838659	9837073	17
7	838636	9836810	17
8	838618	9836758	17
9	838358	9836804	17
10	838339	9837000	17
11	838434	9837531	17

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

3.1.2. Mapa del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.



Tabla 7. Coordenadas del punto de muestreo a la descarga de la planta de tratamiento de lixiviados.

Coordenadas del punto de muestreo de la descarga	
X	170825
Y	9837121
Zona	18

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

3.1.3. Relleno sanitario de la ciudad de Puyo

El Relleno Sanitario es propiedad de la municipalidad de Pastaza que ha funcionado como botadero que es controlado por más de 18 años con una superficie de 2,5 hectáreas, la cual están construidas otras instalaciones las mismas que facilita el manejo de los residuos.

El Relleno Sanitario tiene características de terreno ondulado con desniveles de 5 m de altura msnm, hasta la altura de 975 msnm en promedio y moderada la pendiente del terreno (Guzmán, 2017).

El área que ocupa el relleno sanitario es de 16 hectáreas y el tiempo de vida útil del lugar es de 30 años (Guzmán, 2017).

3.1.4. Instalaciones del Relleno Sanitario.

ÁREA	DESCRIPCIÒN	FOTOGRAFIA
Hangares de acumulación de material no reciclable y/o desechos tecnológicos.	Aquí se almacenan residuos inorgánicos que no se pueden reciclar.	 **FOTOGRAFIA 1: Hangares.**
Garita de Guardia	Lugar que presta el servicio del control de seguridad y los registros de la entrada y la salida.	 **FOTOGRAFIA 2: Garita.**

Oficinas	Aquí se registra las bitácoras, el control de los residuos, pesaje de los camiones tanto llenos o vacíos de igual manera se llevan registros fotográficos de todas las actividades que se realizan en el relleno.	 **FOTOGRAFIA 3:** Oficinas.
Mecánica	En este sitio los obreros elaboran canastillas para la recolección de los residuos. En este lugar se necesita más espacio y EPP, la falta de estos pone en riesgo a las personas que laboran en las oficinas por el fuerte ruido que se genera.	 **FOTOGRAFIA 4:** Mecánica.
Albergue Canino	Aquí se recogen a los animales que no tienen propietario de acuerdo a la ordenanza actual del GADMP y presentan las condiciones que son necesarias para albergar a los animales por un tiempo determinado.	 **FOTOGRAFIA 5:** Albergue canino.
Área de descanso y consumo de alimentos	En este lugar los obreros toman un descanso y almuerzan, ya que no existe ningún otro lugar para ello.	 **FOTOGRAFIA 6:** área de descanso.
Área de clasificación de los residuos	Aquí se separan los materiales reciclables para posteriormente la venta, el lugar no cuenta con las condiciones necesarias para realizar la actividad ya que hay	 **FOROGRAFIA 7:** Separación de

	riesgo de contraer enfermedades o infecciones.	los residuos.
Área de pesaje	Se pesa los camiones de recolección tanto a su entrada y salida para saber la cantidad de residuos que entra ala del relleno sanitario.	 **FOTOGRAFIA 8 :** Báscula.
Área de compostaje	En este lugar se hace la elaboración de abono orgánico se lo realiza con herramientas que son manuales ya que el abono es destinado para los proyectos agrícolas que realiza la municipalidad.	 **FOTOGRAFIA 9 :** área de compostaje.
Celda	Aquí se da la disposición final de los residuos sólidos tanto como orgánicos e inorgánicos ya que una vez depositados los residuos se compactan y se cubre con una capa de tierra para así evitar la llegada de vectores y los malos olores.	 **FOTOGRAFIA 10:** Celda de la disposición de los residuos sólidos

Fuente: Relleno Sanitario de Puyo, 2019
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime

3.2. TIPO DE INVESTIGACION

Para las investigaciones que se realizaron en el presente objeto de estudio se tomó en cuenta un enfoque Exploratorio (cualitativo), el cual tiene el propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre el tema que se investigó.

3.2.1. Exploratorio (cualitativo)

Se revisaron los informes técnicos, fichas técnicas y los planes de manejo ambiental que tiene el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, así como los análisis de laboratorio realizados a los lixiviados, verificando que estos cumplan con lo establecido en el A.M. 097-A, para comprobar datos y la eficiencia de la planta de tratamiento de dichos contaminantes. Se analizaron tesis y otros trabajos realizados en este lugar, estudios de diversos repositorios de universidades e informes científicos para tener una idea más clara de cómo proceder con el diseño del tratamiento terciario a proponer.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

- En primera instancia se realizó los procesos y condiciones actuales de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, se revisó informes facilitados por el municipio en el cual se detallan los procesos que realiza la planta de tratamiento de lixiviados, se analizó el Plan de Manejo Ambiental del relleno sanitario de la ciudad de Puyo realizado por el Ingeniero Douglas Guzmán, donde se especifican algunos de los problemas que se pueden evidenciar en dicho lugar, como la contaminación al suelo, el agua y riesgos para los trabajadores del relleno sanitario, así también la metodología que se utilizó para realizar el cálculo del caudal como se muestra en la tabla 9, además se revisó el proyecto de tesis del Ing. Jorge Lascano: "Depuración de lixiviados del Relleno Sanitario de la ciudad de Puyo, perteneciente al cantón Pastaza, provincia de Pastaza, utilizando biomasa residual", en dicho trabajo se realizó un análisis físico, químico y microbiológico de los lixiviados donde se demuestra que algunos parámetros no cumplen con lo establecido en la normativa vigente, determinando así el problema a solucionar, como la falta de un sistema de tratamiento terciario para descontaminar dichas aguas.

Tabla 8. Métodos mediante los cuales se realizaron los análisis de los lixiviados

ENSAYO	MÉTODO/NORMA
Aceites y Grasa	Standard Methods Ed.23.2017 5520 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Standard Methods No 5210 B
Demanda Química de oxígeno	PE-AL-05 Standard Methods

	Ed.23.2017 5220D
Fenoles	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994
Coliformes Fecales	Standard Methods Ed.23.2017 9222 B
Nitrógeno total kjeldahl	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994
Tensoactivos aniónicos	Standard Methods Ed.23.2017 5540 C
Potencial de Hidrógeno	PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H^+ B
Sólidos Suspendidos totales	Standard Methods Ed.23.2017 2540 D
Sólidos Totales	Standard Methods Ed.23.2017 2540B
Mercurio	PE-AL-10 EPA 3015 A, Rev. 1 2007 EPA 245.1, Rev.3, 1994 EPA 7470ª, Rev.1, 1994
Plomo	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994
Fósforo total	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994
Arsénico	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994
Cianuro total	PE-AL-09 Standard Methods Ed.23.2017 4500 CN-E

Fuente: LABCESSTA S.A, 2019
Elaborado por: Jaime Coba y Wilson Coba

- Para el cumplimiento del segundo objetivo, se realizó un análisis de diferentes alternativas de procesos complementarios entre varios procesos como: filtro de carbono, POA, Osmosis Inversa, para el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en busca de los diferentes procesos y metodologías que puedan servir, para tratar los lixiviados generados, así también se realizaron entrevistas y consultas a expertos del sector.

- Para el cumplimiento del tercer objetivo, escogimos la mejor alternativa que se investigó anteriormente, además se dimensiono la capacidad operativa, tomando en cuenta ecuaciones de diseño establecidos en las Normas API RP 14E, de donde se obtuvo las ecuaciones para el diseño de las tuberías, para el cálculo de la altura libre y el diseño de los reservorios se basó en la (OPS, 2005a), para el espesor de la pared se usó la metodología del libro "Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 37 y cabuya aplicado a la industria automotriz" de (Paredes, Pérez, & Castro , 2017), se realizó un análisis de alternativas junto al tutor de la investigación, y del libro "Tratamiento biológico de lixiviados : Principios, modelación y diseño" de (Vazquez, 2017), donde se establecen algunas ecuaciones de diseño, valores de masa establecidas para el tratamiento de lixiviado , que sirvieron para cumplir con este objetivo, se realizó un análisis de costos de los equipos principales y secundarios, así como de salarios del personal y mantenimiento de la planta.

CAPÍTULO IV

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Las muestras de los caudales diarios generados en la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Puyo, fueron realizadas por el Ing. Jhampier Gaibor.

La planta actual de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo cuenta con: un tratamiento primario, el cual impide que solidos gruesos pase a la planta de tratamiento, consta de válvulas para el ingreso del lixiviado y agua lluvia a los sistemas de tratamiento, luego viene un sistema sedimentador por gravedad, pasa a un filtro anaerobio de forma ascendente y posterior al filtro aerobio de forma descendente y como último paso a la descarga al cuerpo de agua dulce. Tal como se puede ver en el anexo 4.

4.1. Datos totales del caudal promedio diario.

Tabla 9. Muestreo de caudal de lixiviados.

Días	Muestra (8 días)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Caudal (m3/día)
Miércoles	1	22	53,35	0,412	35,59
Jueves	2	22	56,75	0,388	33,52
Viernes	3	22	57,69	0,381	32,91
Sábado	4	22	54,35	0,405	34,99
Domingo	5	22	52,41	0,421	36,35
Lunes	6	22	45,11	0,488	42,16
Martes	7	22	53,15	0,414	35,76
Miércoles	8	22	48,01	0,459	39,65
PROMEDIO				0,421	36,35

Fuente: GADMP, 2019.
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 10 : Densidad del lixiviado

Nº DEMUESTRA	**DENSIDAD (kg/m^3)**
1	996,10
2	998,56
Promedio	997,33

FUENTE: GADMP, 2019.

4.2. Caracterización de lixiviados

Punto de entrada y salida de los lixiviados a la planta de tratamiento, antes de que dichas aguas sean descargadas al cuerpo hídrico. Estos resultados se pueden observar en la tabla 11 y tabla 12.

Tabla 11. Análisis Físico, químico y microbiológico previo al ingreso a la planta de tratamiento.

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE MAXIMO	CRITERIO
Aceites y Grasas	mg/L	20	30,0	CUMPLE
Demanda Bioquímica de oxigeno	mg/L	758,47	100	NO CUMPLE
Demanda Química de oxigeno	mg/L	1968	200	NO CUMPLE
Fenoles	mg/L	0,105	0,2	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100 Ml	6300	1000	CUMPLE
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	1089,52	50,0	NO CUMPLE
Tensoactivos aniónicos	mg/L	0,115	0,5	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	mg/L	7,75	6-9	CUMPLE
Solidos Suspendidos totales	mg/L	542	130	NO CUMPLE
Solidos totales	mg/L	9100	1600	NO CUMPLE
Mercurio	mg/L	0,0023	0,005	CUMPLE
Plomo	mg/L	0,17	0,2	CUMPLE
Fosforo total	mg/L	14,3	10,0	NO CUMPLE
Arsénico	mg/L	0,0009	0,1	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	0,01	0,1	CUMPLE

Fuente: Laboratorio LABCESTTA S.A, 2019.
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 12. Análisis Físico, químico y microbiológico de la descarga de la planta de lixiviado.

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE MAXIMO	CRITERIO
Aceites y Grasas	mg/L	7,6	30,0	CUMPLE
Demanda Bioquímica de oxigeno	mg/L	407	100	NO CUMPLE
Demanda Química de oxigeno	mg/L	1111	200	NO CUMPLE
Fenoles	mg/L	0,075	0,2	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100 mL	4300	1000	CUMPLE
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	168,36	50,0	NO CUMPLE
Tensoactivos aniónicos	mg/L	0,217	0,5	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	mg/L	7,33	6-9	CUMPLE
Solidos Suspendidos totales	mg/L	190	130	NO CUMPLE
Solidos totales	mg/L	3568	1600	NO CUMPLE
Mercurio	mg/L	0,002	0,005	CUMPLE
Plomo	mg/L	0,16	0,2	CUMPLE
Fosforo total	mg/L	0,5	10,0	CUMPLE
Arsénico	mg/L	0,0042	0,1	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	0,007	0,1	CUMPLE

Fuente: Laboratorio LABCESTTA S.A, 2019.
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Análisis:

Los datos analizados del Laboratorio LABCESTTA S.A de la descarga de lixiviados se observa que la DQO tiene una cantidad de 1111 mg/l, por lo tanto, es un valor alto para cumplir con el límite máximo establecido por el acuerdo Ministerial No. 097 Norma de Calidad Ambiental.

Interpretación:

En cuanto al funcionamiento de la planta de tratamiento de lixiviados se logró identificar que requiere un proceso complementario para el mejor funcionamiento, ya que actualmente no cumple la normativa ambiental vigente para la descarga a un cuerpo natural de agua, por tanto dentro de los parámetros que no cumplen con los límites permisibles son: DBO, DQO nitrógeno Kjeldahl, solidos suspendidos, solidos totales, sus valores se encuentran por encima del valor máximo permitido en la legislación ambiental Ecuatoriana. De igual manera se pudo evidenciar que al calcular la DBO y DQO, el índice de biodegradabilidad es de 0.366, esto nos indica que el tratamiento de lixiviados que funciona actualmente requiere un tratamiento terciario para reducir la carga contaminante y acercarse a los límites permisibles que se enmarcan dentro de la normativa ambiental vigente.

4.3. Resultados del objetivo 2

4.3.1 Alternativas de tratamiento

El tratamiento de los lixiviados es fundamental para evitar la contaminación de las aguas subterráneas, ya que se pueden clasificar por categorías de acuerdo a las características, así como son los niveles de tratamientos que se logre dar al contaminante para remover u oxidar.

Para escoger el sistema más adecuado de lixiviados, se debe conocer la edad por la biodegradabilidad que poseen, para los lixiviados que son jóvenes la utilización de sistemas biológicos es una alternativa y los lixiviados que son viejos el tratamiento más eficiente es el sistema físico-químico debido a su baja biodegradabilidad (Canto, 2018).

A continuación, se da a conocer las alternativas para el tratamiento de los lixiviados, teniendo en cuenta su eficiencia, valor económico, espacio requerido, funcionamiento, operación entre otros parámetros que se cumplan con lo requerido.

4.3.2 Filtro de carbón activado

El filtro de carbón activado es la transferencia del soluto de un gas a un líquido, en la cual el soluto es retenido por la adhesión intermolecular acompañada con moléculas sólidas.

Cuando el líquido pasa a través de los filtros de carbono las composiciones químicas se quedan en el carbón, donde el resultado es claro y puro, en cuanto a la eficiencia del filtro depende del flujo y la temperatura del agua, pueden tener diferencias en las propiedades como lo son: el tamaño de los contaminantes que requieren ser eliminados o tratados, la calidad del carbón dependerá de la eficacia que se requiere para tratar el contaminante, como por ejemplo: en algunos casos se utilizan la cascara del coco y en algunos derivados del

carbón que se obtiene la madera la misma que normalmente se comercializa como un carbón activado granulado. En la figura 2 se observa el esquema del filtro de carbón activado (WATER, 2020).

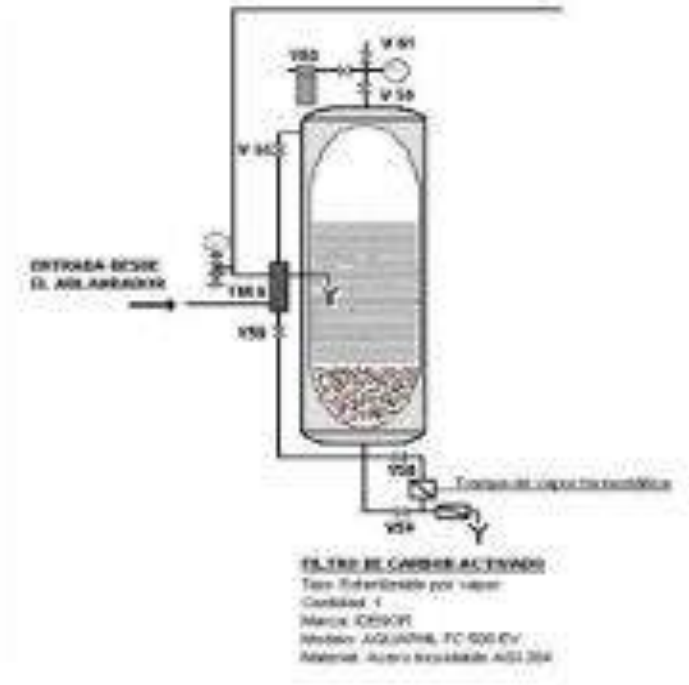


Figura 2. Esquema del filtro de Carbón Activado

Fuente: (NIB, 2010).

La eficiencia disminuye de forma progresiva en el proceso, ya que al adsorber tiene disponible una cierta área para tratar los contaminantes, en diversos estudios realizados en la actualidad genera eficiencia de remoción de DQO y también es capaz de realizar remoción directa de la DBO5; así como los compuestos orgánicos, bromo, cloro, color y sabor (Canto, 2018).

Ventajas

1. No utiliza productos químicos adicionales de limpieza.
2. Retiene las partículas orgánicas y algunas inorgánicas que producen sabores y olores.
3. Requiere bajo costo de inversión inicial.
4. Requiere un pequeño espacio de instalación.
5. Alta eficiencia del sistema.
6. De cada 10 litros de agua corriente produce 10 litros de agua purificada.
7. Se puede instalar como adaptación de filtros existentes.

8. Da alta calidad de agua, la cual estará libre de contaminantes orgánicos y químicos.

Desventajas

1. Requiere ser lavado con mayor frecuencia.
2. Se puede incurrir con mayor pérdida de carbón debido a la frecuencia del lavado.
3. Perdida de carbón durante el retro lavado.

Un estudio realizado en la planta de tratamiento de lixiviados de Mérida en México demuestra que el filtro de carbón activado en cuanto a la DQO, se obtuvo una remoción del 60 al 90 % aplicando el pH de 2 y del 65% a lixiviados crudos con 8 horas de tiempo, se aplicaron tres modelos de isotermas como son: Langmuir, Freunlich y Bet, donde ninguno de los tres se ajustó para adsorción de la materia orgánica de los lixiviados. (Méndez, Hernández et al., 2002).

4.3.3. Oxidación avanzada



Figura 3. Oxidación Avanzada.
Fuente: (Monge, Silva, & Bengoa, 2016).

Los procesos de oxidación avanzada (POA), utilizan oxidantes de forma química para lograr disminuir los niveles de DQO,DBO según (Monge, Silva, & Bengoa, 2016), buscan separar los componentes orgánicos y los componentes inorgánicos oxidables, estos procesos son capaces de oxidar totalmente materiales orgánicos, a través del radical hidroxilo (OH), transformándolos en compuestos menos contaminantes como por ejemplo: en dióxido de carbono y agua, actualmente existe una muy amplia gama de procesos derivados de oxidación

avanzada entre los cuales, se puede destacar la oxidación química, oxidación ultravioleta, etc (Pinos, 2020).

