

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL.**

Julio Francisco Marmolejo Muñoz.

julio.marmolejo@epn.edu.ec

Andrés David Naranjo Quishpe.

andres.naranjo@epn.edu.ec

DIRECTOR(A): ING. SANTIAGO S. GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTOR(A): ING. MARIA BELEN ALDAS, M.Sc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certifico/Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Julio Francisco Marmolejo Muñoz y Andrés David Naranjo Quishpe como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogos en Agua y Saneamiento Ambiental.

**ING. SANTIAGO S. GUERRA
SALCEDO, M.Sc.**
DIRECTOR

ING. MARIA BELEN ALDAS, M.Sc.
CODIRECTORA

DECLARACIÓN

Nosotros Sres. Julio Francisco Marmolejo Muñoz con CI: y Andrés David Naranjo Quishpe con CI: 1721485785 (número de cédula) declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi/nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he/hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy/somos titular/titulares de la obra en mención y otorgo/otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego/Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Marmolejo Muñoz Julio Francisco



Naranjo Quishpe Andrés David

DEDICATORIA

A nuestro Dios que ha estado en todo momento, dándome salud, vida y guía para seguir adelante con todos mis proyectos.

A mi familia, por el esfuerzo que realizaron día a día para lograr este objetivo muy importante en mi vida.

A mis amigos, en especial a Andrés Naranjo mi compañero de fórmula, con el cuál sin su apoyo incondicional en el transcurso de nuestra carrera hubiera sido imposible culminarla.

AGRADECIMIENTO

A todos los docentes de Escuela de Formación de Tecnólogos, Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental, a nuestra codirectora María Belén Aldaz y en especial a mi tutor de tesis Ing. Santiago Guerra, que sobre todas las circunstancias nunca dejó de creer en nosotros.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas aquellas personas que no dejaron de creer en que se podía lograr este objetivo, va dedicado a mis padres por creer y apoyarme, a mis hermanos y mi sobrinita por estar siempre conmigo y ser mi inspiración.

AGRADECIMIENTO

Agradecerles a todos los docentes de la ESFOT y en especial al Ing. Santiago Guerra por ayudarnos y guiarnos para la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos	2
1.2.1	Evaluar la producción de lixiviados generados en el relleno sanitario.	2
1.2.2	Dimensionar la planta de tratamiento primario de lixiviados.	2
1.2.3	Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento primario de lixiviados.	2
1.3	Fundamentos teóricos.....	2
	1.3.1 Generalidades de Lixiviados	2
	1.3.2 Características de los lixiviados	3
	1.3.3 Generación de Lixiviados.	4
2	Metodología	8
2.1	Producción de Lixiviados en el Relleno Sanitario Pelileo-Patate.	8
	2.1.1 Datos del relleno sanitario	8
	Datos Hidrológicos y de suelo.	11
	2.1.3 Evaluación de las lagunas de oxidación	13
2.2	Parámetros para diseñar la planta de tratamiento primario de lixiviados.	15
	2.2.1 Precipitación Química.	15
	2.2.2 Criterios de diseño para rejilla.	15
	2.2.3 Criterios de diseño para el desarenador	16
	2.2.3 Criterios para cálculo de sedimentador primario.	16
	2.2.4 Criterios para el cálculo del tanque precipitador de metales	17
3	Resultados y Discusión.....	18
3.1	Evaluar la producción de lixiviados generados en el relleno sanitario.	18
	3.1.1 Determinación de volumen de Residuos.	18
	3.1.2 Determinación de capacidad necesaria del relleno Sanitario y volumen de residuos.	18
	3.1.3 Determinación de caudal.	19

3.1.4 Comparación de resultados de los análisis realizados	21
3.2 Dimensionar la planta de tratamiento primario de lixiviados.....	23
3.2.2 Dimensionamiento de rejillas	26
3.2.3 Dimensionamiento de desarenador	30
3.2.4 Dimensionamiento de sedimentador primario	33
3.2.5 Dimensionamiento del tanque cilíndrico para la precipitación de metales pesados	39
3.3 Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento primario de lixiviados.....	41
3.4 Eficiencia de remoción esperada	41
3.4.1 Porcentaje de remoción esperada en el desarenador	42
3.4.2 Porcentaje de remoción esperada en el sedimentador	43
3.4.3 Porcentaje de remoción esperado en el tanque precipitador	44
4 Conclusiones y Recomendaciones	46
4.1 Conclusiones	46
4.2 Recomendaciones	47
5 Referencias Bibliográficas.....	48
anexos	1
Anexo 1: Planos y Esquemas	i

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de la precipitación y la infiltración de lixiviados	3
Figura 2 Esquema de balance hídrico para lixiviados	7
Figura 3 Ubicación Relleno Sanitario Pelileo-Patate	12
Figura 4 Entisoles y distribución del suelos en el Ecuador	12
Figura 5 Inceptisoles y distribución del suelo en el Ecuador (Ministerio de agricultura y ganadería, 2018).....	13
Figura 6 Lagunas de Oxidación Pelileo.....	14
Figura 7 Tanque de almacenamiento de Lixiviados y Lagunas de Oxidación:.....	14
Figura 8 Inyección de lixiviados a la lagunas de oxidación.....	14
Figura 9 Área donde se proyecta implementar la planta de pretratamiento	24
Figura 10 Tanque actual de almacenamiento de lixiviados.....	26
Figura 11 Entorno donde se construiría el canal colector	27
Figura 12 Remoción de metales pesados empleando la técnica de precipitación química. 44	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los lixiviados identificados por la edad del relleno sanitario	4
Tabla 2 Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	5
Tabla 3 Caracterización de lixiviados marzo 2021	9
Tabla 4 Caracterización de lixiviados noviembre 2020	10
Tabla 5 Métodos y normas empleados para realizar los análisis de cada ensayo	11
Tabla 6 Resumen Anual de precipitación.....	11
Tabla 7 Porcentaje de humedad aprovechable.....	13
Tabla 8 Población Actual.....	19
Tabla 9 Determinación de volumen de residuos y áreas del relleno sanitario	19
Tabla 10 Porcentaje para coeficiente usado para calcular el caudal por el método	20
Tabla 11 Tabla de comparación de los análisis de lixiviados	21
Tabla 12 Datos de la caracterización de aguas residuales domesticas que ingresan a las lagunas de oxidación.	22
Tabla 13 Métodos y normas Utilizados para cada parámetro	23
Tabla 14 Datos de dimensionamiento del canal de conducción.....	24
Tabla 15 Resultados dimensionamiento del canal de conducción	25
Tabla 16 Parámetros para rejillas de limpieza manual.....	27
Tabla 17 Resultados del dimensionamiento de las rejillas	30
Tabla 18 Resultados del dimensionamiento del desarenador	33
Tabla 19 Resultados del dimensionamiento del sedimentador	38
Tabla 20 Resultados del dimensionamiento del tanque precipitador de metales	41
Tabla 21 Constantes empíricas para determinar la remoción de DBO Y SST.....	42
Tabla 22 resumen de remoción esperada en el desarenador y en el sedimentador.....	45

RESUMEN

La mancomunación para el tratamiento de residuos sólidos es una alternativa viable que actualmente los Gobiernos autónomos descentralizados (GADs) acogen para realizar una gestión adecuada a estos residuos, es así el caso del relleno sanitario de residuos sólidos de Pelileo –Patate. Este relleno en su búsqueda por cumplir con la normativa se ve en la necesidad de realizar el diseño de una planta de pretratamiento para los lixiviados generados por la degradación de materia orgánica e inorgánica y la infiltración de agua producto de las precipitaciones en el sector. Al ser Pelileo una ciudad de alta producción textil los residuos que llegan al relleno sanitario son telas tinturadas, los tintes usados para dar color a las telas tiene elementos como metales pesados, que darán una característica especial al lixiviado que se produce en el relleno sanitario. El diseño de la planta de pretratamiento ira enfocado a la reducción de DBO, SST y un porcentaje de metales pesados, para que luego de este pretratamiento físico-químico y con la reducción de la concentración de metales pesados, el lixiviado pueda ser vertido en las lagunas de oxidación aledañas sin que este vaya a elevar los niveles de toxicidad del agua residual tratada en las lagunas de oxidación, evitando así la inhibición de los microorganismos presentes en este tratamiento biológico y mejorando la eficiencia del relleno sanitario y de las lagunas de oxidación. Con este proyecto se espera la remoción de hasta del 50 % de DBO, un 70% de SST y un 90% de metales pesados.

PALABRAS CLAVE: relleno sanitario, residuo sólido, lixiviado, metales pesados, lagunas de oxidación, inhibición.

ABSTRACT

The pooling of resources for the treatment of solid waste is a viable alternative that decentralized autonomous governments (GADs) are currently adopting for the adequate management of this waste, as is the case of the Pelileo-Patate solid waste landfill. This landfill, in its quest to comply with the regulations, has the need to design a pretreatment plant for the leachate generated by the degradation of organic and inorganic matter and the infiltration of water from precipitation in the sector. Since Pelileo is a city of high textile production, the waste that arrives at the landfill is dyed fabrics. The dyes used to color the fabrics have elements such as heavy metals, which will give a special characteristic to the leachate produced in the landfill. The design of the pretreatment plant will be focused on the reduction of BOD, TSS and a percentage of heavy metals, so after this physical-chemical pretreatment and with the reduction of the concentration of heavy metals, the leachate can be discharged into the nearby oxidation ponds without increasing the toxicity levels of the wastewater treated in the oxidation pond. Thus, avoiding the inhibition of the microorganisms present in this biological treatment and improving the efficiency of the landfill and the oxidation ponds. This project is expected to remove up to 50% of BOD, 70% of TSS and 90% of heavy metals.

KEYWORDS: landfill, solid waste, leachate, heavy metals, oxidation ponds, inhibition.

1 INTRODUCCIÓN

A nivel nacional los entes encargados de la gestión de residuos sólidos y del manejo de los desechos producto de la degradación de dichos residuos, como es la generación de lixiviados y biogás, están a cargo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's).(*Santillan Maria Lorena-2020,*). Por tal motivo los GAD's de Pelileo y Patate se unieron para realizar la recolección y el tratamiento mancomunado de sus residuos sólidos urbanos (RSU), y desde el año 2011 entro en funcionamiento la planta de tratamiento ubicado en el sector El Derrumbo perteneciente a la parroquia de Pelileo Grande.(Iglesias, 2011).

En esta planta de tratamiento al momento no se tiene un método definido para tratar los lixiviados producidos por la degradación de los residuos sólidos, si bien los lixiviados son tratados como efluentes en las lagunas de oxidación pertenecientes a la empresa de agua de Pelileo, dichas lagunas no están diseñadas para tratar el caudal y los contaminantes que puedan tener estos efluentes.(Ing. Pedro Chicaiza, 2019)

La producción de lixiviados depende de distintos factores como: la precipitación en la zona, los residuos sólidos generados, el grado de humedad de los residuos, el tipo de material con el cual se recubren los residuos, la temperatura, la evaporación, la infiltración y el escurrimiento del suelo. En cambio, la composición de los lixiviados va de la mano con el tipo de residuos y el volumen que se produce en la zona, por lo cual, si existe un cambio en alguno de estos elementos sea en la producción o en la composición del lixiviado puede cambiar el caudal de éste y los contaminantes que tenga.(Borzacconi et al., 2021; Tibanlombo Chisag, 2014).

En el caso de la planta de tratamiento del relleno sanitario Pelieo-Patate, la producción de lixiviados es baja, ya que la precipitación máxima diaria en el área no sobre pasa los 21,60 mm, tomando estos datos de un medio anual, por lo cual el caudal a tratar no es un caudal excesivo. En cambio la composición de los contaminantes en los lixiviados es diferente ya que la presencia de metales pesados, que son producto de los tintes usados para las telas, causa un problema al momento de inyectar estos lixiviados en las lagunas de oxidación cercanas.(Morales & Pilataxi, 2017).

Tomando en cuenta el caudal y la composición de los lixiviados, el relleno sanitario de Pelileo-Patate tiene la necesidad de diseñar una planta de tratamiento primario de estos líquidos que ayude a la disminuir la concentración de metales pesados, para que los líquidos puedan ser tratados de mejor manera en las lagunas de oxidación, cumpliendo asi con los límites máximos permisibles propuestos en la normativa ecuatoriana. También se plantea controlar

el caudal de ingreso para evitar la saturación en las lagunas de oxidación, y así que exista una mejora en el tratamiento de los lixiviados para que puedan ser descargados en los cuerpos de agua cercanos. (Santillan Maria Lorena-2020, s. f.)

1.1 Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento primario de lixiviados del relleno sanitario Pelileo-Patate, provincia de Tungurahua.

1.2 Objetivos específicos

- 1.2.1 Evaluar la producción de lixiviados generados en el relleno sanitario.
- 1.2.2 Dimensionar la planta de tratamiento primario de lixiviados.
- 1.2.3 Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento primario de lixiviados.

1.3 Fundamentos teóricos.

1.3.1 Generalidades de Lixiviados

Las aguas lixiviadas son líquidos que se generan por la alta concentración de humedad y agua presentes en los rellenos sanitarios, los cuales percolan por diferentes estratos y arrastran material en suspensión producto de la degradación bioquímica de los RSU. (Tibanlombo Chisag, 2014)

El líquido lixiviado tiene una alta carga contaminante ya que al momento de drenar por todo el relleno arrastra diferentes materiales como metales pesados, materia orgánica y patógenos (Reyes Medina Manuel, 2015). Las características físico-químicas de un lixiviado varían de acuerdo a algunos factores que influyen, como es la composición del residuo que se genera, la edad del relleno o del vertedero, la capa vegetal, la topografía de la zona y la climatología del lugar (Reyes Medina Manuel, 2015).

Las condiciones climatológicas del sector son factores importantes al momento de determinar la generación de lixiviados. En lugares de alta precipitación, el volumen de generación de líquidos aumentará con respecto a zonas donde existen baja precipitación, teniendo en cuenta también la capacidad de la infiltración del suelo y de la capa de cobertura que usa el relleno sobre los residuos sólidos (Tibanlombo Chisag, 2014).

Los lixiviados, por su composición son considerados altamente contaminantes por lo cual si no son controlados y tratados antes de su disposición final pueden ser una fuente de contaminación para aguas subterráneas y aguas superficiales, como se puede observar en la figura, el ciclo de las precipitaciones sobre los desechos y las posibles formas de

contaminación en aguas subterráneas y superficiales. (Mediana, Cañez, Grijalva, Zayas & Taylor, 2017).

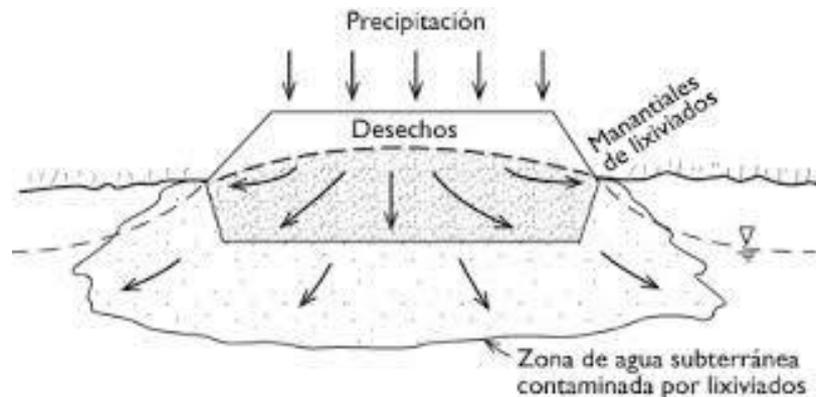


Figura 1. Efectos de la precipitación y la infiltración de lixiviados (Mediana Miguel, Cañez Dayna, Grijalva Irland, Zayas Diana, Taylor Antoni, 2017)

Factores que influyen con la cantidad de lixiviados.