Estos procesos por oxidación avanzada son principalmente aprovechados en aguas recalcitrantes toxicas o materia no biodegradable. Dentro de la oxidación avanzada es importante incluir la ozonización (O3), ozonización combinada con peróxido de hidrogeno o agua oxigenada (O3/H2O2), la irradiación ultravioleta (UV). La irradiación ultravioleta combinada con ozono (UV/H2O2), proceso FENTON (FE2+/H2O2), oxidación electroquímica etc (LENNTECH, 2020).

La eficiencia del POA se da por la eliminación de un 50% de la DQO como lo son los fenoles y los compuestos orgánicos, un estudio realizado en el relleno sanitario en México en la ciudad de Mérida Yucatán, se utiliza el proceso FENTON para tratar lixiviados con una alta carga contaminante, la cual consiste en tratar el efluente combinando, con H2O2 Y FE2SO4 en condiciones acidas, con dicho método mencionan que se logró evidenciar que la remoción promedio de materia orgánica como DQO fue de un 78% y un COT 87%, aumentando el índice de biodegradabilidad para posteriormente dar un tratamiento biológico. (Méndez, García, Castillo, & Sauri, 2010).

Ventajas

1. La transformación química de los contaminantes.
2. La gran mayoría no presenta generación de lodos.
3. Eliminación de contaminantes que no han sido removidos con procesos convencionales.
4. Aumento del índice de biodegradabilidad de los contaminantes de las aguas para que puedan ser tratadas con procesos bilógicos convencionales.
5. Algunos procesos aportan en la desinfección microbiana del agua.

Desventajas

1. Es alto en costo.
2. Consumo energético.

4.3.4. Osmosis Inversa

El proceso de osmosis inversa es considerado como, el método más avanzado para la purificación del agua, ya que el efluente necesita atravesar su ciclo por varios filtros

siendo una técnica muy eficiente, que a diferencia de otros procesos utiliza una presión muy alta para lograr traspasar el efluente por la membrana, es un método muy prometedor para el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios, posee una gran eficacia en la remoción de la mayoría de contaminantes, es importante mencionar que las aplicaciones de osmosis inversa estudiadas, han dado lugar al tratamiento de lixiviados viejos o que en su carga contaminante pose bajas concentraciones de DBO5, este proceso hace mención a múltiples ventajas, requiere un alto consumo energético si se hace referencia con otras tecnologías de tratamiento, pero es importante mencionar que su operación y mantenimiento genera un alto valor económico (Hidalgo, 2016).

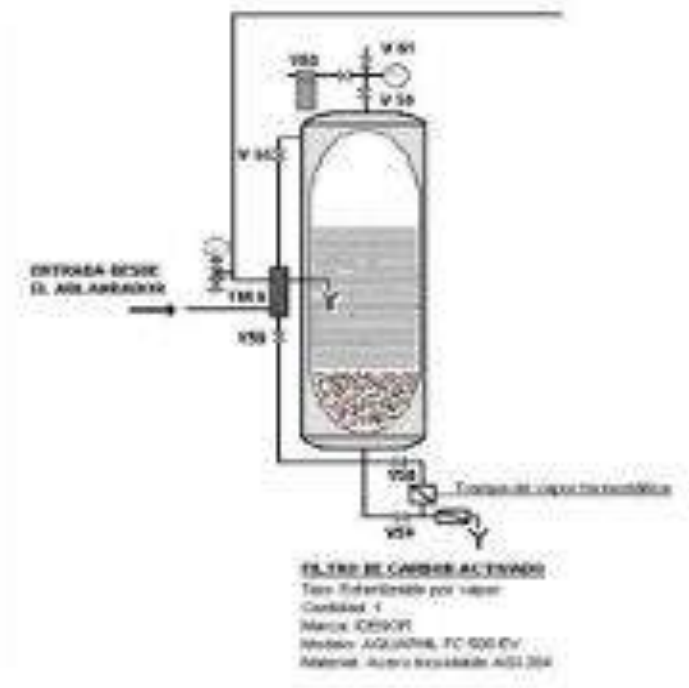


Figura 4. Esquema de osmosis inversa.

Fuente: (Hidro quivir, 2020).

Ventajas

1. Son respetuosos en el medio ambiente, porque no utilizan productos químicos nocivos durante su proceso.
2. Purifica el agua.
3. Elimina los minerales disueltos.

Desventajas

1. Requieren enorme cantidad de agua.
2. Los sistemas devuelven 5 a 15% del agua empujada.
3. El agua que entra al sistema debe estar libre de bacterias.
4. Requieren un alto consumo energético.

4.3.5. Comparación de los tratamientos

Los sistemas de tratamiento trabajan en configuraciones muy diferentes, los cuales se une a otros sistemas para realizar los respectivos procesos de depuración de las aguas, por ello al realizar la comparación de dichos sistemas, no se lo realizan en función a la caracterización del lixiviado final, porque este depende mucho de las configuraciones de los mismos, es por ello que se realizó una comparación utilizando los contaminantes que no cumplen con los límites permisibles, tal y como se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Comparación de los tratamientos.

DIFERENTES ALTERNATIVAS	DQO	DBO5	SST	NT	ST
FILTRO DE CARBON ACTIVADO	x	x	x	o	o
POA	x	x	x	x	x
OSMOSIS INVERSA	x	x	x	x	x

X	**Aplica**
O	**No aplica**

Fuente: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

En la Tabla 13 se observa las diferentes alternativas que ayudan en el tratamiento de lixiviados, se eligió las mejores tecnologías actuales, para tratar los lixiviados del relleno sanitario de Puyo, dichos métodos son: el filtro de carbón activado, la Procesos de oxidación avanzada y la Osmosis inversa, donde podemos apreciar que tipo de contaminantes son capaces de remover dichas alternativas de tratamiento.

4.3.6. COSTOS DE INVERSION Y OPERACIÓN DE ALTERNATIVAS

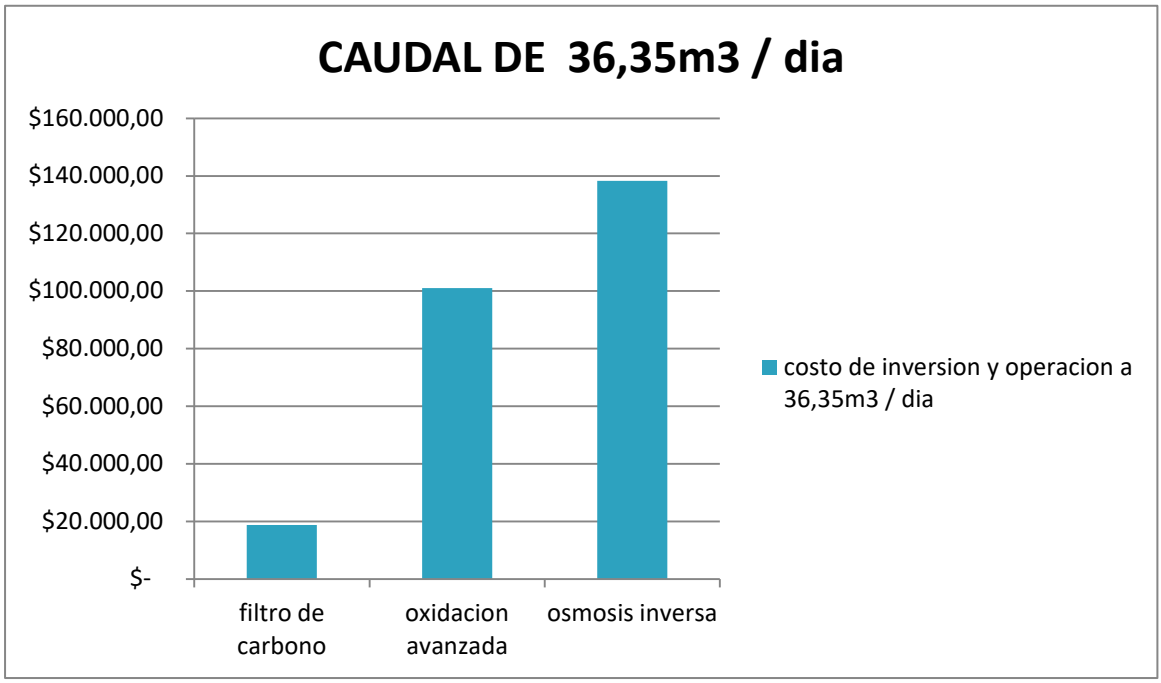
Como se puede evidenciar en la tabla número 14, Se estimaron costos de inversión inicial para las diferentes alternativas de tratamiento a partir de estudios bibliográficos y para un caudal de 100 m^3/día con estos datos se calculó los costos iniciales para el caudal de 36.35 m^3/ día y así se realizó una comparación de costos entre los sistemas propuestos.

Tabla 14. Costo de Inversión inicial.

		COSTO DE INVERSIÓN INICIAL ($) 100 m^3/ día	**COSTO DE INVERSIÓN INICIAL($) 36,35 m^3/ día**
COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN	FILTRO DE CARBONO	$51.500,54	$18,721.69
	POA	$284.000,61	$103,830.28
	OSMOSIS INVERSA	$380.400,47	$138,286,051

Fuente: (Canto, 2018).

Figura 5: Costos de inversión y operación.



Fuente: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Interpretación: Se analizó el costo que tiene cada uno de los tratamientos a un caudal de 100m^3/día y se lo adapto al caudal de 36,35 m^3/día; el cual es generado a la planta de tratamiento de lixiviados del el relleno sanitario de Puyo, dando un valor económico para cada una de las tecnologías de tratamiento, por lo cual el costo del filtro de carbón activo es de $18,721.069, oxidación avanzada tiene un costo de $103,830.28 y el de osmosis inversa un costo de $138,286,051.

Tabla 15. Metodología de criterios.

METODOLOGIA				
Se calcula la magnitud en base a diversos criterios.				
M= Eficiencia + Consumo de Energía + Espacio + Dificultad + Costos				
Eficiencia	Consumo de energía	Espacio	Dificultad de operación	Costos
Buena = 1	Bajo = 1	Pequeño = 3	Básica = 1	Bajo = 3
Muy Buena = 2	Medio = 0,5	Mediano = 2	Sofisticada = 2	Medio = 2
Excelente = 3	Alto = 0,1	Grande = 1		Alto =1

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 16. Alternativas mediante la Matriz de Leopold.

ALTERNATIVAS												CONCEPTO
SISTEMAS	EFICICIENCIA	ONSUMO DE ENERG	ESPACIO	DIFICULTAD DE OPERACIÓN	COSTOS	MAGNITUD						
						Eficiencia	Consumo de Energia	Espacio	Difificutad	Costos	Valor Total	
FILTRO DE CARBON ACTIVADO	Esta tecnologia es una que se puede encontrar en la naturaleza capaz de reducir cargas contaminantes la principal remocion el DBO5-no utiliza productos QUIMICOS adicionales	Requiere un consumo de energia considerable	Requiere pequeño espacio de instalacion	Operación continua	Requiere un bajo costo de instalacion	1	0,1	3	1	3	8,1	Buena
POA	Son muy útiles para eliminar contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico. Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración. Se usan para disminuir la toxicidad de los efluentes.	Moderado consumo energetico	Requiere un pequeño espacio para su instalacion	Requiere mano de obra especializada	Alto costo de instacion y operación	3	0,5	2	2	2	9,5	Excelente
OSMOSIS INVERSA	Metodo mas avanzado en la actualidad-capacidad de remover alta carga contaminante incluso al efluente tratado se le puede dar usos diferentes aplicaciones como riego de vias agricultura etc.	Alto consumo energetico	Requiere un espacio considerable para su instacion y uso	Operación tecnica y sofisticada	Alto costo de operación	3	0,1	1	2	1	7,1	Buena

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Interpretación:

Se realizó una matriz de las 3 tecnologías candidatas, para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo entre las cuales se destacan filtro de carbono activo, oxidación avanzada, osmosis inversa. Cada una de las tecnologías fue analizada minuciosamente, según su criterio de diseño y el lugar en que se desempeña cada una de ellas verificando así: su veracidad al momento de tratar las diferentes cargas contaminantes para adaptarlas a nuestro sistema y elegir la mejor tecnología que ayuda de forma complementaria al tratamiento, es importante destacar que se procedió a realizar una valoración numérica, a cada variable según su eficiencia, consumo de energía, espacio que ocupa, dificultad, operación y costos, la metodología utilizada fue similar a la utilizada por Leopold como se muestra en la tabla de metodología de criterios y se eligió a la oxidación avanzada como sistema complementario para la planta de tratamientos de lixiviados en la ciudad de Puyo.

4.4. Resultados del objetivo 3

4.4.1. Sistema Propuesto.

Tabla 17. Procesos de Oxidación Avanzada

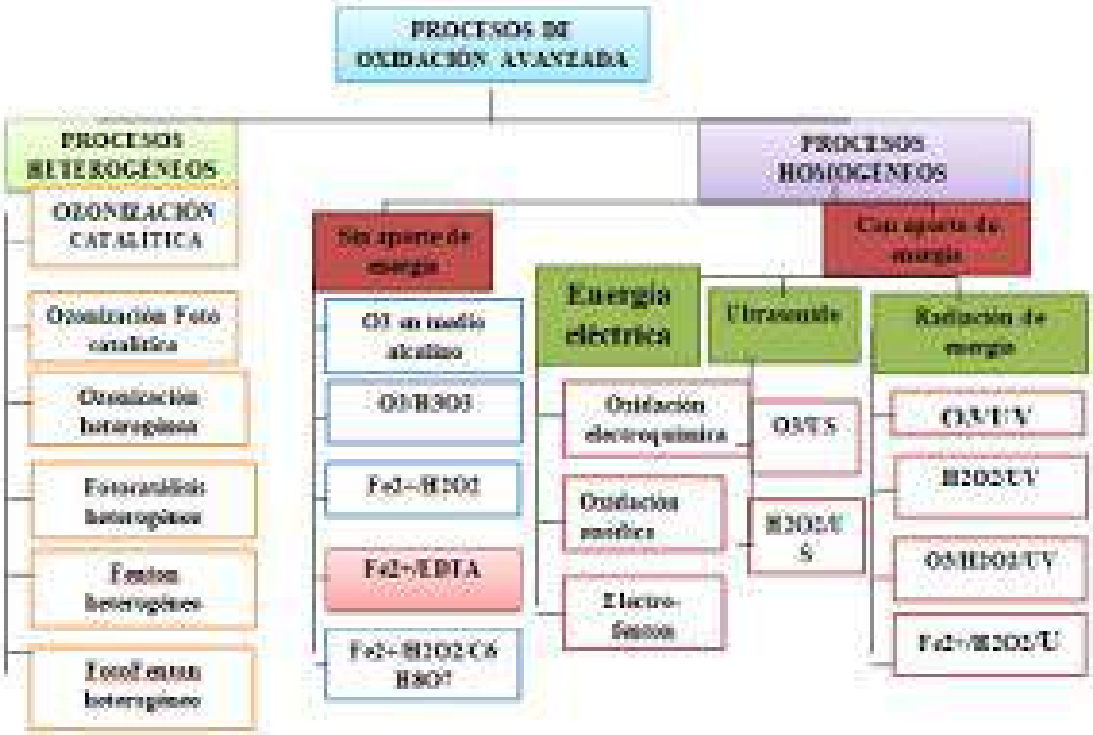


Figura 6: Procesos de la Oxidación Avanzada

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.5. Descripción del proceso

4.5.1. Proceso FENTON modificado como oxidación avanzada.

El proceso FENTON modificado con EDTA fue elegido entre los diferentes procesos de oxidación avanzada, ,por su eficiencia de remoción de contaminantes, además es beneficioso, ya que trabaja con un pH neutro, requiere bajo consumo energético y es un proceso homogéneo, a diferencia de los otros procesos de oxidación avanzada que sus valores de operación son elevados por ejemplo: los tratamientos de FENTON tradicional y FENTON con H8O7, requieren modificar el pH de forma acida para operar de forma oxidativa, lo cual genera un costo adicional, lo que se busca para cumplir el tercer objetivo es que el proceso sea eficiente y optimizar costos de operación, lo más importante, este proceso se ajusta a las necesidades requeridas para el tratamiento de lixiviado de la ciudad de Puyo, en el análisis físico, Químico y microbiológico realizado el laboratorio, se pudo evidenciar que los lixiviados de la ciudad de Puyo, se mantienen a un pH neutro este dato fue muy importante al momento de seleccionar el método para tratar el lixiviado de forma complementaria.

Fenton conocido como el proceso de los más antiguos y bien reconocido como POAS, este ha sido objeto de estudio por HENRY JHONN HORSTSMAN FENTON en el año 1894. Este proceso fue utilizado a partir de la década de 1960 para remover contaminantes tóxicos (Isch, 2016).

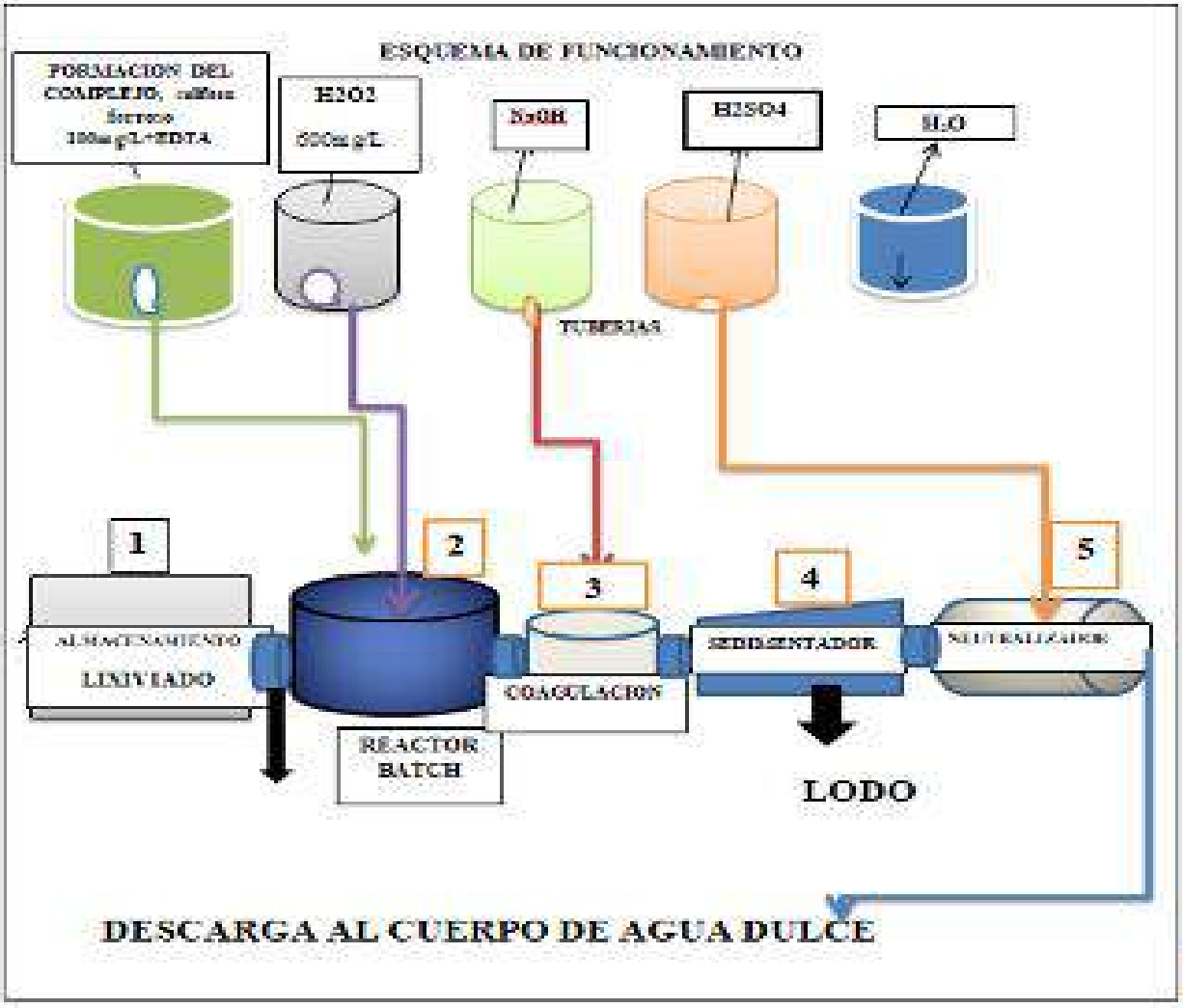
Este proceso parte a partir de la reacción de iones ferrosos con peróxido de hidrogeno para así, lograr producir radicales hidroxilos, donde consiste en una reacción térmica de forma rápida, la cual es producida en la oscuridad (García J. , 2017).