- Precipitación.
- Tipo de RSU y humedad.
- Material de recubrimiento y operación del relleno sanitario o vertedero.
- Diseño de cubierta diaria.

Factores que influyen en la calidad de lixiviados.

- Composición de RSU.
- La edad el relleno sanitario o vertedero.
- Temperatura.

1.3.2 Características de los lixiviados

Los lixiviados tienen características específicas y se denotan por la composición y porcentaje de residuos que tiene el relleno sanitario. Los elementos que se encuentran en los lixiviados son: materia orgánica, sales orgánicas e inorgánicas, metales pesados y otro tipo de sustancias diluidas.(Borzacconi et al., 2021)

Los líquidos lixiviados tendrán diferentes características ya que aparte de la composición de los residuos del relleno, se debe tomar en cuenta la edad del relleno sanitario. El líquido que se obtiene en un relleno joven, no será el mismo que se va a obtener en un relleno viejo, por lo cual al momento de tomar una muestra se debe recordar que la muestra tendrá características distintas acorde a la edad, ya que el lixiviado final se formará de la percolación y de todas la capas que conforman el relleno sanitario.(*Cunha Nicolas, Pereira Santiago, 2013, s. f.*)

La degradación de cada una de las capas que conforman el relleno dará una característica al lixiviado, pudiendo dar mayor o menor concentración de pH, DBO, metales pesados, etc.(*Cunha Nicolas, Pereira Santiago, 2013, s. f.*)En la siguiente tabla se puede observar las concentraciones de algunos parámetros, tomando en cuenta la edad del relleno sanitario.(Eva Roben, 2002)

Tabla 1. Características de los lixiviados identificados por la edad del relleno sanitario

	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (años)	< 5	5-10	>10
pH	6.5	6.5 – 7.5	7.5
DQO	>10000	4000 - 10000	< 4000
DBO	>0.3	0.1 – 0.3	<0.1
Compuestos orgánicos	80% (AGV)	5 – 30% AGV + ácidos húmicos	Ácidos Húmicos
Metales pesados	Medio	Medio	Alto
Bioderadabilidad	Importante	Medio	Alto

1.3.3 Generación de Lixiviados.

La generación de lixiviados, tiene dos enfoques, el primero es la edad del relleno sanitario, que tiene que ver con la calidad de los lixiviados, y el segundo es la cantidad del lixiviado que se puede generar y depende de la precipitación y de escorrentías e infiltración que exista en la zona.

Para identificar la calidad de los lixiviados, se debe tener en cuenta la edad del relleno sanitario y la calidad de residuos, los rellenos sanitarios con alta cantidad de residuos orgánicos y domésticos tendrán una alta carga de biodegradabilidad con concentración de ácidos grasos volátiles y de amoníaco. A diferencia de un relleno sanitario con mayor presencia de residuos industriales, que tendrán baja carga orgánica, pero una alta carga de metales pesados, los ácidos grasos producidos por la descomposición de la poca materia orgánica presente se diluyen de manera fácil en el lixiviado bajando el pH y ayudando a la solubilidad de los metales (presentes en los residuos del relleno sanitario) elevando la concentración de metales pesados en el lixiviado, y disminuyendo la biodegradabilidad del lixiviado.(Reyes Medina Manue, 2015)

Por otra parte, la cantidad del lixiviado depende de las precipitaciones que se presentan en el relleno sanitario. La tecnología que se use para la compactación es otro de los factores importantes ya que, a mayor compactación, existirá una menor infiltración del agua lluvia. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta también la impermeabilización que tenga la zona

en la cual se depositan los residuos sólidos y si existe un sistema de drenaje superficial para evacuar el agua producto de las precipitaciones, y que ésta no percole en el relleno. La cantidad de lixiviados que se puede producir esta dentro de un rango del 15 a un 25 por ciento de la pluviometría anual, tomando en cuenta que es un relleno compactado con maquinaria pesada (> 0.8 t/m³ de densidad), mientras que en rellenos donde para la compactación se use maquinaria liviana (<0.8 t/m³), se estima un rango de 25 a 45 por ciento, y en un relleno donde la compactación sea manual se espera un rango de 40 a 60 por ciento. (Reyes Medina Manue, 2015)

Tabla 2 Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario (Eva Roben,2011.)

Tipo de compactación del relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /(ha*día))		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno manual	60	11.51	24.66	49.32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7.67	16.44	32.88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4.79	10.27	20.55

Para identificar de mejor manera el total de agua producto de las precipitaciones que se infiltra en el relleno sanitario es necesario realizar un balance hídrico. Una parte del agua lluvia se pierde por escurrimiento evaporación y traspiración y para determinar la cantidad de agua que infiltrara se utiliza la siguiente formula. (Chavez Wendy, 2011)

Balance Hidrico

$$WB = P - (R + E + T)$$

Ecuación 1 Balance hídrico (Chavez Wendy, 2011)

Donde:

WB= Balance Hídrico (l/s)

P= Precipitación (mm)

R= Escurrimiento (mm/ s)

T= Traspiración (mm/d)

Aunque esta fórmula no toma en cuenta el agua que se pierde en la formación de gases, el agua retenida por los residuos (20 al 25% de humedad). Por lo cual se deben tomar en cuenta factores como: entrada de escorrentía superficial, salida de escorrentía superficial, evaporación, cambio en el agua almacenada y el porcentaje de humedad de los residuos sólidos. Por otra parte, el consumo de agua en los procesos internos anaeróbicos de degradación requiere un porcentaje de 65 a 80 l/m³ de residuo, teniendo en cuenta una densidad del residuo entre 700 a 900 kg/m³. (Reyes Medina Manue, 2015)

Debido a estos datos la fórmula de balance hídrico para calcular el total de lixiviados se modificaría de la siguiente manera:

$$LIX = HR + HM + IP + IR - BG - VA - ET - QS - \Delta SRS$$

Ecuación 2 Formula para calcular la producción de lixiviados.(Reyes Medina Manue, 2015)

Donde:

LIX= Lixiviado (l)

HR= Humedad de los residuos sólidos entrantes. (mm)

HM= Humedad en el material de cobertura.(en porcentaje)

IP= Precipitación.(mm/d)

IR= Entrada de agua subterránea (debe ser 0)

BG= Agua perdida en la formación de gases. (mm/m²)

VA= Agua perdida como procesos de biodegradación interna. (mm/d)

ET= Agua perdida como evaporación superficial.(mm/d)

QS= Fugas (debe ser 0)

ΔSRS = Variación en la cantidad de agua almacenada en los residuos.(a dimensional)

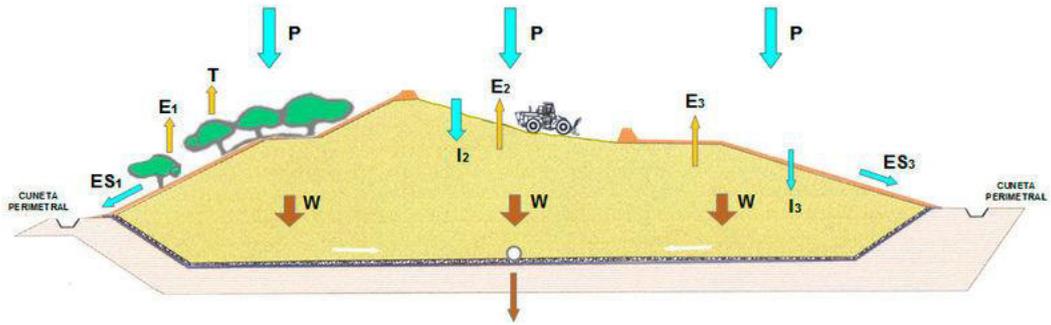


Figura 2 Esquema de balance hídrico para lixiviados (*Wikipedia, 2021*)

Con este análisis se debe tener en cuenta que los rellenos sanitarios son sistemas que duran muchos años por lo cual el aumento de lixiviados ira aumentando lenta pero gradualmente.