Este proceso es llamado Agente quelante o también conocido como agentes secuestradores, son solubles de iones metálicos en presencia de varios agentes químicos que, se encuentran en soluciones de forma acuosa un agente de forma quelante, posee constituyentes con capacidad de formar uno o varios anillos quelantes, por la donación de un electrón al ion metálico, por lo general se lo encuentra en forma de molécula con un ion central metálico y normalmente, se lo conoce como aceptor. Se ha logrado comprobar que los agentes de forma quelantes permiten realizar trabajos en valores de pH neutros, lo cual en el proceso Fenton tradicional no lo permite; ya que es necesario trabajar en un pH acido lo cual genera un costo de operación adicional (García J. , 2017).

4.6. Criterios de diseño para el dimensionamiento de los equipos principales.

Los equipos principales para el sistema complementario del tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo son: un tanque de almacenamiento, un reactor Batch, tanque de floculación, sedimentador secundario, un tanque de neutralización y un tanque para la formación y acondicionamiento complejo (Cajas, 2018, pág. 21).

Tabla 18: Proceso FENTON modificado con EDTA.



INTERPRETACION:

Este proceso opera de forma discontinua de 10 h/día a temperatura ambiente, primero se almacena el lixiviado el cual será impulsado por una bomba hacia el reactor Batch, en el cual actúa el proceso de oxidación FENTON al adicionar complejo preparado + peróxido de hidrogeno al 50%, es necesario que se agite por un tiempo de 15 minutos a 130 rpm, posteriormente se procede a la etapa de coagulación, en donde se desestabiliza el ion férrico al adicionar NAOH, esto incrementa el valor del pH a 12 y el ion férrico se precipita en forma de hidróxido férrico, se aglomera y se separa en la etapa de sedimentación por acción

de la gravedad en forma de lodos y finalmente en la etapa de neutralización las cuales previa a la descarga necesitamos ajustar el pH para que cumpla con la normativa, ya que el pH se elevó a 12 al adicionar NAOH, por lo que se adiciona ácido sulfúrico al 98% en una agitación continua de 200 rpm por 15 minutos, para así cumplir con los límites de descargas para cuerpos de agua dulce y finalmente el tanque de agua es utilizado para dar mantenimiento de limpieza al reactor.

En la presente tabla 19 se puede evidenciar los cálculos realizados para el dimensionamiento de los equipos principales con su volumen de operación, volumen nominal y el material que se utiliza en los equipos propuestos en el tratamiento complementario de lixiviados en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo.

Tabla 19. Dimensiones de los equipos principales del sistema complementario de lixiviados.

EQUIPO	MATERIAL	VOLUMEN DE OPERACIÓN m^3	VOLUMEN NOMINAL (m^3)	DIMENSIONES (m)
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL LIXIVIADO	Concreto	36,35	43,62	Altura = 3,55 Diámetro = 3,95
REACTOR	PRFV	2,60	3,12	Altura = 2,53 Diámetro = 2,5
TANQUE COAGULADOR	HORMIGÓN	2,40	2,88	Altura = 2,44 Diámetro = 1,22
TANQUE DE SEDIMENTACION	CONCRETO	5,15	8,07	Largo= 5,15 Ancho= 1,60 profundidad=1,15
TANQUE DE NEUTRALIZACION	PRFV	5,15	6,18	Altura = 2,59 Diámetro = 1,73

Nota: (PRFV = fibra de vidrio y resina poliéster)

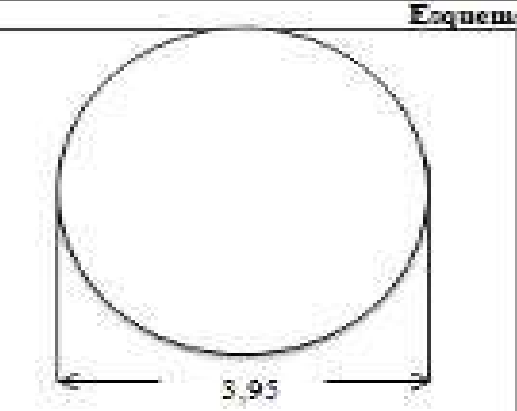
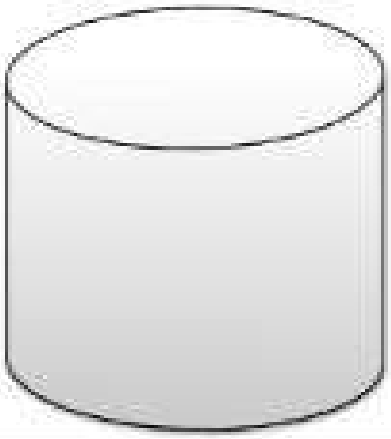
Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.6.1. Tanque de almacenamiento del lixiviado.

Para lograr el diseño del tanque de almacenamiento se debe considerar la relación diámetro y altura H/D < 1, un factor de seguridad por un 20 por ciento con respecto al dimensionamiento y un tiempo de retención de 24 horas.

El material del tanque fue seleccionado en función a la resistencia que obtiene la corrosión, condiciones ambientales de exposición,

Tabla 20. Especificaciones del tanque de almacenamiento.

HOJA DE ESPECIFICIACIONES N°1	
Nombre del equipo	Tanque de almacenamiento del lixiviado
Material de construcción	Concreto
Dimensiones: Altura: 3,55 Diámetro: 3,95	**Características Técnicas:** Presión de diseño: 58,89 KPa Capacidad: 43,62 m^3
Este tanque almacena el efluente posterior al tratamiento para aplicación del proceso FENTON, con un TR de 24 horas, la cual homogeniza el potencial de Hidrogeno y el caudal por medio de la agitación	
Esquema del Equipo	
	

El volumen de operación del almacenamiento se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$V = Q \times Tr$$

Dónde:

V: volumen (m3)

Q: caudal (m3/h)

Tr: tiempo (h)

Para el cálculo del volumen se consideró el caudal promedio del lixiviado de 0,420 L/s. considerando un tiempo de retención de 24 horas.

Ecuación 2: Volumen Operacional

$$V_{op} = 0{,}421 \frac{L}{S} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24\ h}{1\ dia} * \frac{1m3}{1000l}$$

$$V_{op} = 36{,}35 \text{ m3/día}$$

El volumen nominal se determinó con un aumento del 20% por encima del dimensionamiento (Lombeida, 2015, pág. 111).

Ecuación 3: Volumen Nominal = volumen operacional * el 20%

$$V_{OLnominal} = 36{,}35 \text{ x } 1{,}20 \text{ m3}$$

$$V_{OLnominal} = 43{,}62 \text{ m3}$$

Se tomó en consideración la relación del diámetro H/D de 0,9.

Ecuación 4: Relación H/D

$$H/D = 0{,}9$$

La altura y el diámetro se realizó mediante la siguiente ecuación**.**

Ecuación 5: Diámetro

$$D = \sqrt[3]{\frac{VOL\ nominal\ x\ 4}{\pi\ x\ H/D}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{43{,}62\ m3\ x\ 4}{\pi\ x\ 0{,}9}}$$

$$D = 3{,}95\text{m}$$

La altura del tanque es:

$$H = D \text{ x } 0{,}9 \text{ m}$$

$$H = 3{,}95 \text{ m x } 0{,}9$$

$$H = 3{,}55$$

El espesor de las paredes se tuvo en consideración, el material de construcción al concreto, ya que el esfuerzo máximo permisible de tensión para concreto está dentro de 0,08 y 0,47 MPa, para el cálculo se eligió un esfuerzo máximo permisible de 0,47 MPa (Carillo et al., 2013, pág. 294).

Ecuación 6: Espesor de las paredes.

$$\mathrm{t} = \frac{\rho \mathrm{xHxg}}{2\mathrm{xsxE}} * \frac{\mathrm{Di}}{10\text{^}3}$$

Dónde:

T: espesor de la pared del tanque (mm)

ℑ: densidad del líquido (lixiviado) (kg/m^3)

H: profundidad del líquido (m)

g: aceleración gravitacional (9,81m/s^2)

Di: dímetro interno del tanque (mm)

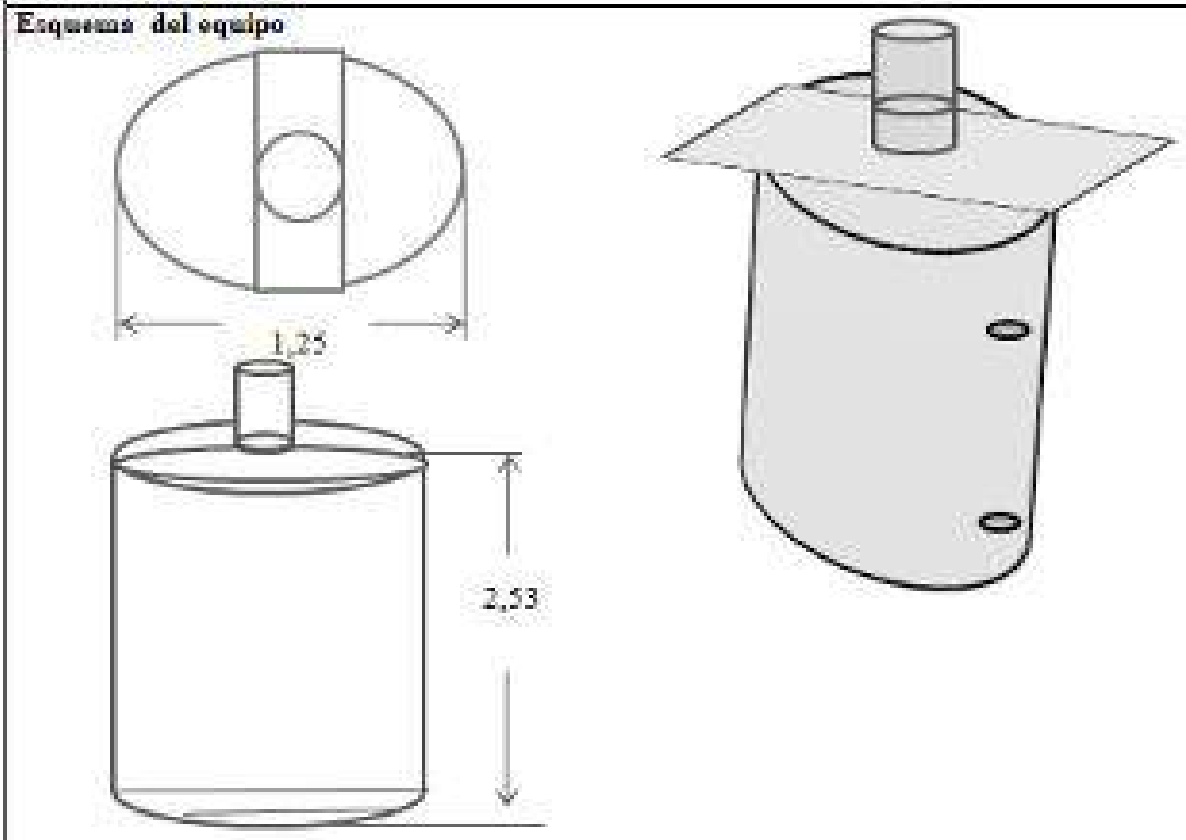
S: tensión máxima del material (N/mm^2)

E: eficiencia de la junta soldad

$$t = \frac{997{,}33\,\frac{kg}{m3}\,x\;3{,}55\;m\;x\;9{,}81\;m/s2}{2\;x\;0{,}47\,\frac{N}{mm2}\,x\;1} * \frac{3{,}92}{103}$$

t = 145.95 mm

Tabla 21. Especificaciones del reactor Batch.

HOJA DE ESPECIFICACIONES N°2	
Nombre del equipo	Reactor
Fabricante	Fibra Glass
Material de construcción	Fibra de vidrio y resina de poliéster (P.RF.V)
Dimensiones Altura: 2,53 Diámetro: 1,25	**Características Técnicas** Presión de diseño: 52,04 Capacidad: 3,12 m^3
EL reactor hace agitación, en donde sucede la reacción de oxidación, para remover carga contaminante que está presente en el líquido, ya que el reactor opera a una temperatura de 18 grados centígrados y la presión atmosférica es la misma.	
Esquema del equipo 	

4.5.2. REACTOR BATCH.

Este reactor está constituido por un tanque cilíndrico de forma atmosférica de fondo cóncavo y un sistema de agitación, para el diseño del reactor fue importante considerar la relación diámetro altura H/D con valores entre 2 a 3 y considerando un valor de seguridad del 20% con respecto al dimensionamiento.

El espesor de la pared del reactor se determinó mediante la siguiente ecuación (Sinnott, 2009).

Ecuación 7. Espesor de pared del reactor

$$t = \frac{pxHxg}{2\text{xSxE}} x \frac{Di}{103}$$

Dónde:

T: espesor de la pared del tanque (mm)

ℶ: densidad del líquido (kg/m^3)

H: profundidad del líquido (m)

g: aceleración gravitacional (9,81m/s^2)

Di: dímetro interno del tanque (mm)

S: tensión máxima del material (N/mm^2)

E: eficiencia de la junta soldad

El espesor de fondo del reactor se determinó mediante la siguiente ecuación para fondos toriesfericos (Towler & Sinnott, 2012, pág. 990).

Ecuación 8. Espesor de fondo del reactor

$$t = \frac{0{,}885\text{xPixRc}}{\text{SxE} - 0{,}1\text{xPi}}$$

Dónde:

t: espesor de la pared del tanque (mm)

Pi: presión interna (N/mm^2)

S: tensión máxima del material (N/mm^2)

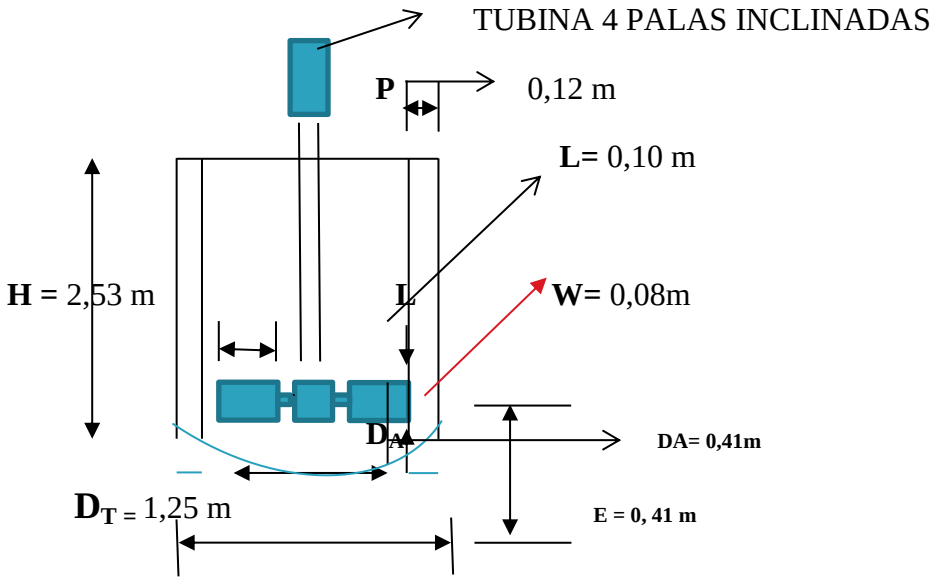
E: eficiencia de la junta soldada (si aplica)

R_c: radio de corona igual al Di (mm)

Al espesor de la pared lateral y de fondo se adiciono un espesor de tolerancia mínimo en la corrosión fue entre 2 y 4 mm (Towler & Sinnott, 2012, pág. 986).

Configuración estándar y el agitador

AGITADOR PARA EL TANQUE REACTOR



$DA = \frac{DT}{3}$

$E = D_A$

$W = \frac{DA}{4}$

$L = \frac{DA}{4}$

$P = \frac{Drx}{10}$

Dónde:

$D_{A:}$ diámetro de impulsor (m)

$D_{T:}$ diámetro del tanque (m)

E: altura del impulsor respecto al fondo (m)

W: ancho de las palas de impulsor (m)

L: longitud de las palas del impulsor (m)

P: ancho del reflector (m)

El material para realizar el reactor se seleccionó en función a la resistencia de la corrosión, aplicación y condiciones ambientales a la exposición.

Se determinó el volumen de operación con base al caudal del lixiviado y los químicos que se pretenden utilizar, para que ocurra la reacción FENTON modificado con EDTA. La masa del lixiviado que ingresa al reactor es de 2602,52 kg y 997,33 kg/m3. (Densidad del lixiviado)

$$V_{op} = 2602{,}52 \text{ kg} * \frac{1}{997{,}33 \frac{kg}{m3}}$$

$$V_{op} = 2,\ 60 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen nominal se tomó en consideración el aumento del 20% encima del dimensionamiento (Lombeida, 2015, pág. 111).

$$V_{nom} = V_{op} \text{ x } 1,\ 20$$

$$V_{nom} = 2,\ 60 \text{ m}^3 \text{ x } 1,\ 20$$

$$V_{nom} = 3{,}12 \text{ m}^3$$

Se realizó el cálculo del diámetro y altura mediante la relación H/D.