2 METODOLOGÍA

2.1 Producción de Lixiviados en el Relleno Sanitario Pelileo-Patate.

2.1.1 Datos del relleno sanitario

Mediante una entrevista realizada a personeros de la empresa administradora del relleno sanitario Pelileo-Patate se logró obtener datos básicos para la realización del presente proyecto. La administración del mencionado relleno tomó el cargo de la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos a partir del año 2014, bajo la figura jurídica de Empresa Pública (EP) y como un proyecto de mancomunidad entre los cantones de Pelileo y Patate.(Iglesias, 2011)

Una vez formada la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral (EMMAIT-EP) se determinaron los tratamientos para el proceso de disposición final de los residuos sólidos. En este lugar se tratan un total aproximado de 42 a 45 toneladas diarias de residuos producto de la recolección, tanto rural como urbana de lo cual aproximadamente el 60 % son residuos orgánicos y el restante son desechos industriales producto de las textileras que existen en el sector. (Maroto, 2015.)

Tipo de compactación

La compactación de los residuos se la realiza con maquinaria liviana (minicaragadora frontal y como material de recubrimiento se utiliza tierra arcillosa obtenida de la zona, en una capa de 20 a 25 cm de espesor para separar cada estrato de residuos. La capa de residuos esta entre 25 a 30 cm de espesor y no posee ningún tipo de drenaje superficial.(Ing. Pedro Chicaiza, comunicación personal, 19 de noviembre de 2019)

Chimeneas para gases

Dentro del relleno se visualizaron las chimeneas para la quema de gases producto de la degradación de los residuos sólidos. En la actualidad existen 26 chimeneas que están en correcto funcionamiento.(Ing. Pedro Chicaiza, comunicación personal, 19 de noviembre de 2019)

Drenaje de lixiviados.

Par la recolección de lixiviados el relleno posee un drenaje según el sistema “espinas de pescado” que fue construido en la base del cubeto y se conecta a una tubería que llega hasta un tanque de almacenamiento con un diámetro de 1.5 m y de altura de 2.5 m el cual es vaciado periódicamente (6 meses) en las lagunas de oxidación que pertenecen a la empresa

de agua potable del Municipio de Pelileo. (Ing. Pedro Chicaiza, comunicación personal, 19 de noviembre de 2019)

Caracterización de Lixiviados.

Para la caracterización de los lixiviados se tomaron los datos de los análisis de laboratorio realizados por parte de la Empresa Municipal Mancomunada de Aseo integral (EMMAIT-EP). Estos análisis se realizan cada 6 meses por lo cual se tomaron aquellos realizados en los meses de octubre del año 2020 y de marzo del año 2021 y se realizó una comparación para determinar la variación en los parámetros DBO, DQO, ST, SST, SS, metales pesados y pH, parámetros que fueron utilizados para determinar el tratamiento primario necesario para disminuir la carga de metales pesados en los lixiviados. (LABCESTTA, 2020, 2021)

Cabe resaltar que los límites máximos permisibles con los cuales se realizó la comparación es de la Tabla 11 y la Tabla 12 de Anexo 1 de AM 097, que hace referencia, a la reforma del libro VI del Texto unificado de legislación secundaria del ministerio de ambiente. La tabla 11 y 12, hablan sobre los límites máximos permisibles para, las descargas de efluentes en alcantarillado público y cuerpos de agua dulce respectivamente. (*Normativa de calidad ambiente y de descarga de efluentes, 2019.*)

Tabla 3 Caracterización de lixiviados marzo 2021 (LABCESTTA, 2021)

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE(K=2)	VALOR LÍMIT PERMISIBLE
DBO	mg/L	4800	± 6%	500
DQO	mg/L	1500	-	250
ST	mg/L	9912	-	1600
SST	mg/L	70	-	220
SS	mg/L	< 5	-	20
pH	Unidades de pH	8,36	± 0,2	6 a 9
Aluminio	mg/L	< 0,5	± 20%	5
Arsénico	mg/L	<0,01	± 18%	0,1
Cadmio	mg/L	<0,004	± 13%	0,02
Cobre	mg/L	0,008	± 13%	1
Cobalto	mg/L	< 0,1	± 12%	0,5
Hierro	mg/L	4,22	± 14%	25
Manganeso	mg/L	0,15	± 14%	10
Niquel	mg/L	0,13	± 9%	2
Plomo	mg/L	< 0,01	± 14%	0,5

Plata	mg/L	<0,01	± 27%	0,5
Selenio	mg/L	< 0,05	± 12%	0,5
Zinc	mg/L	0,6	± 14%	10

Con las tablas presentadas se realizó un análisis de los parámetros más necesarios para el diseño de la planta de tratamiento primario. La tabla antes presentada corresponde al mes de mayo, mes en el que el clima es más seco, y la tabla 4 corresponde al mes de noviembre mes con mayor precipitación en la zona.

Tabla 4 Caracterización de lixiviados noviembre 2020 (LABCESTTA, 2020)

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE(K=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
DBO	mg/L	4950	± 6%	500
DQO	mg/L	1650	-	250
ST	mg/L	10000	-	1600
SST	mg/L	90	-	220
SS	mg/L	< 7	-	20
pH	Unidades de pH	8,56	± 0,2	6 a 9
Aluminio	mg/L	< 0,6	± 20%	5
Arsénico	mg/L	< 0,02	± 18%	0,1
Cadmio	mg/L	<0,004	± 13%	0,02
Cobre	mg/L	0,008	± 13%	1
Cobalto	mg/L	< 0,1	± 12%	0,5
Hierro	mg/L	4,53	± 14%	25
Manganeso	mg/L	0,2	± 14%	10
Níquel	mg/L	0,16	± 9%	2
Plomo	mg/L	< 0,1	± 14%	0,5
Plata	mg/L	<0,1	± 27%	0,5
Selenio	mg/L	< 0,05	± 12%	0,5
Zinc	mg/L	1	± 14%	10

En la tabla 5 se puede encontrar todos los métodos y normas usadas para los análisis de cada uno de los parámetros a medirse.

Tabla 5 Métodos y normas empleados para realizar los análisis de cada ensayo .(LABCESTTA, 2021)

ENSAYO	DBO	DQO	ST	SST	SS	pH	Metales
MÉTODO/ NORMA	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166	Standard Methods Ed.23.2017 2540B	Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	Standard Methods Ed.23.2017 2540F	PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H*B	PE-AL- 17 EPA 200.7 ICP- AES Rev. 4.4 1994

Datos Hidrológicos y de suelo.

Se tomaron los datos de precipitaciones y humedad del anuario climatológico publicado por el INAMHI, se tomó la información de la estación meteorológica Huambalo (PV-0005) para el cálculo de la precipitación, y pronosticar los caudales de lixiviados que se puedan generar por lluvias, tomando en cuenta la **Ecuación 2** del apartado **1.3.3**.

En la tabla 6 se puede observar los datos de precipitación, necesarios para el cálculo del caudal producido.

Tabla 6 Resumen Anual de precipitación (anuario_meteorologico_2014.pdf)

RESUMEN ANUAL			
Precipitación Anual	677,2	mm	
Precipitación Maxima Diaria	21,6	mm	30/5/2014
Días de lluvia	139		

Datos de otros aportes hídricos.

Mediante una inspección visual se observó que el relleno sanitario se encuentra alejado de posibles fuentes hídricas que puedan ser parte del aporte de agua o humedad para la producción de lixiviados o que puedan ser contaminadas por posibles infiltraciones. El relleno sanitario está ubicado en el sector denominado El Derrumbo, que es un lugar donde existen formaciones áridas y rocosas de donde se obtiene la tierra que luego es usada como material de recubrimiento. En las cercanías del relleno sanitario se vio el cruce del Río Cutuchi que es aquel donde se depositan las aguas tratadas de las piscinas de oxidación, pero este no influye al aporte de humedad para la precipitación en el relleno.

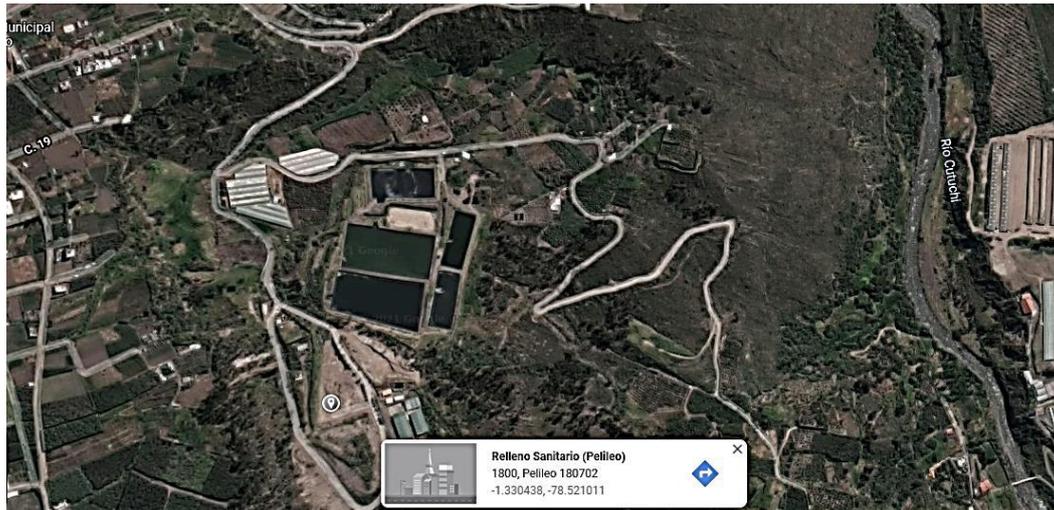


Figura 3 Ubicación Relleno Sanitario Pelileo-Patate (Google maps)

Datos del suelo de Pelileo.

Una parte importante para realizar el cálculo de lixiviados en el relleno sanitario de Pelileo-Patate fue identificar el tipo de suelo que existe en la zona, para determinar el porcentaje de humedad que puede alcanzar el suelo. Esto se realizó porque el único material que se usa para recubrir cada estrato de residuos es tierra del sector. Se determinaron dos tipos de suelos Entisoles y Inceptisoles en la zona de Pelileo y Patate.

Entisoles. – son suelos de formación rocosa de poca evolución y de baja concentración de humedad y que poseen conformaciones de cangahuas puras y erosionadas. (SAN_PEDRO_DE_PELILEO_2015)



Figura 4 Entisoles y distribución del suelos en el Ecuador (Flores, 2018, s. f.)

Inceptisoles. - son suelos jóvenes de color negro, arenoso y de profundidades variables, con pH muy variable y con una saturación mayor al 60%, propiedades que son aptas para ser un suelo aprovechable en la agricultura. (SAN_PEDRO_DE_PELILEO_2015)

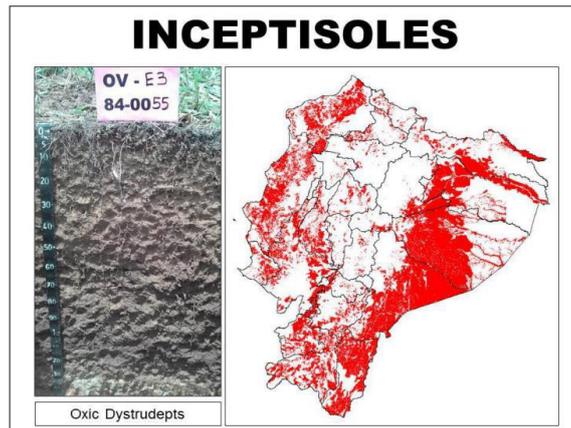


Figura 5 Inceptisoles y distribución del suelo en el Ecuador (Ministerio de agricultura y ganadería, 2018)

En la tabla 7 se explica el porcentaje de saturación de humedad que pueden llegar a tener estos dos tipos de suelo.

Tabla 7 Porcentaje de humedad aprovechable (Salcedo-Pérez et al., 2007)

Suelo	HA (%)
Entisoles	19
Inceptisoles	60

2.1.3 Evaluación de las lagunas de oxidación

De acuerdo con datos proporcionados por la empresa de agua potable y alcantarillado de Pelileo, las lagunas de oxidación están ubicadas en el sector del El Derrumbo, Pelileo grande junto al relleno Sanitario Pelileo Patate. Las mencionadas lagunas de oxidación estaban destinadas al tratamiento de aguas provenientes del camal metropolitano de Pelileo, de lavadores textiles y un caudal pequeño que viene de aguas residuales domésticas. (*Memoria_tecnica_Coberturas_SAN_PEDRO_DE_PELILEO_20150306.pdf*, s. f.)

Se pudo establecer que los funcionamientos de las lagunas de oxidación tienen un diseño limitado exclusivamente para el tratamiento de las aguas residuales antes mencionadas. Pero la inyección de las aguas lixiviadas procedentes del relleno sanitario, causan dos problemas principalmente (Morales Pilataxi, 2017). El primero fue que el caudal, que antes se lo inyectaba en un solo día, llegaba a superar el límite de aforación de las lagunas. Este problema fue resuelto, ya que actualmente se inyectan a diario los lixiviados con caudales pequeños y por medio de mangueras para evitar superar la capacidad de aforo de las lagunas. (Ing. Pedro Chicaiza, comunicación personal, 19 de noviembre de 2019). El segundo es la presencia de metales pesados en los lixiviados, que al sumarse con los metales pesados productos de las lavadoras textiles superan la concentración máxima permitida de éstos, para

realizar el tratamiento adecuado en las lagunas de oxidación, causando una baja eficiencia de las mismas y eliminando una gran cantidad de microorganismos que ayudan a la biodegradabilidad de las aguas residuales. (Ing. Pedro Chicaiza, comunicación personal, 19 de noviembre de 2019)



Figura 6 Lagunas de Oxidación Pelileo.



Figura 7 Tanque de almacenamiento de Lixiviados y Lagunas de Oxidación:



Figura 8 Inyección de lixiviados a la lagunas de oxidación.

2.2 Parámetros para diseñar la planta de tratamiento primario de lixiviados.

Se analizaron los parámetros en la caracterización, para determinar el método apropiado que ayude a mejorar la eficiencia de las lagunas de oxidación. Se tomaron en cuenta los niveles de metales pesados que se pueden generar con el almacenamiento de los lixiviados y la cantidad de sólidos, que genera una mayor producción de lodos en las lagunas de oxidación al momento de sedimentarse. Por lo cual se determinó que la forma de ayudar a disminuir el rango de metales y sólidos sería diseñar una planta de tratamiento primario que ayude disminuir o eliminar la concentración de metales en los lixiviados así como también la concentración de sólidos, DBO, DQO y pH.

Existen varios métodos físico- químicos y biológicos para el tratamiento de metales pesados en lixiviados, para este proyecto se tomó en cuenta una planta de tratamiento primario basada en la precipitación química.

2.2.1 Precipitación Química.

Es un método por el cual se obtiene la eliminación de sólidos en suspensión y metales pesados, que se lo puede realizar por medio de la adición de un reactivo, el más usado es el tratamiento por cal pero también son usados, aunque con menor frecuencia, la alúmina o el cloruro férrico. Este es un tratamiento de bajo costo de operación pero se tiene que tener un mantenimiento periódico a cada proceso unitario.