Ecuación 9: Diámetro del tanque Reactor

$$\boldsymbol{D = \sqrt[3]{\frac{VOL\ nominal\ x\ 4}{\pi\ x\ H/D}}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{3{,}12\ m3\ x\ 4}{\pi\ x\ 1}}$$

$$D = 1{,}25 \text{ m}$$

Teniendo el diámetro la altura es:

$$H = 1{,}25 \text{ m x } 2$$

$$H = 2{,}5 \text{ m}$$

Se hizo la corrección en función de geometrías torisferica del fondo del tanque.

La siguiente ecuación se determinó la altura del tanque (H_T) y la altura del fondo cóncavo del tanque (L_f).

$$L_f = 0{,}13 \text{ x } 4{,}10 \text{ pies}$$

$$L_f = 0{,}56 \text{ pies} = 0{,}17 \text{ m}$$

Para el volumen se realizó la siguiente ecuación.

$$V_f = 0{,}416 \text{ x } (4{,}10)^3$$

$$V_f = 28{,}67 \text{ gal} = 0{,}10 \text{ m}^3$$

Se tuvo presente el valor de 0,25 m para la altura libre (OPS, 2005a, pág. 24).

$$H = \frac{3{,}12\ \text{m3} - (\ 0{,}22 + \ \pi\ \text{x}\ \left(1{,}25\frac{\text{m}}{4}\right) 2\ \text{x}\ 0{,}25}{\pi\ x\ \left(1{,}25\frac{m}{4}\right) 2}$$

H= 2,11 m

Altura del reactor (H_T)

$$H_T = L_f + H + L_v$$

$$H_T = 0,\ 17 + 2,\ 11 + 0{,}25\text{m}$$

$$H_T = 2{,}53\text{m}$$

El espesor de la pared lateral del reactor se realizó mediante la siguiente ecuación, la fibra de vidrio compuesta por poliéster reforzado (P.R.F.V) material resistente al ataque químico (Brenes, 2013, pág. 8), el esfuerzo máximo permisible P.R.F.V es de 63,07 MPa (Paredes et al., 2017, pág. 10).

$$t = \frac{997{,}33\frac{\text{kg}}{\text{m3}}\ x\ 2{,}53\ m\ x\ 9{,}81\frac{m}{s}\ x\ 1,\frac{25}{10}3}{2\ \text{x}\ 63{,}07\frac{\text{N}}{\text{mm2}}\ x\ 1}$$

t= 0,24 mm

El espesor adicional de tolerancia mínima a la corrosión es de 4,00 mm según (Towler & Sinnott, 2008, pág. 985).

$$t = (0{,}24 + 4{,}00)\ \text{mm}$$

$$t = 4{,}24\ \text{mm}$$

Para el espesor de la pared del fondo se realizó con la presión interna en el reactor.

$$P_i = 997,\ 33\ \text{kg/m}^3\ \text{x}\ 9,\ 81\ \text{m/s}\ \text{x}\ 2{,}53\text{m}$$

$$P_i = 24727,\ 80\ \text{N/m}^2 = 0,\ 0247\ \text{N/mm}^2$$

Para el factor de seguridad se tuvo en cuenta el factor de seguridad del 10% sobre la presión de operación (Towler & Sinnott, 2008, pág. 992).

$$P_i = 0,\ 0247\ \text{N/mm}^2\ \text{x}\ 1,\ 10$$

$$P_i = 0{,}027\ \text{N/mm}^2$$

Reemplazando los valores se obtiene el fondo torisferico del reactor.

$$t = \frac{0{,}885\ \text{x}\ 0{,}027\ \text{x}\ 1{,}25\ \text{x}\ 103}{6307 - 01\ \text{x}\ 0{,}027}$$

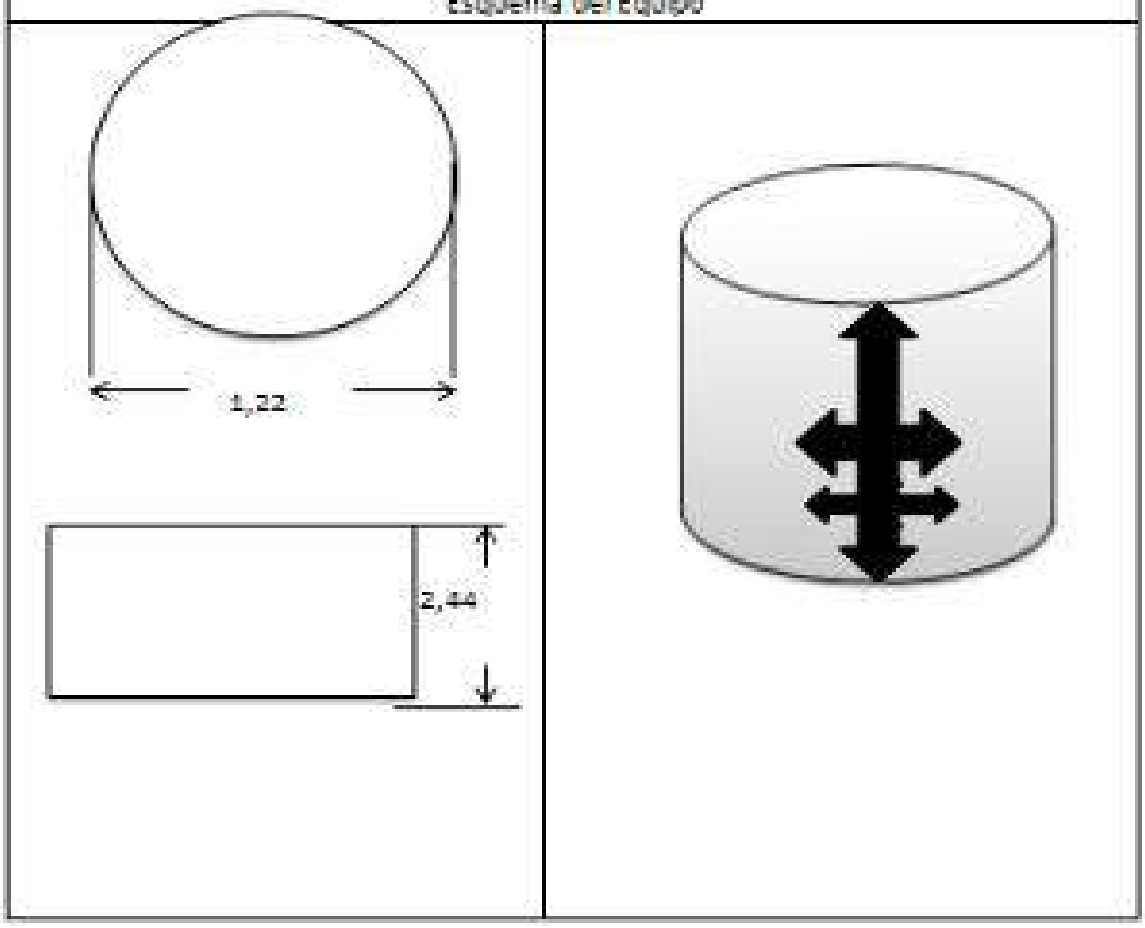
t= 0,47

Se tuvo en consideración el espesor adicional de tolerancia de 4,00 mm.

$$T = (0{,}47 + 4{,}00)\ T = 4{,}47 \text{ mm}$$

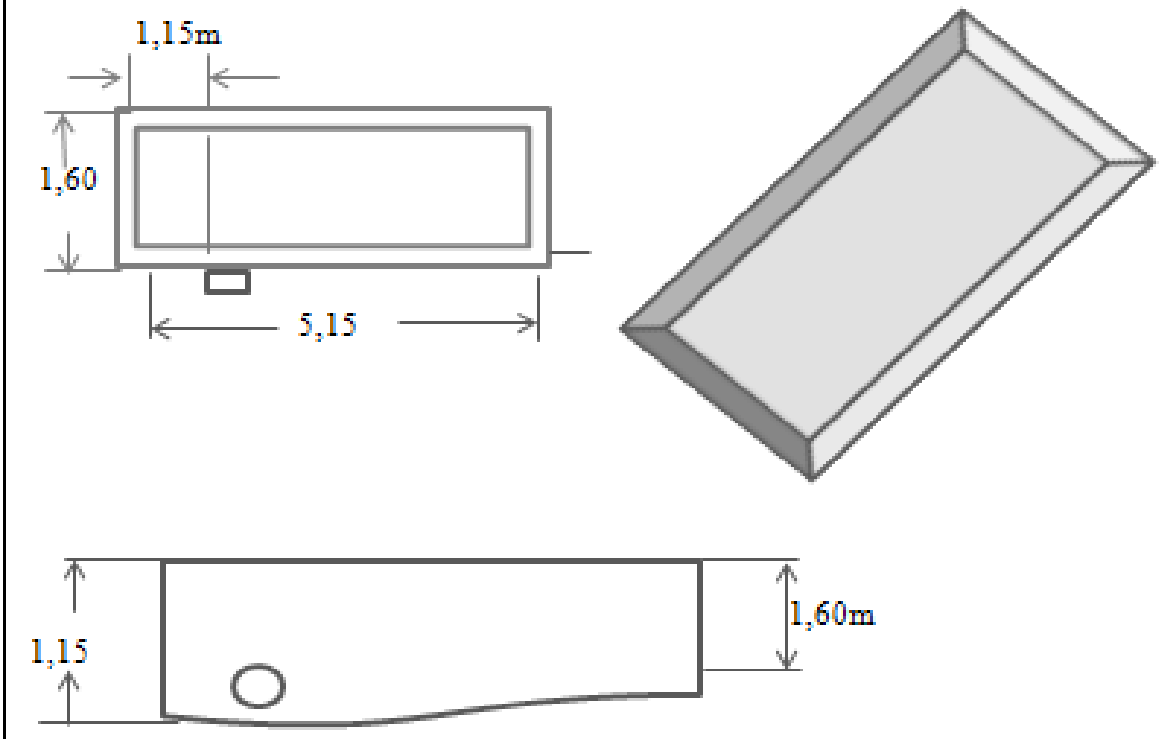
Tabla 22: Especificaciones Tanque de coagulación.

HOJA DE ESPECIFICACIONES N#3	
Nombre del equipo	Tanque coagulación
Material de construcción	Hormigón armado
Dimensiones: Altura: 2,44 Diámetro: 1,22	Características Técnicas: Capacidad de operación 2.88 m^3
Funcionamiento : después de realizarse la reacción en el reactor Batch este tanque mezclara los lixiviados con las dosis reguladoras de pH para formar flocs y después se descenderá en el siguiente tratamiento de sedimentación secundaria	
Esquema del Equipo	



Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 23. Especificaciones del Tanque de Sedimentación.

HOJA DE ESPECIFICACIONES N°4	
Nombre del equipo	Tanque de Sedimentación
Material de Construcción	Concreto
Dimensiones: Longitud: 5,15 Ancho: 1,60 Profundidad: 1,15	**Características Técnicas:** Presión de diseño: 41,84 KPa Temperatura de diseño: 18,00°C Capacidad: 8,3m^3
El tanque remueve el material sedimentable del líquido por la actuación de la gravedad en función de densidades diferenciadas, la función del sedimentar es separar el Fe (OH)2, el proceso se forma siguiente en la coagulación durante en el tratamiento del líquido.	
Esquema del Equipo	
	

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.6.2. Tanque de sedimentación.

Para poder diseñar el sedimentador se consideró el caudal de descarga, el área del sedimentador se determinó con la siguiente ecuación

Ecuación 10: Área del sedimentador.

$$A_S \ \frac{Q}{C\ SUPERFICIAL}$$

Dónde:

$A_{S:}$ área superficial (m^2)

Q: caudal del efluente $(m^3/día)$

$C_{SUPERFICIAL;}$ carga superficial $(m^3/ día /m^{2)}$

Se consideró una carga superficial entre de 29 a 30 $m^3/ día /m^2$ para el cálculo del ancho (B) longitud (L) y profundidad (H) del sedimentador se cumplió a relaciones de L/B entre 3 a 6 y L/H entre 5 a 20 y para la recolección de lodos se consideró el diseño del fondo del sedimentador con una pendiente de inclinación entre el 5 y 10 por ciento (OPS, 2005a, págs. 16-21).

Ecuación 11: Tiempo de retención del sedimentador

$$Tr = \frac{V\ X\ 1{,}20}{Q}$$

Donde;

$T_{r:}$ tiempo de resistencia (S)

V: volumen nominal del sedimentador (m^3)

Q: caudal del fluido (m^3 /S)

La altura total se determinó mediante la siguiente ecuación;

$$H1 = H + H \text{ x } m$$

Dónde:

H1: altura máxima del sedimentador (m)

H: altura de operación del sedimentador (m)

m: pendiente en el fondo del sedimentador

Ecuación 12: La altura del agua sobre el vertedero

$$H_2 = [\frac{Q}{1{,}84\ x\ B}]^{2/3}$$

Donde;

H2; altura filtrada sobre el vertedero (m)

Q: caudal del fluido (m^3/s)

B; ancho del sedimentador (m)

Para el diseño de la pantalla difusora entre la zona de entrada del lixiviado y la zona de sedimentación, se consideró una velocidad de 0,15 m/ s a través de los orificios para no crear perturbaciones, el cálculo se determinó mediante la siguiente ecuación (OPS, 2005a, págs. 16-21).

Ecuación 13: Pantalla difusora

$$Ao = \frac{Q}{Vo}$$

Donde;

Ao: área total de los orificios de la pantalla difusora m^2

Vo: velocidad de paso entre los orificios (m/s)

Q: caudal del fluido (m^3/s)

Para el cálculo del área de un orificio se logró determinar mediante la ecuación siguiente área de circunferencia (OPS, 2005a, pág. 18).

Ecuación 14: Área de circunferencia.

$$Ao = \pi \times r^2$$

Donde;

a_o: área del orificio (m^2)

r: radio de orificio (m)

Ecuación 15 : Calculo número de orificios en la placa difusora

$$n = \frac{Ao}{a_o}$$

Dónde:

n: número de orificios

Ao: área total de los orificios de la pantalla difusora (m^2)

a_o: área de un orificio (m^2)

Ecuación 16. La altura de la pantalla difusora

$$h = H - \frac{2}{5} \times H$$

Donde;

h: altura de la pantalla difusora (m)

H: altura del sedimentador (m)

El espaciamiento de los orificios entre las filas de la placa difusora se realizó mediante la (OPS, 2005a, pág. 26).

Ecuación 17. Espaciamiento de los orificios entre filas

$$a1 = \frac{\mathrm{h}}{\mathrm{nf}}$$

Dónde:

$$a2 = \frac{\mathrm{B} - \mathrm{a1x(nc} - 1)}{2}$$

a1: Espaciamiento ente filas (m)

n_f: Número de filas

Ecuación 18. Espacio de orificios entre las columnas se realizó m

Dónde:

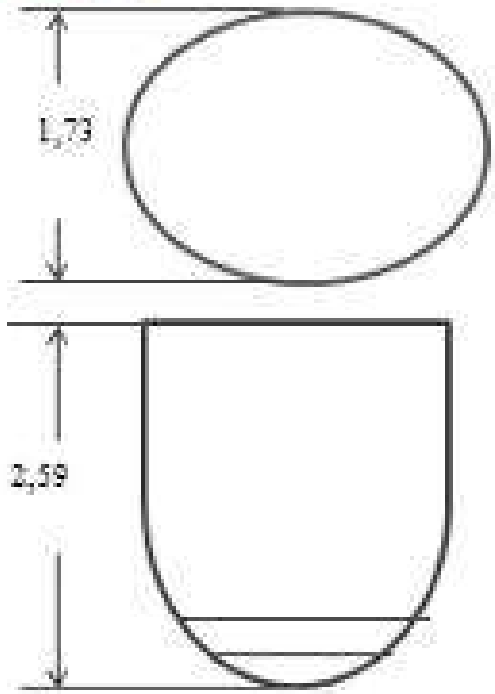
a2: Espaciamiento entre columnas (m)

n_c: Número de columnas

B: Ancho del sedimentador (m)

Para el cálculo se tomó en cuenta el área de la superficie de la zona de sedimentación, para realizar este cálculo el flujo máximo de descarga es de 3 l/s y la carga superficial es de 36,35 m^3/día (Romero, 2002, págs. 639-642).

Tabla 24. Hoja del Tanque de neutralización

HOJA DE ESPECIFICACIONES N°5	
Nombre del equipo	Tanque de neutralización
Fabricante	Fibra Glass
Material de construcción	Fibra de vidrio y resina poliéster (P.R.F.V)
Dimensiones: Altura: 2,59 Diámetro: 1,73	**Características Técnicas:** Presión de diseño: 52,45 KPa Temperatura de diseño: 18,00°C Capacidad: 6,18m³
El tanque se nutre de ácido sulfúrico para neutralizar el líquido, lo cual tiene un sistema de agitar para la mezcla del líquido, lo que también brinda el tanque es la resistencia química ante la agresión de las soluciones químicas a una temperatura ambiente en cual va el rango del potencial de Hidrogeno de 4 al 2.	
Esquema del equipo 	

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.5.4. Tanque de Neutralización.

Para diseñar el tanque se coloco con la relacion H/D, se relaciono el diàmetro con la altura asi como lo es 1,5 con certeza del 20 por ciento con el dimensionamiento, con respecto a la presien, se tubo en consideraciòn incrementar el 10 por ciento para la presion durante su operaciòn. Para la determinación en cuanto al espesor de la pared, se realizo mediante las ecuaciones de 1 y 2, tambien con un espesor de tolerancia de corrosion de 2 a 4 milimetros, en la cual para el tamque de neutrlizacion se incluyó por el metodo de agitación acelerada y para la eliminación de los vortices mediante los deflectores, se empleo para dimensionar el agitador, la resistencia de corrosion fue selecionada como material del tanque de neutralizacion.

4.6.3. Dimensionamiento de los equipos secundarios para el sistema complementario de tratamiento de lixiviados (FENTON modificado con EDTA).

En la presente tabla se puede evidenciar los cálculos realizados para el dimensionamiento de los equipos secundarios con su volumen de operación, volumen nominal y el material que se utiliza en los equipos propuestos.