Este método se lo analizó como una opción para la eliminación de SST y la reducción de una pequeña fracción de materia orgánica medida en DBO y DQO, para ello se diseñó un tratamiento primario que consta de los siguientes procesos unitarios:

- Rejilla
- Desarenador
- Sedimentador Primario
- Tanque precipitador de metales.

2.2.2 Criterios de diseño para rejilla.

Se tomó como primer proceso unitario el diseño de una rejilla que permita la retención de material vegetal y material grueso que pueda dañar o causar obstrucción en la tubería o en los demás procesos unitarios, para esto se tomaron los siguientes criterios de diseño:(Lenin Stalin Luzuriaga Zárate, 2015; Tibanlombo Chisag, 2014)

- Área del Canal
- Velocidad antes de la rejilla
- Longitud de la rejilla
- Número de barras
- Velocidad de acercamiento aguas arriba
- Velocidad a través de la rejilla
- Perdida hidráulica
- Arreglo de las barras en la rejilla
- Si es necesario realizar otra alternativa en el arreglo de barras y el recálculo de la perdida hidráulica en las barras.

2.2.3 Criterios de diseño para el desarenador

El segundo proceso unitario que se tomó es el desarenador, para el cual se diseñó un solo desarenador horizontal (debido al corto caudal) de una sola cámara, que ayudará a retener arenas, partículas gruesas y grasas, buscando la disminución de un 60% de material en suspencion. Fueron tomados en cuenta los siguientes criterios de diseño:(Lenin Stalin Luzuriaga Zárate, 2015; Metcalf & Eddy Inc, 1998; Romero Rojas, 2016)

- Velocidad de sedimentación
- Número de Reynolds
- Coeficiente de arrastre
- Area superficial
- Velocidad de sedimentación.
- Tiempo de retención hidráulico

2.2.3 Criterios para cálculo de sedimentador primario.

Este sedimentador fue diseñado para la remoción de partículas más finas, por medio de la gravedad y se buscó la reduccion de hasta un 30% de sólidos suspendidos totales y un hasta 5% de materia orgánica, los criterios para el diseño fueron:(Metcalf & Eddy Inc, 1998) (Romero Rojas, 2016)

- Caudal máximo instantáneo
- Área superficial
- Ancho del sedimentador
- Largo del sedimentador
- Volumen del sedimentador
- Tiempo de retención

- Velocidad de arrastre
- Velocidad del flujo

2.2.4 Criterios para el cálculo del tanque precipitador de metales

El tanque que se diseño es un tanque de precipitación simple de forma cilíndrica y con un fondo cónico que ayudaría a la sedimentación de los metales presentes en los lixiviados, previamente tratados con un base de cal. Los criterios de diseño son los siguientes: (Metcalf & Eddy Inc, 1998; Romero Rojas, 2016)

- Caudal
- Volumen de tanque
- Tiempo de retención.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El relleno sanitario de Pelileo-Patate entró en funcionamiento en el año 2014 y fue diseñado para un tiempo de operación de 15 años y para tratar los residuos sólidos de las dos poblaciones que trabajan de forma mancomunada para tratar los desechos. En la actualidad se trata un total de entre 48 y 49 toneladas diarias de residuo, y la biodegradación de los residuos genera dos desechos característicos, biogás y lixiviados. El relleno sanitario no cuenta al momento con una planta destinada a tratar estos desechos sino que utiliza como medio de tratamiento las lagunas de oxidación aledañas pertenecientes a la empresa de agua potable de Pelileo y que fueron diseñadas para tratar aguas residuales provenientes del camal metropolitano, de fábricas industriales textiles y un pequeño caudal de aguas residuales domiciliarias, es por eso que este trabajo va direccionado al diseño de una planta de tratamiento primario que disminuya el contenido de sólidos totales y de metales pesados y así evitar daños y muerte de microorganismos en las lagunas de oxidación .

3.1 Evaluar la producción de lixiviados generados en el relleno sanitario.

Para evaluar la cantidad y calidad de los lixiviados producidos en el relleno sanitario Pelileo-Patate es necesario determinar ciertos parámetros de que ayudaran al diseño.

3.1.1 Determinación de volumen de Residuos.

Para la determinación de residuos es importante analizar la densidad, los años de funcionamiento del relleno, la cantidad de residuos sólidos que entran diariamente en éste, el material de compactación y las precipitaciones en el sector del relleno. Con eso se determina el caudal de lixiviados y un caudal de diseño aproximado para los cálculos necesarios.

3.1.2 Determinación de capacidad necesaria del relleno Sanitario y volumen de residuos.

Determinar la población actual del sector es importante ya que nos podrá ayudar a determinar el área del relleno sanitario y el volumen de residuos.

Tabla 8 Población Actual (Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf,)

	P. Rural	P. Urbana	P.Total
Patate	13411,6875	2413,3125	15825
Pelileo	54872,356	11963,644	66836
Total			82661

Una vez se ha determinado la población actual con base en la densidad de los residuos, compactación mecánica con maquinaria liviana y al material de cobertura se puede determinar el área de relleno sanitario y el volumen de residuos que ingresan.

Tabla 9 Determinación de volumen de residuos y áreas del relleno sanitario

Años	Población	Producción de residuos (t/d)	Residuos al Relleno(t/d)	Residuos al relleno (m3/a)	Volumen necesario (m3/a)	Area necesaria (ha)
2014	82661	45	16594	25530	33188	
2015	83653	46	16793	25836	33587	
2016	84657	47	16995	26146	33990	
2017	85673	47	17199	26460	34398	
2018	86701	48	17405	26777	34810	
2019	87741	48	17614	27099	35228	
2020	88794	49	17825	27424	35651	
2021	89860	49	18039	27753	36079	
2022	90938	50	18256	28086	36512	
2023	92029	51	18475	28423	36950	
2024	93133	51	18697	28764	37393	
2025	94251	52	18921	29109	37842	
2026	95382	52	19148	29458	38296	
2027	96527	53	19378	29812	38755	
2028	97685	54	19610	30170	39221	
2029	98857	54	19846	30532	39691	
Total			290795	447376	581589	5,8

3.1.3 Determinación de caudal.

Tomando en cuenta que la generación de lixiviado es producto en un 95% de las precipitaciones dentro de la zona y el otro 5% de producto de la humedad de los residuos sólidos, se debe tomar en consideración el método suizo que dará un caudal estimado de producción de lixiviados.

El método suizo toma algunos parámetros en consideración para realizar el cálculo de caudal, parámetros como las precipitaciones en la zona, el grado de compactación y el área de la celda del relleno sanitario.

$$Q_{lixiviados} = \frac{1}{t} * Pre * Ace * K$$

Donde:

$Q_{lixiviado}$: Caudal Lixiviado ($\frac{L}{s}$)

P_{re} : Precipitación medio anual ($\frac{mm}{año}$)

A_{ce} : Área superficial (m^2)

T: Tiempo (segundos en el año = 31536000 s)

K: coeficiente que representa la cantidad de precipitación que se convierte en lixiviado y depende del grado de compactación de residuos. En los valores recomendados tenemos:

Tabla 10 Porcentaje para coeficiente usado para calcular el caudal por el método Suizo(Carlos,2001.)

Tipo de Rellenos	K (%)	K
Rellenos compactados entre 0,4 a 0,7(t/m3)	25-50	0,25 - 0,5
Rellenos compactados > 0,7(t/m3)	15-25	0,15 - 0,25

$$Q_{lixiviados} = \frac{1}{31536000} * 677,2 * 58000 * 0,25$$

Ecuación 3 Formula para calcular el cálculo de caudal por el método suizo.

$$Q_{lixiviados} = 0,31 \left(\frac{L}{s}\right)$$

Se debe tomar un factor de protección del 20%, que se recomienda para sobredimensionar el sistema y evitar casos de caudal critico al momento de producción de lixiviados, para el diseño se tomó el valor en m^3/s .

$$Q_{lixiviados} = 0,31 \left(\frac{L}{s}\right) * 0,2 = 0,062$$

$$Q_{lixiviados} = 0,31 \left(\frac{L}{s}\right) + 0,062 = 0,372 \left(\frac{L}{s}\right)$$

$$Q_{lixiviados} = 0,000372 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

3.1.4 Comparación de resultados de los análisis realizados.

En este trabajo es necesario hacer un análisis de los parámetros, que si bien se encuentran en dentro de los límites máximos permisibles, es necesario analizar el porcentaje de metales pesados y la variación que pueda tener en cada lapso tiempo en el que se realizó los análisis.

Tabla 11 Tabla de comparación de los análisis de lixiviados (LABCESTTA, 2020, 2021; Naranjo Andrés, 2021)

ENSAYO	UNIDAD	mar-21	nov-20	VALOR LÍMITE PERMISIBLE CUERPOS DE AGUA DULCE
		RESULTADOS	RESULTADOS	
DBO	mg/L	4800	4950	500
DQO	mg/L	1500	1650	250
ST	mg/L	9912	10000	1600
SST	mg/L	70	90	220
SS	mg/L	< 5	< 7	20
pH	Unidades de pH	8,36	8,56	6 a 9
Aluminio	mg/L	< 0,5	< 0,6	5
Arsénico	mg/L	<0,01	< 0,02	0,1
Cadmio	mg/L	<0,004	<0,004	0,02
Cobre	mg/L	0,008	0,008	1
Cobalto	mg/L	< 0,1	< 0,1	0,5
Hierro	mg/L	4,22	4,53	25
Manganeso	mg/L	0,15	0,2	10
Niquel	mg/L	0,13	0,16	2
Plomo	mg/L	< 0,01	< 0,1	0,5
Plata	mg/L	<0,01	<0,1	0,5
Selenio	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,5
Zinc	mg/L	0,6	1	10

Si bien algunos de los parámetros están dentro de los límites máximos permisibles para descargas en cuerpos hídricos naturales, parámetros como por ejemplo DBO y DQO están por fuera de los límites máximos permisibles, es importante e indispensable valorar los parámetros en metales pesados para disminuir la presencia de éstos. Esto último porque al momento de realizar el tratamiento en las lagunas de oxidación, el porcentaje de metales

pesados altera en cierto grado el buen funcionamiento de las lagunas de oxidación y en especial elimina en un gran porcentaje los microorganismos que ayudan a la degradación de aguas residuales y aguas lixiviadas.

Se debe tomar en cuenta que, el tratamiento de aguas residuales y aguas lixiviadas en conjunto, es una alternativa viable en ciertos lugares de escasos recursos, la proporción de aguas lixiviadas para evitar una inhibición de microorganismos y de una baja eficiencia en los tratamientos biológicos debe ser entre 10 a 20 % del caudal total a tratar, lastimosamente y por la cantidad de aguas lixiviadas almacenadas esta proporcionalidad no se cumple llegando a tener en varios casos hasta un 30 o 40% de aguas lixiviadas.

Lo que nos da una mayor concentración de metales pesados y compuestos orgánicos de baja degradabilidad, dentro del flujo a tratar provocando un retraso entre el cambio de fases y poca eficiencia en las lagunas de oxidación.

A más de los lixiviados a la laguna de estabilización ingresan las aguas residuales domésticas cuya caracterización se muestra en la tabla 12.

Tabla 12 Datos de la caracterización de aguas residuales domésticas que ingresan a las lagunas de oxidación.

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE(K=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
DBO	mg/L	5602	± 6%	500
DQO	mg/L	2864	-	250
ST	mg/L	15020	-	1600
SST	mg/L	185	-	220
SS	mg/L	5	-	20
pH	Unidades de pH	8,94	± 0,2	6 a 9
Aluminio	mg/L	1,5	± 20%	5
Arsénico	mg/L	0,01	± 18%	0,1
Cadmio	mg/L	0,001	± 13%	0,02
Cobre	mg/L	0,2	± 13%	1
Cobalto	mg/L	0,001	± 12%	0,5
Hierro	mg/L	8,27	± 14%	25
Manganeso	mg/L	6,24	± 14%	10
Niquel	mg/L	1,05	± 9%	2
Plomo	mg/L	<0,1	± 14%	0,5
Plata	mg/L	<0,1	± 27%	0,5

Selenio	mg/L	<0,1	± 12%	0,5
Zinc	mg/L	4,75	± 14%	10

Tabla 13 Métodos y normas Utilizados para cada parámetro

ENSAYO	DBO	DQO	ST	SST	SS	pH	Metales
MÉTODO/ NORMA	PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166	Standard Methods Ed.23.2017 2540B	Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	Standard Methods Ed.23.2017 2540F	PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H*B	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP- AES Rev. 4.4 1994

Luego de haber realizado los cálculos necesarios se determinó que el caudal de producción de lixiviado promedio será de 0.372 L/s con base en las precipitaciones del sector y a la compactación. Se toma en cuenta también que el material de cobertura entre capas es de tierra seca que absorbe mucha humedad.

También se toma en cuenta que la producción y presencia de metales pesados puede variar de acuerdo con la fecha de producción de material textil, ya que todo llega al relleno sanitario.

3.2 Dimensionar la planta de tratamiento primario de lixiviados.

Tomando en cuenta que el caudal de producción de lixiviados es relativamente pequeño y que en la actualidad los lixiviados son almacenados en un tanque, se planteó realizar el diseño de una planta de pretratamiento que ayude a reducir la concentración de metales pesados y de un pretratamiento físico-químico a los lixiviados, aguas domésticas y ciertas aguas industriales que llegan a la planta. Para lo cual se calculó el diseño de un canal que conecte el actual tanque de almacenamiento con el inicio de la planta de pretratamiento, las rejillas para eliminar materia gruesa, un desarenador simple un sedimentador primario y un tanque de precipitación de metales pesados.

El área útil con la que se cuenta para la construcción de la planta de pretratamiento es de 10 m de ancho por 100 m de largo, esta área se encuentra junto a las lagunas de oxidación, como se observa en la figura 9..

Por medio del cálculo del caudal se logró determinar un caudal de producción promedio de 0.372 L/s, cabe resaltar que este caudal es demasiado pequeño para realizar un dimensionamiento además que este puede variar de acuerdo al clima por lo cual para el

diseño de esta planta tomaremos un caudal de 58 L/s que será el caudal que correrá por el canal de conducción desde el tanque de almacenamiento de lixiviados.

Es necesario aclarar que el caudal calculado de 0.372 es un caudal de producción de lixiviados en toda el área del relleno y muchas de las veces y tomando en consideración el clima este caudal se reducirá.



Figura 9 Área donde se proyecta implementar la planta de pretratamiento

3.2.1 Calculo de canal conductor

Este canal de conducción tiene la finalidad encausar las aguas lixiviadas desde el tanque de almacenamiento hasta las rejillas, donde dará inicio la planta de pretratamiento. El canal conductor será rectangular y tendrá una longitud de 2.5 metros.

Tabla 14 Datos de dimensionamiento del canal de conducción (Naranjo Andres, 2021; Rioja,2016.)

Base del canal	0,4m
Altura del canal	0,5m
Longitud del canal	2,5m

$$Ac = b * h$$

Ecuación 4 Fórmula para calcular el área hidráulica del canal (OPS 2005b. *Guía desarenadores y sedimentadores.*).

Donde:

Ac: Área del canal (m²)

b: Base del canal (m)

h: Altura del canal (m)

$$Ac = 0,4 * 0,5$$

$$Ac = 0,2 \text{ m}^2$$

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Ecuación 5 Fórmula para calcular el radio hidráulico del canal (Carlos.).