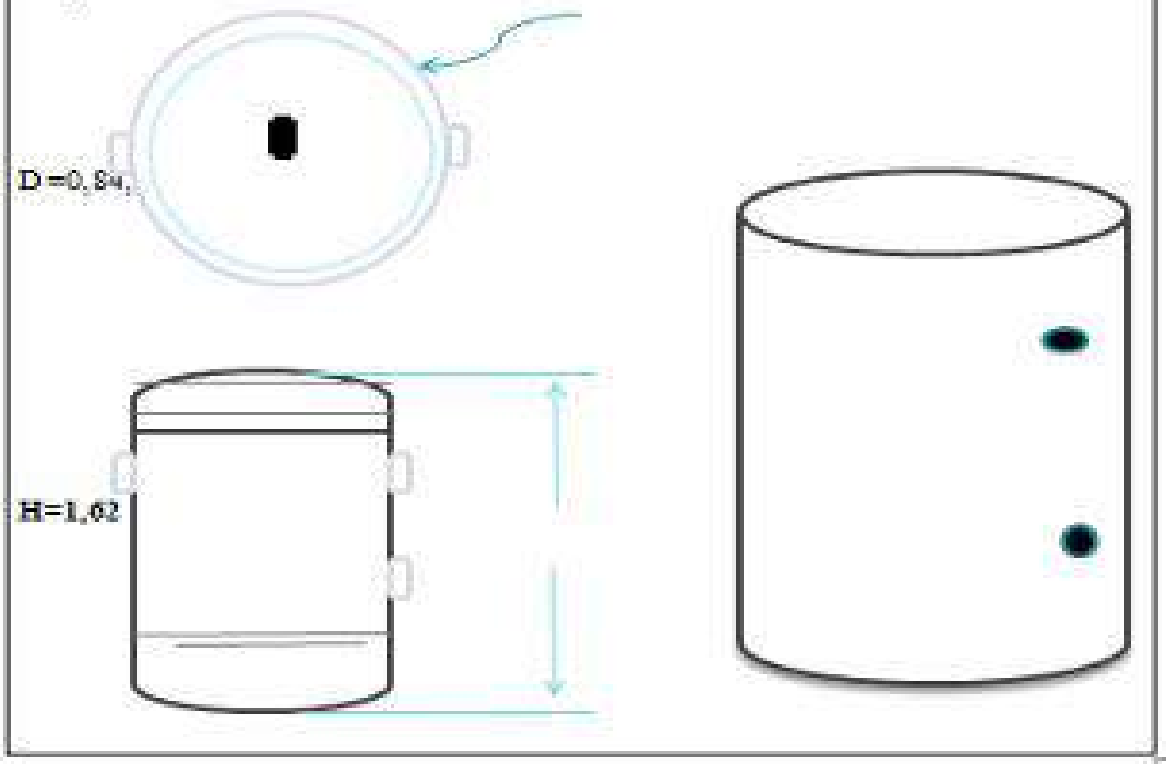
EQUIPO	**MATERIAL**	**VOLUMEN DE OPERACIÓN m^3**	**VOLUMEN NOMINAL (m^3)**	**DIMENSIONES** (m)
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL COMPLEJO	FIBRA DE VIDRIO Y RESINA POLIESTER	0,73	0,88	Altura = 0,84 Diámetro = 1,64
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE H202	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	0,23	0,27	Altura = 0,87 Diámetro = 1,21
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NAOH	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	1,32	1,58	Altura = 2,20 Diámetro = 1,77
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE H2SO4	ACERO INOXIDABLE 304	0,21	0,25	Altura = 1,62 Diámetro = 0,81
TANQUE DE ALAMCENAMIENTO DE AGUA	POLIETILENO ALTA DENSIDAD	4,65	5,58	Altura = 2,20 Diámetro = 3,10

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.6.4. Tanque de agitación para formación y preparación del complejo.

El volumen pertenece cuatro veces el volumen complejo para el tratamiento de un lote del efluente. Para el cálculo se tomó en cuenta los criterios de diseño, este cálculo se examinó la densidad a 18 grados centígrados "temperatura ambiente" de 999,00 kg/m^3. (Densidad del agua).

Tabla 25. Hoja del Tanque de formación y acondicionamiento del complejo.

HOJA DE ESPECIFICACIONES N°6	
Nombre del Equipo	Tanque de Formación y acondicionamiento del complejo
Fabricante	Fibra Glass
Material de construcción	Fibra de vidrio y resina de poliéster (P.R.F.V)
Dimensiones: Diámetro:0,84 Altura:1,64	**Características Técnicas:** Presión de diseño:94,05 KPa Temperatura de diseño:18°c Capacidad:1,78m^3
El tanque se nutre de soluciones concentradas de EDTA y sulfato ferroso para formar el complejo, y así acondicionar el potencial de Hidrogeno, también dispone del sistema de agitación para mezclar los reactivos.	
Esquema  	

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Volumen operacional

$$V_{op} = m_{complejo} \text{ x } q_{complejo}$$

$$V_{op}= 370{,}78\text{kg x } 4 = \frac{1}{999{,}00\ \text{kg/m3}}$$

$$V_{op}= 0,\ 74\ m^3$$

Se consideró un aumento del 20 por ciento sobre el dimensionamiento para calcular el volumen nominal (Lombeida, 2015, pág. 111).

Volumen nominal

$$V_n= V_{op} \text{ x } 1{,}20$$

$$V_n= 0{,}74m^3 \text{ x } 1{,}20$$

$$V_n= 0{,}88\ m^3$$

Para diseñar el tanque se tuvo en consideración la relación H/D. Se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$V = \pi \frac{D2}{4} H$$

Dónde:

V: volumen del tanque (m^3)

D: Diámetro del tanque (m^3)

H: altura (m)

$$D = \frac{\sqrt{0{,}88\text{m3 x } 4}}{\pi \text{ x } 2}$$

$$D= 0{,}82$$

La altura del tanque:

$$H= D \text{ x } 2$$

$$H= 0{,}82 \text{ x } 2$$

$$H=1{,}64$$

La altura se modificó en función a la geometría toriesferica del fondo del tanque.

La altura (H_T) se consideró mediante la siguiente ecuación.

$H_T=L_f + H + L_v$

Dónde:

L_f: altura del fondo del tanque (m)

H: altura del cuerpo hídrico del tanque (m)

L_v: altura libre (m)

Se determinó la altura del fondo del tanque L_f mediante la siguiente ecuación.

$$L_f= 0{,}139 \text{ x } D$$

Lf: altura del fondo del tanque (pies)

2D: diámetro del tanque (pies)

$$L_f= 0{,}139 \text{ x } 2,\ 6 \text{ pies}$$

$$Lf= 0{,}37 \text{ pies}= 0{,}11 \text{ m}$$

Cálculos para la altura del cuerpo cilíndrico del tanque (H).

$$H = \frac{(\text{Vnom} - (\text{Vf} + \text{VI})}{G\ x\ r2}$$

Dónde:

H: altura del cuerpo cilíndrico del tanque (m)

$V_{nom:}$ Volumen nominal (m^3)

V_f: Volumen del fondo del tanque (m^3)

$V_{I:}$ volumen del libre del tanque (m^3)

r: radio del tanque (m)

Se determinó el volumen del fondo mediante la siguiente ecuación.

V_f= 0,416 x D^3

Dónde:

V_f: volumen del fondeo del tanque (gal)

D: diámetro del tanque (pies)

$$V_f = 0{,}416 \text{ x } (2{,}6 \text{ pies})^3$$

$$V_f = 8{,}09 \text{ gal} = 0{,}030 \text{ m}^3$$

Para determinar la altura del cuerpo cilíndrico del tanque se consideró (OPS, 2005, pág. 24) una altura libre (L_v) de 0,25 m para evitar derrames.

$$H = \frac{(\text{Vol nominal x } (Vf + Vi)}{\pi \; x \; r2}$$

$$H = \frac{0{,}88 \left(0{,}030 + \pi \text{ x } \left(\frac{0{,}82m}{2}\right) 2 \; x \; 0{,}25\right) m3}{\pi \; x \; \left(\frac{0{,}82m}{2}\right) 2}$$

$$H = 1{,}35 \text{ m}$$

La altura del tanque es (H_T):

$$H_T = L_f + H + L_v$$

$$H_T = 0,\ 11 + 1{,}35 + 0{,}25$$

$$H_T = 1{,}71\text{m}$$

El espesor de la pared del tanque mediante la siguiente ecuación 17, el material para el tanque es fibra de vidrio con poliéster reforzado (P.R.F.V), material resistente al ataque químico (Brenes, 2013, pág. 8). El esfuerzo máximo permisible es 63,07 MPa (Paredes et al., 2017, pág. 10).

Espesor de la pared del tanque

$$t = \frac{\text{d x H x G}}{\text{2 x S x E}} x \frac{Di}{103}$$

$$t = \frac{999{,}0 \frac{kg}{m3} x \; 1{,}35 \; x \; 9{,}8 \; m/s}{\text{2 x } 63{,}07 \frac{N}{mm2}} x \frac{0{,}82}{103} = 0{,}086 \; mm$$

Para el espesor de la pared del tanque se consideró un espesor de tolerancia mínima de corrosión de 4,00 mm de acuerdo a los criterios descritos por (Towler & Sinnott, 2008, pág. 985).

$$T= (0,086 + 4,00)\ mm$$

$$T= 4,086\ mm$$

El espesor del fondo del tanque se determinó con la presión interna del tanque (Pi) corresponde a la presión hidrostática del fluido.

Espesor del fondo del tanque

$$P_i= d \times g \times H$$

Dónde:

P_i: presión interna (pa)

D: densidad (kg/m^3)

G: aceleración gravitacional (9,81 m/s)

H: altura (m)

$$P_i= d \times g \times H$$

$$P_i= 999,00\ Kg/m^3 \times 9,81\ m/s^2 \times 1,35\ m$$

$$P_i=13230,25\ Pa$$

Para el factor de seguridad se tuvo en consideración el 10% por encima la presión de la operación (Towler & Sinnott, 2008, pág. 992).

$$P_i= 13230,25 \times 1,10$$

$$P_i=19553,27\ Pa = 0,01455$$

Reemplazando valores se determino es espesor del fondo toriesferico del tanque.

$$t = \frac{0,88 \times 0,023 \times 0,82\ m \times 103\ mm/m}{63,07 \frac{N}{m2} - 0,1\ x\ 0,023\ n/mm2}$$

$$t= 0,26\ mm$$

Se tomó consideración el espesor de tolerancia mínima de la corrosión de 4,00 para el espesor de la pared del tanque (Towler & Sinnott, 2008, pág. 985).

$$t= (0,26 + 4,00)\ mm$$

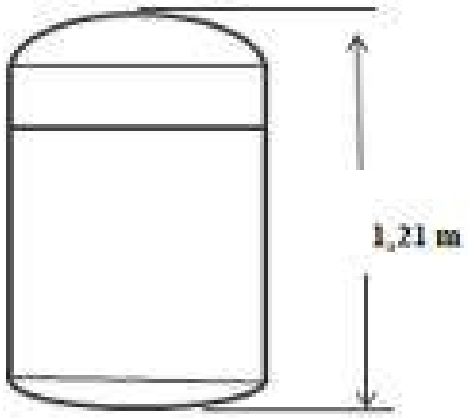
$$t= 4,26\ mm$$

Tabla 26. Hoja del tanque de almacenamiento H2O2.

HOJA DE ESPECIFICACIONES N°7	
Nombre del equipo	Tanque de almacenamiento de H_2O_2
Fabricante	Roteplast
Material de construcción	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Dimensiones: Diámetro:0,87 m Altura:1,21	**Características Técnicas:** Capacidad:0,60 m3
El tanque de almacenamiento está equipado con la ventilación del filtro continuo para controlar el O_2 a través de la descomposición natural del H_2O_2, ya que el mismo se almacena en el tanque, lo cual se rutea en la etapa de cación para el tratamiento del POA.	

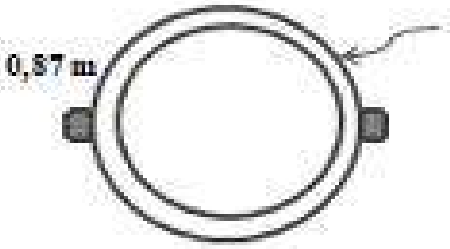
Esquema del equipo

Vista Frontal





Vista superior



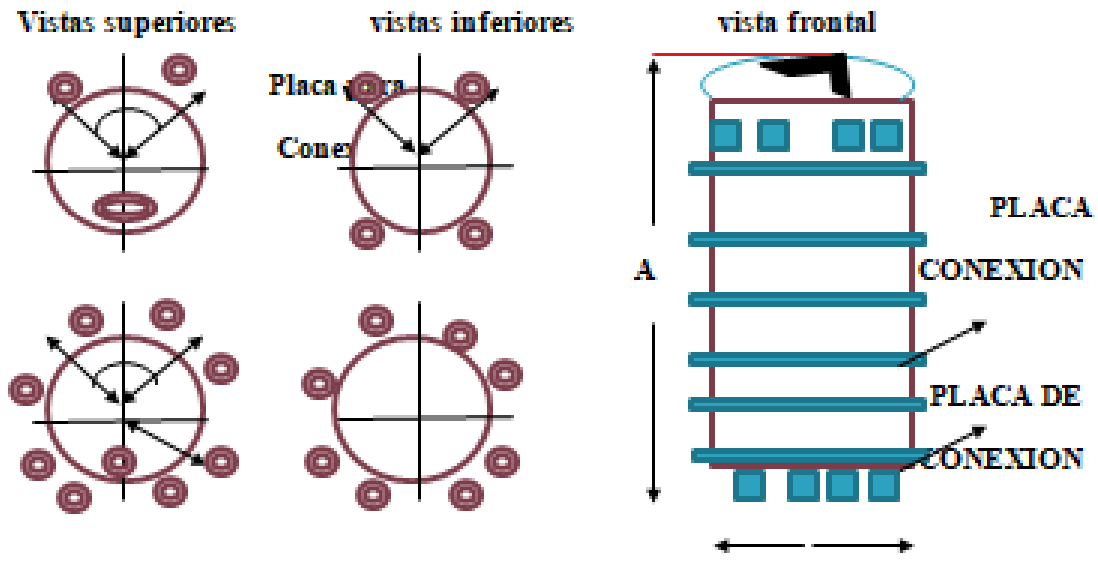
Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

El volumen de operación del tanque, corresponde al volumen diario de peróxido de hidrógeno necesario para el tratamiento del lixiviado. La densidad del peróxido al 50 % p/p es 1,3996 g/cm3 (Perry, 2001, págs. 2-113).

Tabla 27. Hoja de especificación del tanque de almacenamiento de NaOH.

HOJA DE ESPECIFICACION N°8	
NOMBRE DEL EQUIPO: tanque de almacenamiento de NaOH	
DIMENCIONES; Diámetro; 1,77 m Altura; 2,20 m	**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS** capacidad 5,00m^3 temperatura de diseño; 40°C
MATERIAL DE CONSTRUCCION; polietileno de alta densidad (PEAD)	
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO; En este tanque se almacena la solución de NaOH requerida para el tratamiento del lixiviado, este tanque posee una excelente resistencia en el trabajo Químico por NaOH	

Esquema del equipo;



Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.6.5. Tanques de almacenamiento de la solución de NaOH.

El volumen de operación del tanque, corresponde al volumen diario de solución de NaOH necesario para el tratamiento de 4 tanques de efluente. La masa de NaOH por tratamiento es 344,40 kg (263,03 kg para la etapa de coagulación y 81,37 kg para el acondicionamiento del complejo Fe-EDTA). La densidad de la solución de NaOH 1 M a 18 °C es 1,0433 g/cm3 (Perry, 2001, págs. 2-112).

Tabla 28. Hoja del tanque de almacenamiento de H2SO4.

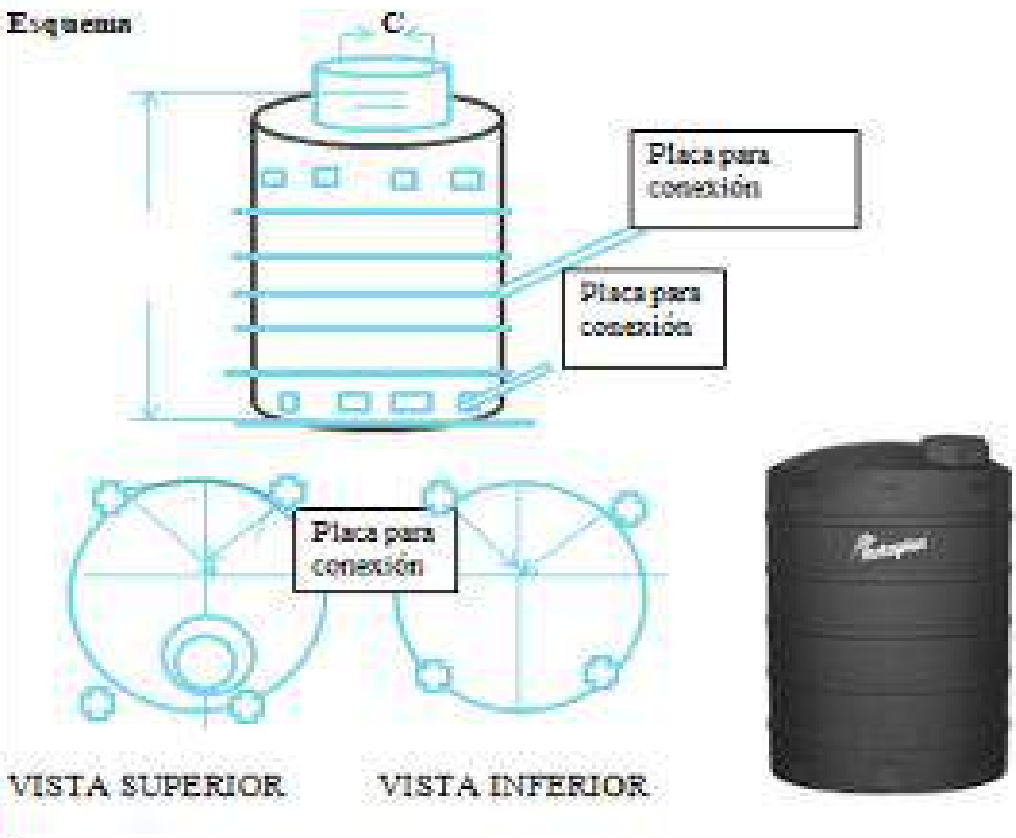
HOJA DE ESPECIFICACION Nº9	
NOMBRE DEL EQUIPO: tanque de almacenamiento de H_2SO_4	
DIMENCIONES;	**CARACTERISTICAS TECNICAS**
Diámetro; 0,81 m Altura; 1,62 m	capacidad 0,53m³
MATERIAL DE CONSTRUCCION; Acero inoxidable AISI 304	
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO; En este tanque se almacena la solución de H_2SO_4 al 98% requerida para la neutralización del lixiviado durante el tratamiento de depuración, este tanque posee una excelente resistencia en el trabajo Químico por H_2SO_4	
Esquema del equipo; **VISTA FRONTAL** **VISTA SUPERIOR** 0,81 m 1,62 	

4.6.6. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.

El volumen de operación del tanque corresponde al volumen mensual (30 días) de ácido sulfúrico (H2SO4) para el tratamiento del efluente. En la etapa de neutralización la masa de H2SO4 es 3,35 kg. La densidad del H2SO4 al 98 % p/p es 1,8361 g/cm3 (Perry, 2001, págs. 2-115).

En función del volumen nominal se seleccionó del mercado local un tanque de acero inoxidable AISI 304. Este material resiste el contacto con ácido sulfúrico hasta concentraciones por encima del 85 % (Tersainox S.A., 2012, pág. 3).

Tabla 29. Hoja del tanque de almacenamiento de agua.

HOJA DE ESPECIFICACIONES Nº 10	
Nombre del equipo	Tanque de almacenamiento de agua
Fabricante	Rotoplas
Material de construcción	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Dimensiones: Diámetro:2,20 Altura:3,10	**Características Técnicas:** Temperatura de diseño:18,00°C Capacidad:10,00m3
Este tanque almacena el volumen del H20 para el tratamiento de 2 días de operación, el tanque puede almacenar el volumen de H20 en el transcurso, lo que es necesario para acondicionar el complejo y para limpiar equipos principales, para siguiente tratamiento del líquido.	
Esquema  	

4.6.7. Diseño de agitadores.

Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento y potencia del agitador de uno de los reactores. Para el dimensionamiento del agitador se conoce el diámetro del reactor de 1,25 m de acuerdo a su dimensionamiento**.**

$$DA = \frac{\mathbf{1{,}25\ m}}{\mathbf{3}} = 0{,}41$$

La altura del agitador respecto al fondo del tanque

$$E = DA = 0{,}41\ m$$

El ancho de las palas del agitador

$$W = \frac{\mathbf{0{,}41\ m}}{\mathbf{5}} = 0{,}08\ m$$

La longitud de las palas del agitador

$$L = \frac{\mathbf{0{,}41 m}}{\mathbf{4}} = 0{,}10\ m$$

Para eliminar la formación de vórtices y zonas sin agitación, el reactor dispone de cuatro deflectores verticales.

$$P = \frac{\mathbf{1{,}25\ m}}{\mathbf{10}} = 0{,}12\ m$$

De acuerdo a las características del fluido se seleccionó un agitador con un impeler del tipo turbina de cuatro palas inclinada a 45 °. La configuración del agitador favorece el flujo radial y axial del fluido. El agitador trabaja de forma eficiente en un amplio intervalo de viscosidades.

La potencia necesaria para mover el agitador mecánico y mezcla del fluido, se determinó de forma teórica. La ecuación se aplica para Reynolds superiores a 104 y tanques con placas deflectoras (McCabe et al., 2007, pág. 278). Previo al cálculo de la potencia, se determinó el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\mathbf{Da2\ Nx\ densidad}}{\boldsymbol{u}}$$

Dónde:

Re: número de Reynolds (adimensional)

DA: diámetro del impulsor del agitador (m)

N: velocidad de rotación (rev/s)

ρ: densidad del fluido (kg/m3)

μ: viscosidad dinámica (Pa.s)

P: potencia (W)

Para el cálculo del número de Re, las propiedades del efluente son: viscosidad 1,1X10-3 Pa.s y densidad 997,33 kg/m3. La velocidad de rotación del impulsor es 130 rpm (2,16 rev/s) de acuerdo a las condiciones de operación establecidas como parte de los mejores resultados para el tratamiento del efluente de acuerdo al proyecto de referencia (Naranjo, 2017, pág. 9).

$$\text{Re} = \frac{(0{,}53)2\text{m}\left(2{,}16\frac{\text{rev}}{s}\right)\text{x}997{,}33\text{kg/m3}}{1{,}1x10-3\ kg/}$$

$$\text{Re} = 3{,}293 \text{ x}10^5$$

Por tanto, Re > 10^4

Para el cálculo de la potencia se consideró un agitador tipo turbina de cuatro palas inclinada. La constante para este tipo de agitador es 1,27 (McCabe et al., 2007, pág. 243). Al reemplazar los valores correspondientes la potencia del agitador es:

$$p = \frac{1{,}27\ \text{x}\left(\frac{2{,}16\text{rev}}{\text{s}}\right)3\text{x}(0{,}41)5\ \ \text{x}997.33\frac{\text{kg}}{\text{m3}}}$$

$$p = 147.88 \text{ W}$$

Se consideró un factor de seguridad del 20 % sobre el requerimiento energético del sistema de agitación**.**

$$P = 147{,}88 \text{ W} \times 1{,}20 \; P = 177{,}456 \text{ W} = 0{,}23 \text{ HP bomba reciprocante}$$

4.6.8. Dimensiones, potencia y tipos del tipo de agitador de los equipos propuestos

Tabla 30. Dimensiones, potencia y tipos de agitador de los equipos propuestos.

Dimensiones	**Reactor**	**Tanque coagulador**	**Tanque para el complejo**	**Tanque de neutralización**	**Tanque de almacenamiento**
D_A (m) **Diámetro del agitador**	0,41	0,45	0,27	0,57	1,30
E(m) **Altura del agitador**	0,41	0,45	0,27	0,57	1,30
W (m) **Ancho de las palas**	0,08	0,1	0,05	0,11	0,26
L (m) **Longitud de las palas**	0,10	0,06	0,06	0,14	0,32
P(m) **Ancho del reflector**	0,12	0,14	0,08	0,17	0,39
POTENCIA (HP)	0.23	0,25	0.029	1,23	7,62
TIPO DE IMPELLER	TURBINA DE 4 PALAS INCLINADAS	TURBINA DE 4 PALAS	TURBINA DE 4 PALAS INCLINADAS	TURBINA DE 4 PALAS INCLINADAS	TURBINA DE 4 PALAS INCLINADAS
MATERIAL	ACERO INOXIDABLE 316	ACERO INOXIDABLE 316	ACERO INOXIDABLE 316	ACERO INOXIDABLE 316	ACERO INOXIDABLE 316

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Interpretación: Se utilizó turbinas de 4 palas inclinadas ya que en la agitación se requiere un bajo consumo energético, estas turbinas trabajan a una velocidad desde 73 a 140 rpm, también se utilizan en la homogenización, disolución, neutralización, preparación de reactivos su material es de acero inoxidable 316, ya que es resistente a los químicos que se pretende utilizar.

4.7. Dimensionamiento de tuberías y bombas.

En la tabla se puede evidenciar los cálculos realizados para las especificaciones de tuberías, así como tramos de succión y descarga, se consideró el material a utilizar el cual fue PVC. Se pudo conocer el coeficiente de flujo y el tipo de válvula a utilizar en el sistema complementario de tratamiento de lixiviados y la presión de operación necesaria de succión y descarga.

Tabla 31: Dimensionamiento de tuberías, válvulas y bombas para equipos principales.

Tubería	Diámetro nominal	Tubería	Válvula	Bomba
Tanque de almacenamiento de lixiviado al reactor	4`` cedula 40 3`` cedula 80	Tramo s =4,50 m Tramo d=5,80 m MATERIAL ACERO INOXIDABLE	Tipo =bola Cv=42,49	TDH = 35,97 kPa Ps=33, 29 KPa Pd=61,01 kPa
Reactor al taque coagulador	3``Cedula 40 1 ½`` cedula 40	Tramo s = 2,50 m Tramo d = 7, 00m MATERIAL ACERO INOXIDABLE	Tipo=bola Cv= 30,92	TDH = 91,95 kPa Ps=29,36 KPa Pd=121,31 KPa
Tanque de coagulador al sedimentador	3``Cedula 40 1 ½`` cedula 40	Tramo s =2,50 m Tramo d =7, 00 m MATERIAL ACERO INOXIDABLE	Tipo=bola Cv= 31,91	TDH = 90,91 Ps=28,29 KPa Pd= 119,21
Sedimentador al tanque de neutralización	5`` cedula 40 3`` cedula 40	Tramo s = 2,00 m Tramo d = 5,60 m MATERIAL ACERO INOXIDABLE	Tipo =bola Cv= 92,25	TDH = 92.92 Kpa Ps=6,41 Kpa Pd=99,33KPa

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

En la tabla se puede evidenciar los cálculos realizados para el bombeo de alimentación de los reactivos necesarios para el tratamiento complementario de lixiviados, se presentan las dimensiones de tuberías con su respectivo material a utilizar, coeficiente de flujo de válvula y la presión de operación.

Tabla 32: Especificaciones de las tuberías y válvulas del sistema de bombeo para alimentación de reactivos.

Tubería	**Diámetro nominal**	**Tubería**	**Válvula**	**Presión de operación(KPa)**
Almacenamiento de complejo con EDTA al reactor	2`` cedula 5 1 ½ `` cedula 40	Tramo 1=2.00m Tramo 2=2.50m Material acero inoxidable 304	Tipo = bola Cv= 10,70	P_{op} = 20,15
Almacenamiento de H_2O_2 al reactor	1 `` cedula 5 ¾`` cedula40	Tramo 1=2.5m Tramo 2=3,00m Material acero inoxidable 304	Tipo = bola Cv= 4, 01	P_{op} = 17,61
Almacenamiento de NAOH al tanque coagulador	1 `` cedula 5 ¾ `` cedula 40	Tramo 1=1 m. Tramo 2=3,00m Material acero inoxidable 304	Tipo = bola Cv= 3,51	P_{op} = 24,03
Almacenamiento de H_2SO_4 al tanque de neutralización	¼ `` cedula 40	Tramo 1=6.80m Material = AISI 304	Tipo=bola Cv= 0, 27	P_{op} = 26,07

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Para el dimensionamiento de las tuberías se consideró el rango de velocidades permisibles para la succión y descarga de fluidos de acuerdo a la norma API (API RP 14E, 2000, pág. 14).

Se presenta el rango de velocidades para la succión y descarga del fluido en función del tipo de bomba.

Tabla 33. Velocidades permisibles de succión y descarga para el diseño de tuberías.

Tipo de bomba	**Velocidad de succión (pies/s)**	**Velocidad de descarga (pies /s)**
Reciprocantes	1-2	3-6
centrifugas	2-3	6-9

Fuente: (API RP 14E, 2000, pág. 14).

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020

4.7.1. Sistema tanque de almacenamiento del lixiviado – reactores

Dimensionamiento del tramo 1

Para el dimensionamiento de la tubería, se realizó el cálculo de la velocidad de succión (Vs) y la velocidad de descarga (Vd). Para el cálculo de la velocidad de succión, se consideró una

tubería de diámetro nominal 4” cédula 40 con un diámetro interno de 102,26 mm (Mills, 1995, pág. 889).

$$Vs = \frac{\frac{0{,}421l}{s} * 1m3/1000L}{\pi * \left(\frac{102.26mm}{2}\right)2 * \frac{1cm}{(10mm)2} * \frac{1m2}{(100cm)2}}$$

$$Vs = 0,\ 51\ m/s$$

$$Vs = 1{,}67 pies\ /\ s$$

Por lo tanto, la tubería de diámetro nominal 4” cédula 40 permitió cumplir con el rango de velocidad de succión para una bomba reciprocante de acuerdo a los datos expuestos. Para el cálculo de la velocidad de descarga, se consideró una tubería de diámetro nominal de 3” cédula 80 con un diámetro interno de 73,66 mm (Mills, 1995, pág. 889).

$$Vd = \frac{0{,}421ls * 1m3/1000L}{\pi * \left(\frac{73{,}66mm}{2}\right)2 * \frac{1cm}{(10mm)2} * \frac{1m2}{(100cm)2}}$$

$$Vd = 0,\ 98\ m/\ s$$

$$Vd = 3,\ 21\ pies\ /\ s$$

Por lo tanto, la tubería de diámetro nominal 3” cédula 80 permitió cumplir con el rango de velocidad de descarga para una bomba centrífuga de acuerdo a los datos expuesto

Una vez que se determinó el diámetro de la tubería y las velocidades de succión y descarga, se calcularon las pérdidas por fricción y por accesorios.

Pérdidas por fricción y por accesorios en la zona de succión:

Para determinar las pérdidas por fricción en la tubería, se determinó el valor del coeficiente de fricción (f), en función al número de Reynolds (Re) y ε/D, mediante el diagrama de Moody.

El número de Reynolds se determinó a partir de la tubería 4” cédula 40 es 102,16 mm (Mills, 1995, p. 889).

$$Re = \frac{\frac{0{,}51m}{s} * 997{,}33 * \frac{1cm}{10mm} * 1m/100cm}{11x10-4\frac{kg}{ms}}$$

$$Re = 4,\ 47\ x10¨4$$

Para la relación ε/D se consideró una tubería de acero inoxidable 304 material con un coeficiente de rugosidad (ε) de 0,002 mm (Soriano & Pancorbo, 2012, pág. 38).

$$\frac{\varepsilon = 0{,}002\ mm}{D = 102{,}26\ mm} = 1{,}95 \times 10–5$$

A partir del número de Reynolds y la relación ε/D, se determinó gráficamente el coeficiente de fricción (f) mediante el diagrama de Moody.

$$f = 0{,}018$$

Diámetro nominal 4" cédula 40, la cabeza de pérdida por fricción es:

$$Hfs = 0{,}018x \frac{\mathbf{450m}*\left(\frac{\mathbf{0{,}51m}}{s}\right)\mathbf{2}}{\mathbf{102{,}26m}*\left(\frac{\mathbf{1cm}}{\mathbf{10mm}}\right)*\left(\frac{\mathbf{1m}}{\mathbf{100cm}}\right)*\mathbf{2}*\frac{\mathbf{9{,}81m}}{s}}$$

$$Hfs = 0{,}01 \text{ m}$$

Posteriormente se determinó la cabeza de pérdidas por accesorios en la tubería:

Tabla 34. Accesorios y constante presente en la tubería para el almacenamiento del lixiviado hacia el reactor

Accesorio	Cantidad	K
Válvula de bola	1	10,0
Pérdidas de entrada a la tubería	1	0,5
Codo estándar	1	0,9
Tee estándar	1	1,8
Pérdidas a la salida de la tubería	1	1,0

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020

$$H \text{ accesorios} = \frac{\mathbf{(0{,}51m/s)2}}{\mathbf{2}*\frac{\mathbf{9{,}81m}}{\mathbf{s2}}}*(1*0{,}8*1*0{,}5+1*0{,}9+1*1{,}80)$$

$$H \text{ accesorios} = 0.05 \text{ m}$$

Pérdidas de cabeza por fricción y accesorios en la zona de descarga:

A partir del procedimiento detallado para el cálculo de las pérdidas por fricción en la zona de succión, se determinó el coeficiente de fricción (f). El número de Reynolds se determinó a partir de El diámetro interno de la tubería 3" cédula 80 es 73,66 mm (Mills, 1995, pág. 889).

$$Re = \frac{0{,}98*997{,}33*73{,}66*\frac{1cm}{10mm}*1m/100cm}{11x10-4\frac{kg}{ms}}$$

$$Re = 6 \text{ x}10*4$$

Para la relación ε/D se consideró una tubería de acero inoxidable 304, material con un coeficiente de rugosidad (ε) de 0,002 mm (Soriano & Pancorbo, 2012, pág. 38).

$$\frac{\varepsilon = 0{,}002\text{mm}}{D = 73{,}66mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 2{,}71\ x10 - 5$$

A partir del número de Reynolds y la relación ε/D, se determinó gráficamente el coeficiente de fricción (f) mediante el diagrama de Moody.

$$f = 0{,}018$$

Al reemplazar los valores correspondientes para la tubería de diámetro nominal 3" cédula 80, la cabeza de pérdida por fricción es:

$$Hfd1 = 0{,}018x \frac{\left(\frac{0{,}98\text{m}}{\text{s}}\right)2 * 13{,}20\text{m}}{73{,}66 * \frac{1cm}{10mm} * \frac{1m}{100cm} * 2 * \frac{9{,}81m}{s}}$$

$$Hd1 = 0{,}27\text{m}$$

Posteriormente se determinó la cabeza de pérdidas por accesorios:

$$H_{acsesorios} = \frac{\left(\frac{0{,}98m}{s}\right)2}{2 * \frac{9{,}81m}{s}} * (1 * 10 + 2 * 1{,}8 + 1 * 2{,}5)m$$

$$H_{accesorios} = 0{,}74\text{ m}$$

Tabla 35. Especificaciones de las tuberías que conectan al tanque reactor.

TUBERIA	VELOCIDAD (m/s)	DIAMETRO NOMINAL	PERDIDAS POR FRICCION	PERDIDAS POR ACCSEORIOS
Tramo 1 succión	0,51	4 ´´ cedula 40	0,01	0,57
Tramo 2 descarga	0,98	3´´ cedula 80	0,78	3,14

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Para el dimensionamiento y selección de la bomba se determinó la altura de bomba (HB), altura dinámica total (TDH) y potencia.

Sistema tanque de complejo EDTA-Fe – reactores.

Para el dimensionamiento de las tuberías que conecta al tanque de almacenamiento del complejo al reactor se consideraron las velocidades permisibles para flujo por gravedad de 0,20 a 0,80 pies/s (0,06 a 0,24 m/s) (McCabe et al.,2007, pág. 209).

4.7.2. Calculo para la altura de la bomba (HB).

Para realizar el cálculo de la altura de la bomba de Bernoulli, se realizó una simplificación de la ecuación, de acuerdo al nivel de referencia donde se consideró a Z= 2,70 m, este valor es correspondiente a la altura entre el nivel del fluido en el tanque de almacenamiento de NAOH y el valor de las pérdidas de carga por la fricción y accesorios en la zona de succión y descarga.

HB=Z+hfs+hfd+hs accesorios+ h accesorios d

$$HB = (2{,}70 + 0{,}01 + 0{,}78 + 0{,}57 + 3{,}14)\ \text{m}$$

HB= 7,2m

4.7.3. Cálculo de la altura dinámica total (TDH).

El valor de TDH se determinó mediante la Ecuación, previo al cálculo de la presión de succión y la presión de descarga. Para determinar la presión de succión se realizó el cálculo previo del cabezal estático de succión y de las pérdidas por fricción y por accesorios en la zona de succión. El cabezal estático de succión, para este cálculo se conoce la altura del tanque de almacenamiento del efluente en la línea de succión de 4,00 m.

$$AHss = 4m * \frac{997{,}33kg}{m3} * \frac{2{,}2lb}{1kg} * \frac{(2{,}54x10 - 2m)2}{1pug2}$$

AHss= 5,66 psi

Posteriormente se realizó el cálculo de las pérdidas por fricción y accesorios en la zona de succión.

AHfs = (hfs + h accesorios s) × d

$$AHfs = (0{,}03 + 0{,}57)m * \frac{997{,}33kg}{m3}$$*2,2 lb/1kg*(2,54x10-2m)2/1pulg2

AHfs=0,83 psi

Al reemplazar los valores correspondientes en la Ecuación, la presión de succión es:

Ps = (5,66 — 0,83) psi

Ps = 4,83 psi = 33,29 kPa

Para determinar la presión de descarga se realizó el cálculo previo del cabezal estático de descarga. Se conoce la altura del reactor en línea de descarga de 2,53 m.

$$\text{AHsd} = 2{,}57m * \frac{997{,}33kg}{m3} * 2{,}2\,\frac{lb}{1kg} * \frac{(2{,}54x10-2m)2}{1pulg}$$

AHsd= 3,63 psi

Posteriormente se realizó el cálculo de las pérdidas por fricción y por accesorios en la zona de descarga.

AHfd= (0, 78++3, 14) m*997, 33kg/m3*2, 2lb/1kg*(2, 54x10´´-2)2/1pulg2

AHfd=5,22 psi

Al reemplazar los valores correspondientes en la ecuación, la presión de descarga es:

Pd = (3,63 + 5,22) psi

Pd = 8,85 psi8,

psi = 61,,01 kPa

Por lo tanto, el TDH de la bomba es:

TDH = (8,85 — 3,63) psi

TDH = 5,22 psi = 35,97 kPa

4.7.4. Cálculo de la potencia de la bomba.

La bomba tiene una eficiencia del 90,00 % de acuerdo a la curva de operación

$$P_{bomba} = 7{,}22\text{m} * \frac{997{,}33\text{kg}}{\text{m3}} * \frac{9{,}81\text{m}}{\text{s2}} * \frac{7{,}9\text{l}}{\text{s}} * \frac{1\text{m3}}{1000\text{l}} / 0{,}90$$

P_{bomba}=502.24 W = 0,67 HP

Para la selección de la bomba se consideró un factor seguridad del 10%.

P_{bomba} =0,67 *1,10

P_{bomba} = 0,73 HP nominal

Tabla 36. Parámetros para el dimensionamiento de la tubería que conecta el almacenamiento del complejo con el reactor.

Tramo de tubería	**Parámetros**	**Magnitud**
1	Caudal	0,62 L/s
	Longitud de la tubería	1,00 m

Nota: Material utilizado PVC.

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.7.5. Dimensionamiento de válvulas.

Para el dimensionamiento y selección de válvulas se determinó el coeficiente de flujo de válvula por medio de los criterios de diseño, la válvula debe dimensionarse para un flujo máximo del 30% por encima del flujo nominal caudal máximo es de 3,95 l/s.

$$Q = \mathbf{3,95}\frac{l}{s} * \mathbf{60}\frac{s}{1min} * \mathbf{1}\frac{gal}{3{,}78} * \mathbf{1,30}$$

Q = 81,51 GPM

4.7.6. Cálculo de la caída de presión a través de la válvula

La caída de presión se la considero un30% a través de la tubería, la caída de presión a través de la válvula a condiciones normales de operación es 54,51 Kpa.

AP =84,51 = 12,26 psi

AP = 12,26 psi *0,30 = 3,68 psi

$$\text{C.V.} = \frac{81{,}51\ gpm}{\frac{\sqrt{3{,}68}}{1}} = \mathbf{42,92}$$

Tabla 37: Especificación de bombas.

HOJA DE ESPECIFICACION N°10
NOMBRE DEL EQUIPO: bombas Reciprocantes de Pistón
CARACTERISTICAS TECNICAS **CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACION** 386.5 m³/h **MODELOS;** RDP **MAXIMA VELOCIDAD** 480 rpm **PRESION MAXIMA** = 14500 PSI **TEMPERATURA** – 40° hasta 200 ° c)
MATERIAL DE CONSTRUCCION; Acero inoxidable AISI 304
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO; El fluido entra por medio de una conexión de succión concéntrica al eje del elemento giratorio de la bomba por el impulsor, este aumenta la energía mecánica del lixiviado aprovechando la acción de fuerza y transformándola en energía cinética y esta a la vez en energía de presión. El lixiviado recibe la energía del impulsor y es expulsado hacia la posterior descarga generando una conexión tangencial. Este tipo de bomba es utilizada en un amplio rango de aplicaciones a nivel industrial, químico etc.
Esquema del equipo; 

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.7.7. Tiempo de operación.

El tiempo de operación del sistema complementario de lixiviados con el proceso Fenton, se tubo presente el tiempo de bombeo, el tiempo de carga y la descarga del efluente en cada equipo que forma el proceso.

Tabla 38. Tiempo de bombeo de los sistemas.

Sistema	Tiempo de bombeo (min)
Formulación del complejo fe-EDTA	30,00
Reacción	15,00
Coagulación	5,00
Neutralización	15,00

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 39. Etapas y del proceso.

Etapa	Actividades	Tiempo (min)	Tiempo + 10%(min)
Preparación y acondicionamiento del complejo	Preparación de soluciones concentradas	15,00	16,50
	Formulación y acondicionamiento del complejo	30,00	33,00
	Acondicionamiento	5,00	5,50
Reacción	Carga del reactor	20,51	22,56
	Alimentación H2O2 y complejo	16,10	17,71
	Reacción	15,00	16,50
Coagulación	Adición de la solución de NaOH	7,50	8,25
	Coagulación	5,00	5,50
	Descarga del reactor	29,00	31,90
Sedimentación	Sedimentación	72,60	79,86
Neutralización	Carga del tanque de neutralización	22,91	25,20
	Adición de H2SO4	3,04	3,34
	Reacción de neutralización	15,00	16,50
	Descarga del tanque de neutralización	22,91	25,20

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.7.8. Evaluación económica.

La evaluación económica para el diseño complementario del tratamiento de lixiviados, por medio de la aplicación del proceso oxidación Fenton modificado con EDTA , calcularemos la inversión inicial del proyecto, los costos directos e indirectos con el fin estimar la inversión que se aplicara y los costos que incurrirán dentro del proceso terciario dentro del año de aplicación.

4.8. Costo de Inversión y Operación.

4.8.1. Inversión Inicial del Proceso

Tabla 40. Costo directo para el sistema complementario del tratamiento de lixiviados.

Equipos		**Costo Unitario (USD)**	**Cantidad**	**Total+ 12 % Iva (USD)**
Reactor Batch	Tanque	11 570,89	1	12,959.39
	Agitador	4 200	1	4,704
Tanque coagulante	Tanque	8,700.67	1	9744.75
	Agitador	3,890.30	1	4,357.13
Tanque de sedimentación	Tanque	5,550,87	1	6,221.97
Tanque de complejo (Fe^{2+}-EDTA)	Tanque	2 683,03	1	3,004.99
	Agitador	3 200	1	3,584
Tanque de neutralización	Tanque	11 770,89	1	13,183.39
	Agitador	4 900	1	5,488
Bomba Reciprocantes		800	2	1792
Bomba Reciprocantes		800	2	1792
Bomba Reciprocantes		800	1	896
Tanque H2SO4		2.180.00	1	2,441.60
Tanque de agua		352.64	1	394.95
Tanque de NAOH		2,871,06	1	3,215.58
Tanque de H2O2		1232,33	1	1,380.20

TUBERIAS	1732,75	Varios	1,940.68
VALVULAS	24.241.36	Varios	27,150.32
Total			$103,830.28

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.8.2. Costo directo.

Para los costos directos, se incluyen los gastos que son relacionados en el proceso del tratamiento de los lixiviados.

En la siguiente tabla se presentan los costos totales de las tuberías, equipos principales, secundarios y para el sistema complementario del tratamiento de lixiviados.

Tabla 41: Costos directos mensual y anual de operación para el sistema complementario de lixiviados.

ITEMS	NÚMERO	COSTO UNITARIO	UNIDAD UTILIZADA	SALARIO TOTAL (USD)
Electricidad				$375,85
EDTA		0,50	123.50 KG	$1852,5
FESO4 7H20		0,10	22KG	$66
NAOH		0,44	131,51KG	$1,735.93
H2SO4		0,70	1,67KG	$35.07
H2O2		0,30	41.11KG	$369.99
Agua			139,62 m^3	$100,53
Operadores	1	400,00	mensual	400,00
Costo directo de operación al mes (USD)				$4,935.87
Total anual (USD)				$59,230.44

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

4.8.3. Costo indirecto.

Aquí se incluyeron los rubros técnicos y de administración para la operación del sistema del tratamiento de lixiviados, lo cual los costos se incluyen pagos de seguros a la mano de obra indirecta.

En las tablas 60 y 61 se muestra los costos indirectos mensual y anual de salarios.

Tabla 42. Costo Indirecto mensual de salarios.

PERSONAL	NUMERO	SALARIO INDIVIDUAL (USD)	SALARIO TOTAL (USD)
Jefe de Proyecto	1	2500,00	$2500,00
Ingeniero Civil	1	2500,00	$2500,00
COSTO REMUNERACIONES (USD)			$5000,00

Elaborador por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 43: Costo Indirecto anual de salarios.

PERSONAL	NUMERO	SALARIO INDIVIDUAL (USD)	SALARIO TOTAL (USD)
Transporte de residuos	31	20	$620
Varios	10	20	$200
INDIRECTOS			$820
TOTAL, ANUAL			$9,840

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

En la tabla 62 se muestra el costo inicial de implementación de sistema complementario de los lixiviados.

Tabla 44. Costos de inversión inicial del sistema complementario de lixiviados.

INVERCION INICIAL	VALOR (USD)
INVERCION INICIAL	$103,830.28
MANO OBRA	$ 5000.00
TOTAL	$108,830.28

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

Tabla 45: Costo de implementación del sistema complementario de lixiviados.

TIPO DE COSTO	VALOR (USD)
COSTO DIRECTO	$59,230,44
COSTO INDIRECTO	$9,840
TOTAL	$69,070.44

Elaborado por: Coba Wilson y Coba Jaime, 2020.

CONCLUSIONES:

- Se concluye que es importante proponer un proceso terciario dentro del tratamiento de lixiviados mediante la Oxidación avanzada de FENTON modificado con EDTA. Debido a que es el método más eficiente para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad Puyo. Este proceso opera de forma discontinua de 10 h/día a temperatura ambiente, almacenando el lixiviado e impulsándolo mediante una bomba hacia el reactor Batch, en el cual se da el proceso de oxidación que permite reducir la carga contaminante seguido de procesos que ayudan a cumplir el funcionamiento como lo son ,coagulación ,sedimentación, y neutralización. Para dimensionar los equipos se determinó que el caudal de lixiviados es de 0,420 L/s, esto se llegó a verificar mediante Tabla 64.Muestreo de caudal de lixiviados. Tomando en cuenta la precipitación de la zona. la inversión del sistema de tratamiento de lixiviados es de $69,070.44 anual, con una inversión $ 106,029.37.

- Para realizar el dimensionamiento de los equipos fue importante conocer la densidad y el caudal del lixiviado, para así lograr construir los equipos propuesto primarios y secundario del proceso Fenton modificado EDTA.

- El proceso Oxidación avanzada de Fenton modificado con EDTA trabaja a temperatura ambiente y con un pH neutro y su costo es menor, a diferencia de otros procesos de oxidación avanzada que requieren un pH ácido y de Ozonización que su valor de operación es mucho más elevado.

- El material más adecuado para la construcción del reactor Bacth y el tanque de neutralización es la fibra de vidrio y la resina de poliéster ya que son más resistentes a los químicos que se adicionan al momento de realizar el tratamiento

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los parámetros de descarga al cuerpo de agua dulce deben cumplir con los siguientes estándares: DBO 100 mg/ l, DQO 200 mg/l, nitrógeno total kjeldahl 50,0 mg/ l, solidos suspendidos totales 130 mg/ l, sólidos totales 1600 mg / l , los mismos que constan en el Acuerdo Ministerial 097-A.

- Se recomienda que el proceso terciario dentro del sistema de tratamiento de lixiviados debe de contemplar la reducción de DQO, NT, ST, SST, Y DBO5 siendo los más contaminantes al medio ambiente.

- Se recomienda implementar el proceso terciario mediante la Oxidación avanzada de FENTON modificado con EDTA, con el fin de obtener los límites permitidos por el Acuerdo Ministerial 097-A. Para el control de calidad del proceso, es importante analizar semestralmente los parámetros físico-químicos y microbiológicos del lixiviado que descarga la planta de tratamiento, controlando la descarga hacia el cuerpo de agua dulce, esto se lograra mediante los respectivos mantenimiento de las instalaciones de la planta de tratamiento, además es de suma importancia que el personal operativo de la planta reciba capacitaciones permanentes sobre el funcionamiento normal de los equipos y los índices permitidos de descarga. Adicionalmente se sugiere que los reactivos químicos sean utilizados en la cantidad adecuada para el tratamiento del lixiviado, manteniendo la descarga adecuada y los costos de operación.

BIBLIOGRAFÍA

14E, A. R. (2000). Recommended Practice for Desing and Installation Offshore Production Platform Piping Systems. *Academia*, 14.

Alibaba.com. (2020). *De fibra de vidrio FRP ácido sulfúrico H2SO4 tanque de almacenamiento o buque*. Retrieved from Alibaba.com: https://spanish.alibaba.com/product-detail/fiberglass-frp-sulfuric-acid-h2so4-storage-tank-or-vessel-60840000728.html

Alvarado, A. (2018). *Características de Lixiviados de Rellenos Sanitarios y Alternativas de Tratamiento Leachate Characteristic of Sanitary Landfills and Treatment Alternatives.*

Alvarado, N. (2016). *Tratamientos de lixiviados del relleno sanitario del cantón tena provincia de Napo mediante reacción fenton y microorganismos eficientes.* Riobamba.

Arias, C. S., & Agudelo, A. R. (2005). Seguimiento de una celda experimental de Residuos Solidos Urbanos. *Revista EIA*.

ASME B31.3. (2010). *Tuberias de proceso.* New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers.

Banco Mundial. (2018, Septiembre 20). *Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050*. Retrieved from https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050

Brandan , M. E. (2016). *Guía de diseño, construcción.* San Isidro, Lima, Perú.

Brenes, A. (2013). *Comparación de las propiedades Mecánicas entre una Resina Reforzada con Fibra de Cabuya y Resina Reforzada con Fibra de Vidrio.* Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Jose, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Cajas, A. (2018). *"Diseño de un sistema complementario para el tratamiento de aguas residuales de origen domestico mediante la aplicación de un proceso de oxidación avanzada y un sistema de recuperación de biogas".* Quito.

Canto, F. (2018). *Tratamieno de lixiviados de un Relleno Sanitario: Propuesta y Evaluaciòn de un sistema de Humedales Artificiales.* Santiago de Chile. Retrieved from Universidad de Chile facultad de ciencias fisìca y matemàticas departamento de INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y MATERIALES: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluaci%c3%b3n-de-un-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carvajal, P. A. (2019). *Evaluación del grado de contaminación de las aguas provenientes de la planta de tratamiento de lisxiviados del relleno sanitario de la ciudad del Puyo*. Retrieved from Universidad Nacional de Loja, Loja.

Chávez, W. (2011). *Tratamiento de lixiviados genereados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx. (Tesis).* Chihuahua .

Chisag, M. N. (2014). *"Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para el botadero de curgua del Canton Guaranda Provincia de Boliva" (Tesis).* Riobamba.

CIFUENTES, A. M. (2013, 04 09). *Universidad Central del Ecuador.* Retrieved from ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO: file:///C:/Users/misae/Downloads/T-UCE-0017-37.pdf

COGERSA. (2011). *Planta de tratamiento Fisico - Quimico*. Retrieved from COGERSA: https://www.cogersa.es/metaspace/portal/14498/19207

COGERSA. (2011). *Planta de tratamiento Fisico - Quimico*. Retrieved from COGERSA: https://www.cogersa.es/metaspace/portal/14498/19207

Contreras Álvarez , A., & Suárez Gelvez, J. H. (2006). *Tratamiento Biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta.* Barranquilla - Colombia: Ingenieria y Desarollo.

Decologia.info. (2019). *Relleno Sanitari: Definicion, Funcion, Tipos, Ventajas, Desventajas y mas*. Retrieved from https://decologia.info/medio-ambiente/relleno-sanitario/#top

Evonik Leading Beyond Chemistry. (2010). *Sobre Peroxido de Hidrogeno. Almacenamiento*. Retrieved from Evonik Leading Beyond Chemistry: https://www.active-oxygens.com/product/h2o2/es/about/storage/

García, J. (2017). *Estimación experimental en condiciones de laboratorio de las concentraciones Óptimas de fenton (Tesis).* Quito.

García, J. (2018). *Lixiviado joven vs lixiviado viejo.* España: Universidad de Santiago de Compostela.

Gavilanes, I. (2017). *Rellenos Sanitarios.* Riobamba.

Gear, J. (2017). Respositorio de la Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from uta.edu.ec

Ger, J. (2017, 08). *Repositorio Universidad Tecnica de Ambato.* Retrieved from uta.edu.ec

Gestión Integral de Residuos. (2015). *Gestión Integral de Residuos.*

Giraldo, E. (2014). Tratamiento de lixiviados de Rellenos Sanitarios:Avances Recientes. *Universidad de los Andes*.

Giraldo, E. (2016). *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.* Universidad de los Andes, Ingeniería civil y Ambiental. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/268121715.pdf

Giraldo, E. (2018). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Universidad de los Andes*, 12.

Guzmán, D. (2017). Consultoría del diseño y aprovechamiento del espacio físico del relleno sanitario para la gestión integral del manejo de los residuos sólidos de la ciudad de Puyo.

Hidalgo, M. G. (2016, 11). *CONAMA 2016*. Retrieved from ALTERNATIVAS EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDERO: http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998971810.pdf

Hidro quivir. (2020). *Equipos domesticos para la purificaciòn del agua* . Retrieved from Hidro quivir: https://hidroquivir.com/

INOXMIM. (2020). *Bomba Centrífuga Simple FL20C*. Retrieved from INOXMIM: https://www.inoxmim.com/agitadores-bombas/bomba-centrifuga-simple-fl20c

Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). (2017). *Servicios y Prestaciones*. Retrieved from https://www.iess.gob.ec/es/web/afiliado/servicios-y-prestaciones

Isch, T. (2016). *Estudio de un sistema para el tratamiento de efluentes contaminados con compuestos surfractantes por un método Fenton y Fenton modificado con un agente quelante EDTA (Tesis).* Quito.

Lascano, J. (2020). *Depuración de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, perteneciente al cantón Pastaza, provincia de Pastaza, utilizando métodos alternativos "Biomasa Residual.* Puyo.

LENNTECH. (2020). *LENNTECH*. Retrieved from Oxidación avanzada: https://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm

Lombeida, N. (2015). *Diseño de un reactor tipo batch para la obtencion de biodiesel a partir de aceite de ricino(Ricinus communis).* Quito: Escuela Politecnica Nacional.

López, D. (2016). *Diagnóstico, caracterización y propuesta de tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato (Tesis).* Quito.

Luna, M. (2008). *Trabajo de tratamiento para Llixiviados Generados en Rellenos Sanitarios.* Sucre, Colombia.

MAE. (2014). *Hitos en la gestión integral de los residuos sólidos en Ecuador*. Retrieved from https://www.ambiente.gob.ec/hitos-en-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-ecuador/

MAE. (2015). *Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente, libro VI, Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes al recurso agua.*

MAE. (2017, 12 31). *Programa Nacional para la gestion Integral de Desechos Solidos.* Retrieved from https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/PNGIDS-DICIEMBRE-2017.pdf

MAE, & PNGIDS. (2015). *Diagnostico de la cadena de Gestion Integral de Desechos Solidos- Reciclaje.* Retrieved from https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/08/Resumen-Cadena-de-Gestion-de-Residuos-S%C3%B3lidos.pdf

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química (7ma. ed.).* Mexico: Mc Graw Hill.

Méndez , R., Hernández, E., Franco , C., Castillo , E., & Sauri, M. (2002). Tratamiento de lixiviados con carbón activado (PDF). *Academia*. Retrieved from Tratamiento de lixiviados con carbón activado: https://www.academia.edu/35216042/Tratamiento_de_lixiviados_con_carb%C3%B3n_activado

Méndez, R., García, R., Castillo, E., & Sauri, M. (2010). *Ingeniería e Investigación.* Retrieved from Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/29210/15212-46134-1-PB.pdf?sequence=1

Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, 3era edición. *Academia*, 247.

Mills, A. (1995). *transferencia de calor.* Madrid: Irwin.

Ministerio Coordinador de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD)* .

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2010). *Guía para la Implementación, operación y cierre de rellenos sanitario.* Bolivia.

Ministerio de Trabajo. (2016, Diciembre 28). *Acuerdo Ministerial Nº MDT-2016 0300*. Retrieved from Ministerio de trabajo: http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/AM-SBU-MDT-2016-0300.pdf

Ministerio del Ambiente. (2015). *Revisión del Anexo 1 del libro Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua.* Quito.

Ministerio del Ambiente y Agua. (2010). *Programa nacional para la gestión integral de desechos sólido - PNGIDS Ecuador.* Retrieved from https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/

Ministerio del ambiente y el agua. (2018). *Código Orgánico Ambiental.*

Ministerio del Medio Ambiente y Agua. (2012). *Guía para el Diseño. Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios.* Bolivia.

Monge, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2016). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales.* Retrieved from Triton Cyted: http://www.cyted.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf

Mosquera, E. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA UN CELDA EMERGENTE DE RESIDUOS SOLIDOS DEL MUNICIPIO DE PASTAZA (Tesis).* Riobamba. Retrieved from ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10550/1/236T0409.pdf

Nacional, A. (2008). *Constitución de la republica del Ecuador.*

Naranjo, D. (2017). *Remoción de tensoactivos y coliformes de un sistema de tratamiento de aguas residuales rurales.* Quito : Escuela Politecnica Nacional .

NIB. (2010). *Sistema de Tratamiento de Agua.* Retrieved from NIB: http://www.nib.fmed.edu.uy/CursoIB_2010/diapositivas/Tratamiento_de_Agua2.pdf

OPS. (2005a). Guías para el diseño de Reservorios elevados de agua potable. *Academia*, 16-21.

Organizacion Panamericana de la Salud. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE RESERVORIOS ELEVADOS.* Retrieved from Organizacion Panamericana de la Salud: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005c%20Reververvorios%20elevados.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (2005a). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES.* Retrieved from Organizacion Panamericana de la Salud: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

Paredes, J., Pérez, C., & Castro , C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Scielo*, 10.

Pedrollo. (2015). *Bombas centrifugas*. Retrieved from http://pedrollo.com.ec/producto/al-red/

Pérez , A. G. (2008). *Aplicabilidad de procesos de coagulación-floculación y de sistemas de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos.* España.

Perry, R. (2001). *Manual del Ingenierio Quimico (7ma. ed.).* New York: McGraw-Hill.

Pinos, V. (2020, 01 31). *Universidad de Cuenca*. Retrieved from Ucuenca en línea: https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1509-oxidacion?Itemid=437#:~:text=Los%20Procesos%20de%20Oxidaci%C3%B3n%20Avanzada%20tienen%20como%20ventajas%20la%20transformaci%C3%B3n,convencionales%3B%20la%2

Portillo, S. (2020). *Lixiviados definición, ejemplos y tratamiento.* España.

Recytrans. (2013, 08 02). *Soluciones globales para el reciclaje*. Retrieved from Clasificación de los residuos: https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-residuos/

Redondo, M. (2016). *Etapas en la gestión de residuos sólidos*. Retrieved from SlidePlayer: https://slideplayer.es/slide/8910875/

ResearchGate. (2013, Junio). Mechanical Properties Of Concrete for Low- Cost Housing. *ResearchGate*, Final_Propiedades_mecnicas_concreto_viviendas_bajo_costo. Retrieved from ResearchGate: file:///C:/Users/misae/Downloads/Final_Propiedades_mecnicas_concreto_viviendas_bajo_costo.pdf

Richmagui, G. (2017). *Manual para el manejo de desechos sólidos.* 2017: Fondo Nordico de desarrollo.

Romero, J. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales.Teoria y principios de diseño (2d. ed).* Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieria .

Rotoplas mas y mejor agua. (2015). *Tanque De Almacenamiento De Agua 10.000 Litros*. Retrieved from Rotoplas mas y mejor agua: http://rotoplas.com.ec/producto/tanque-10000/

Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE). (2012). *Servicio Nacional de Aduana del Ecuador*. Retrieved from Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE): https://www.aduana.gob.ec/boletines/

Sinnott, R. (2005). *Chemical Engineering Desing 4 edition.* Amsterdan: Elsevier.

Sinnott, R. (2009). *Chemical Engineering desing.* Londres: ELSEVIER.

Soluciones Termoplasticas. (2017, 03 28). *PFA laminando dual para tanques de acido de ultra alta pureza en EE.UU.* Retrieved from Soluciones Temoplasticas: https://solucionestermoplasticas.com/pfa-laminando-dual-para-tanques-de-acido-de-ultra-alta-pureza-en-ee-uu/

Soluciones Termoplasticas. (2017, 03 28). *PFA laminando dual para tanques de acido de ultra alta pureza en EE.UU.* Retrieved from Soluciones Termoplasticas: https://solucionestermoplasticas.com/pfa-laminando-dual-para-tanques-de-acido-de-ultra-alta-pureza-en-ee-uu/

Soriano, A., & Pancorbo, F. (2012). *Suministro, distribución y evacuación interior de agua sanitaria.* Barcelona-España: S.A Marcombol.

Streeter, V. (2000). *Mecánica de fluidos (9na. ed.).* Bogotá: Graw Hall.

Tersainox S.A. (2012). *Aceros para Acido Sulfurico*. Retrieved from http://www.tersainox.com/images/tersaber/pdf/Tersaber_63_Spa.pdf

Timbalombo, N. M. (2014). *"Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para el botadero de curgua del Cantó Guaranda Provincia de Bolívar" (Tesis).* Riobamba.

Torri, S. (2017). *¿Qué es un relleno sanitario?* Buenos Aires: Centro de Estudios y Desarrollo de Poñíticas Públicas.

Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Desing: Principles,Practice and Economics of plant and Process Design (1era. ed.).* California: Elsevier.

Towler, G., & Sinnott, R. (2012). *Chemical Engineering Desing Principles, Practice and Economic of Plant and Process Design Second Edition.* California: ELSEVIER.

Umaña, P. (2018). *Rellenos sanitarios: ¿una bomba de tiempo para el ambiente?* Ciudad Universitaria Rodrigo Facio Brenes: Ciencia y Tecnología.

WATER, T. (2020). *TAPP WATER*. Retrieved from ¿Cómo funcionan los filtros de carbón activado?: https://tappwater.co/es/eliminan-agua-grifo-filtros-carbon-activado/

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de la toma de datos, antes de iniciar la pandemia para desarrollo de la tesis en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, del Ing. Marco Barreto.



CERTIFICACIÓN

El suscrito Ing. Marco Barreto R. con C.C.160038196-4 en su calidad de Técnico Ambiental.

CERTIFICA:

Que los estudiantes Wilson Eduardo Coba Iturralde con C.I. 1805180336 y Jaime Eduardo Coba Iturralde con C.I. 1850746288 realizaron la toma de datos en el relleno sanitario antes de iniciar las medidas de restricción debido a la pandemia, los estudiantes antes mencionados pueden utilizar los datos tomados para realizar el proyecto de titulación. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizado el presente para los trámites necesarios excepto judiciales.

Puyo, 17 de junio de 2020

Atentamente,

Ing. Marco Barreto R.
TÉCNICO DIRECCIÓN DE
GESTIÓN AMBIENTAL Y RIESGOS
GADMC PASTAZA.

Anexo 2. Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de lixiviado puro, tomados previo al ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales.

INFORME DE RESULTADOS No: L-033-19

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	Ing. Jessica Duque	**ATENCIÓN A.**	Ing. Jessica Duque
DIRECCIÓN:	Puyo, Km 5 Vía a 10 de agosto	**TELÉFONO:**	0984180651
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviados	**PUNTO DE MUESTREO:**	Relleno Sanitario. Lixiviado Puro Previo Ingreso a Planta de Tratamiento Celda Actual.
CÓDIGO CLIENTE:	L-3	**FECHA DE MUESTREO, RESPONSABLE:**	NA

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

MUESTREO REALIZADO POR:	LABCESTTA S.A	**NÚMERO DE MUESTRAS:**	01
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	13/11/2019 12:30	**ANÁLISIS SOLICITADO:**	Físico – Químico Microbiológico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	14/11/2019 19:00	**FECHA DE ANÁLISIS:**	14/11/2019 - 02/12/2019
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	02/12/2019	**CÓDIGO LABORATORIO:**	AL-L-033-19
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	Jhampier Gaibor	**COORDENADAS:**	18M 0170825 / 9837121
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS	T máx.:25,0 ºC. T min.: 15,0 ºC		

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO/NORMA	LÍMITE MÁXIMO	CRITERIO
Aceites y Grasa	mg/L	20,0	Standard Methods Ed.23.2017 5520 B	30,0	CUMPLE
*Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	758,47	Standard Methods No 5210 B	100	NO CUMPLE
*Demanda Química de oxigeno	mg/L	1968	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	200	NO CUMPLE
Fenoles	mg/L	0,105	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,2	CUMPLE
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	6300	Standard Methods Ed.23.2017 9222 B	10000	CUMPLE
*Nitrógeno total kjeldahl	mg/L	1089,52	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	50,0	NO CUMPLE
Tensoactivos aniónicos	mg/L	0,115	Standard Methods Ed.23.2017 5540 C	0,5	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	mg/L	7,75	PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H^+ B	6-9	CUMPLE
*Sólidos Suspendidos totales	mg/L	542	Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	130	NO CUMPLE

*Sólidos Totales	mg/L	9100	Standard Methods Ed.23.2017 2540B	1600	NO CUMPLE
Mercurio	mg/L	0,0023	PE-AL-10 EPA 3015 A, Rev. 1 2007 EPA 245.1, Rev.3, 1994 EPA 7470ª, Rev.1, 1994	0,005	CUMPLE
Plomo	mg/L	0,17	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,2	CUMPLE
*Fosforo total	mg/L	14,3	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	10,0	NO CUMPLE
Arsénico	mg/L	0,0009	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,1	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	0,010	PE-AL-09 Standard Methods Ed.23.2017 4500 CN-E	0,1	CUMPLE

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración.
- La columna: Valor límite permisible, esta fuera del alcance de acreditación del SAE.
- Los ensayos marcados con (*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de conformidad IE-AL-26.

Anexo 3. Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de lixiviados, tomados en el punto de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales.

INFORME DE RESULTADOS No: L-033-19

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	Ing. Jessica Duque	**ATENCIÓN A.**	Ing. Jessica Duque
DIRECCIÓN:	Puyo, Km 5 Vía a 10 de agosto	**TELÉFONO:**	0984180651
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviados	**PUNTO DE MUESTREO:**	Relleno Sanitario. Descarga Planta de Lixiviado Celda Actual.
CÓDIGO CLIENTE:	L-3	**FECHA DE MUESTREO, RESPONSABLE:**	NA

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

MUESTREO REALIZADO POR:	LABCESTTA S.A	**NÚMERO DE MUESTRAS:**	01
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	13/11/2019 12:30	**ANÁLISIS SOLICITADO:**	Físico – Químico Microbiológico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	14/11/2019 19:00	**FECHA DE ANÁLISIS:**	14/11/2019 - 02/12/2019
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	02/12/2019	**CÓDIGO LABORATORIO:**	AL-L-033-19
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	Jhampier Gaibor	**COORDENADAS:**	18M 0170825 / 9837121
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS	T máx.:25,0 ºC. T min.: 15,0 ºC		

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO/NORMA	LÍMITE MÁXIMO	CRITERIO
Aceites y Grasa	mg/L	7,6	Standard Methods Ed.23.2017 5520 B	30,0	CUMPLE
*Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	407	Standard Methods No 5210 B	100	NO CUMPLE
*Demanda Química de oxigeno	mg/L	1111	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	200	NO CUMPLE
Fenoles	mg/L	0,075	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,2	CUMPLE
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	4300	Standard Methods Ed.23.2017 9222 B	10000	CUMPLE
*Nitrógeno total kjeldahl	mg/L	168,36	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	50,0	NO CUMPLE
Tensoactivos aniónicos	mg/L	0,217	Standard Methods Ed.23.2017 5540 C	0,5	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	mg/L	7,33	PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H^+ B	6-9	CUMPLE
*Sólidos Suspendidos totales	mg/L	190	Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	130	NO CUMPLE
*Sólidos	mg/L	3568	Standard Methods	1600	NO

Totales			Ed.23.2017 2540B		CUMPLE
Mercurio	mg/L	0,002	PE-AL-10 EPA 3015 A, Rev. 1 2007 EPA 245.1, Rev.3, 1994 EPA 7470ª, Rev.1, 1994	0,005	CUMPLE
Plomo	mg/L	0,160	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,2	CUMPLE
Fosforo total	mg/L	0,50	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	10,0	CUMPLE
Arsénico	mg/L	0,0042	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	0,1	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	0,007	PE-AL-09 Standard Methods Ed.23.2017 4500 CN-E	0,1	CUMPLE

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración.
- La columna: Valor límite permisible, esta fuera del alcance de acreditación del SAE.
- Los ensayos marcados con (*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de conformidad IE-AL-26.

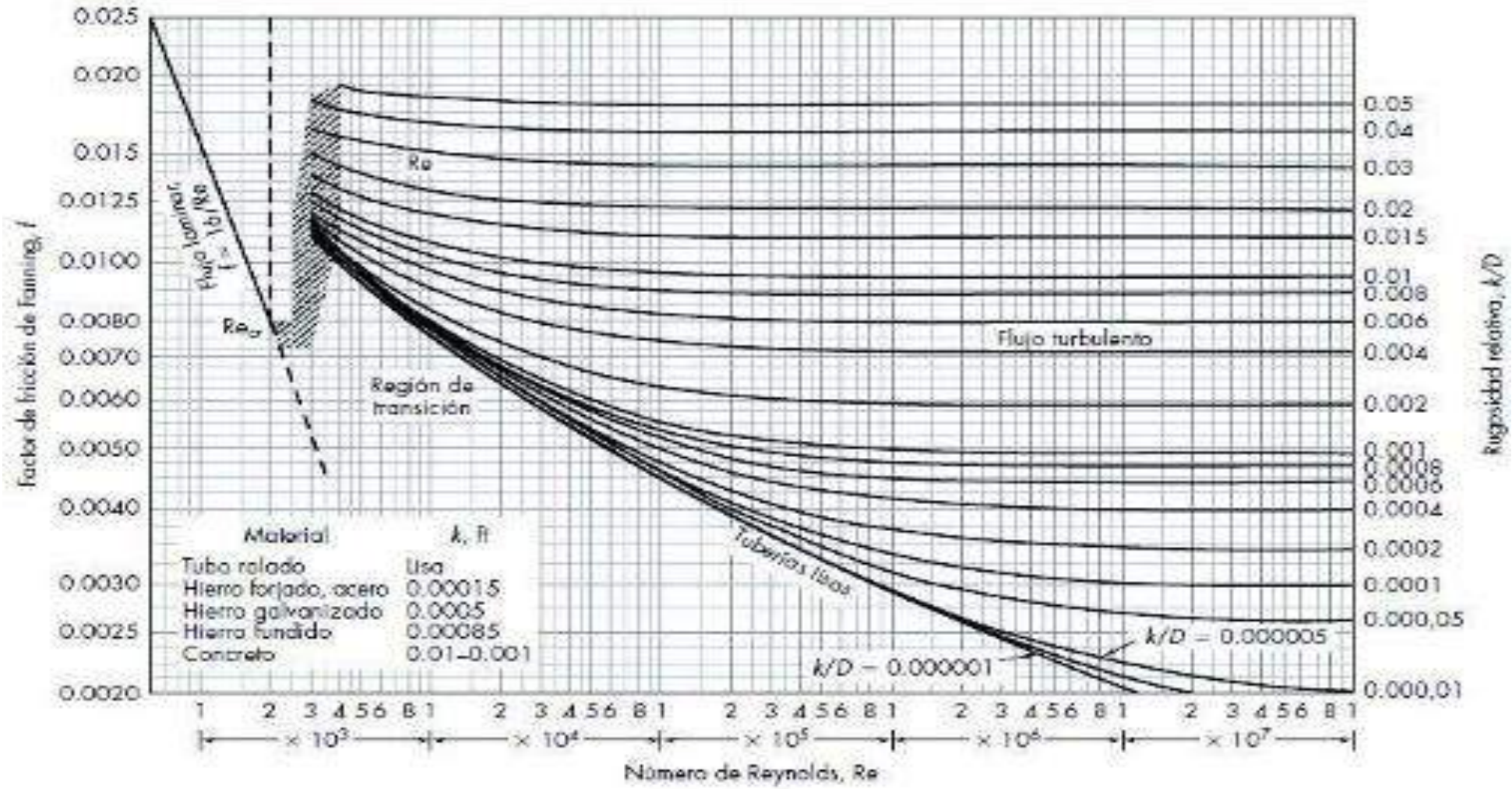
Anexo 4. Esquema Actual de la planta.



Anexo 5. Esquema de la planta con oxidación fenton modificado.



Anexo 6. Diagrama de Moody.



Anexo 7. Curva de operación de operación de sistemas de impulsión de las bombas RECIPROCANTES 1,2 y 3.