Donde:

RH: Radio Hidráulico (m)

b: Base del canal (m)

h: Altura del canal (m)

$$RH = \frac{0,4 * 0,5}{0,4 + 2(0,5)}$$

$$RH = 0,14 \text{ m}$$

$$V_{ap} = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Ecuación 6 Fórmula para calcular la velocidad del fluido en el canal.

V_{ap}: Velocidad del fluido (m/s)

N: coeficiente de Manning (0.013 para canales de hormigo)

RH: Radio Hidráulico (m)

S: Gradiente Hidráulico (0,0002 m/m)

$$V_{ap} = \frac{1}{0,013} * 0,14^{\frac{2}{3}} * 0,0002^{1/2}$$

$$V_{ap} = 0,29 \text{ m/s}$$

Tabla 15 Resultados dimensionamiento del canal de conducción

Parametro	Valor	Unidades
Base del canal	0,4	m

Altura del canal	0,5	m
Longitud del canal	2,5	m
Area del canal	0,2	m ²
Radio hidraulico	0,14	m
Velocidad del fluido	0,29	m/s

3.2.2 Dimensionamiento de rejillas.

La rejilla, tiene como finalidad el eliminar partículas de gran tamaño que puedan ingresar al tanque de almacenamiento actual o al canal que conectara este tanque con la planta de pretratamiento, como se observa en la siguiente figura alrededor del canal existen árboles de donde pueden caer ramas y hojas. Con las rejillas se buscará evitar la acumulación de material grueso en los posteriores procesos unitarios, estas rejillas se las proyectará para una limpieza manual y de fácil manejo.



Figura 10 Tanque actual de almacenamiento de lixiviados.



Figura 11 Entorno donde se construiría el canal colector

Tabla 16 Parámetros para rejillas de limpieza manual (OPS, 2005)

Parámetro	Rango	Unidad
Espacio de barras	15-50	mm
Separación de barras	25-50	mm
Velocidad de aproximación	0,3-0,6	m/s
Velocidad entre barras	0,3-0,6	m/s
Angulo de inclinación	60-45	grados

$$L_b = \frac{h_{max}}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 7 Fórmula para calcular la longitud de las barras (Novelo et al., 2004).

Donde:

L_b : Longitud de las barras (m)

h_{max} : Altura máxima de agua (m)

θ : Angulo de inclinación =45°

$$Lb = \frac{0,55 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$Lb = 0,77 \text{ m}$$

Por efectos de diseño se tomara una longitud de las barras de 0,80 m.

$$Q = Ac * V$$

Ecuación 8 Fórmula para calcular el caudal en el canal (Novelo et al., 2004).

Donde:

Ac: Área del Canal (m²)

Vc: Velocidad en el canal

$$Q = 0,2 * 0,29$$

$$Q = 0,058 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Nmax = \frac{Q}{Vap * b}$$

Ecuación 9 Fórmula para calcular el nivel máximo del agua (Novelo et al., 2004).

Donde

N_{max}: Nivel máximo de agua (m)

Q: caudal

V_{ap}: Velocidad de aproximación (m/s)

B: Ancho del canal

$$Nmax = \frac{0,058}{0,29 * 0,4}$$

$$Nmax = 0,5 \text{ m}$$

$$Ls = \frac{Nmax}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 10 Fórmula para calcular la longitud sumergida de las barras (Novelo et al., 2004).

Donde

L_s: Longitud sumergida de las barras (m)

N_{max}: Nivel máximo de agua (m)

θ : Angulo de inclinación

$$Ls = \frac{0,5}{\text{sen } 45}$$

$$Ls = 0,7 \text{ m}$$

$$Bg = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) * e$$

Ecuación 11 Fórmula para calcular la suma total de las separaciones entre las barras(Novelo et al., 2004).

Donde:

B_g : separación entre barras para rejilla fijas (m)

b: Ancho del canal (m)

e: Separación entre barras = 0,011 m

s: Espesor máximo de barras =0.01m

$$Bg = \left(\frac{0,4 - 0.011}{0.01 + 0,011} + 1 \right) * 0,011$$

$$Bg = 0.21 \text{ m}$$

$$Ng = \frac{b}{e + s}$$

Ecuación 12 Fórmula para calcular el número de barras(Novelo et al., 2004).

Donde:

b: Ancho del canal (m)

e: Separación entre barras = 0,011 m

s: Espesor máximo de barras =0.01m

$$Ng = \frac{0,4}{0.011 + 0,01}$$

$$Ng = 19$$

$$hc = \beta \left(\frac{e}{s} \right)^{2/3} * \frac{V^2}{2g} * \text{sen } \phi$$

Ecuación 13 Fórmula para calcular la perdida de carga a través de la rejillas(Novelo et al., 2004).

Donde

h_c : Pérdida de carga a través de la rejilla (m)

β : Factor dependiente de la forma de las barras (adimensional)

e : espesor de las barras

s : separación de las barras

V : velocidad del flujo a través del espacio entre barras de la rejilla (m/s)

g : aceleración de la gravedad

ϕ : ángulo de inclinación de las barras

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,011}{0,01} \right)^{4/3} * \frac{0,29^2}{2 * 9,8} * \text{sen } 45$$

$$h_c = 0,0062 \text{ m}$$

Tabla 19 resultados del dimensionamiento de las rejillas

Tabla 17 Resultados del dimensionamiento de las rejillas (Marmolejo Julio, 2021; Naranjo Andres, 2021)

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal en el canal.	0,058	m ³ /s
Angulo de inclinación	45	grados
Longitud barras.	0,8	m
Nivel máximo del agua	0,5	m
Longitud sumergida de las barras.	0,7	m
Suma total de las separaciones entre las barras	0,21	m
Numero de barras	19	
Pérdida de carga a través de las rejillas	0,0062	m

3.2.3 Dimensionamiento de desarenador.

El desarenador tiene como función eliminar arenas gruesas y dejarlas decantar en él, para luego ser removidas de forma manual o mecánica. En el caso de este proyecto se propone construir un desarenador de una sola cámara al no existir un gran caudal constante de lixiviados, lo que provoca que no sea necesario que se realice los desarenadores de doble cámara. Por esta razón, el desarenador constará de las partes principales que son la zona

de entrada, zona de desarenación, zona de salida y zona de depósito de arenas. Se espera eliminar entre el 70 y 80 % de arenas en este proceso.

$$V_s = \frac{g(\rho_p - \rho)d_p^2}{18\mu}$$

Ecuación 14 Fórmula para calcular la velocidad de sedimentación.

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación.

g : gravedad (m/s^2)

d_p : diámetro de las partículas (mm)

ρ_p : densidad de la partícula (Kg/m^3)

ρ : densidad del fluido a $17^\circ C$ (Kg/m^3)

μ : viscosidad de fluido a $17^\circ C$ ($Kg/m*s$)

$$V_s = \frac{9,8(2650 - 998,742)0,0002^2}{18 * 0,001}$$

$$V_s = 0,035 \text{ m/s}$$

$$R_e = \frac{V_s * d}{n}$$

Ecuación 15 Fórmula para calcular el número de Reynolds.

Donde:

R_e : numero de Reynolds

V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

d : diámetro de la partícula (m)

n : Viscosidad cinemática (m^2/s)

$$R_e = \frac{0,035 * 0,0002}{1,092 * 10^{-6}}$$

$$R_e = 6,410$$

$$C_d = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0,34$$

Ecuación 16 Fórmula para calcular el Coeficiente de arrastre.

Donde:

C_d : Coeficiente de arrastre

R_e : número de Reynolds

$$C_d = \frac{24}{6,410} + \frac{3}{\sqrt{6,410}} + 0,34$$

$$C_d = 5.269$$

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 17 Fórmula para calcular el Área superficial.

Donde:

A_s : Area superficial (m^2)

Q : Caudal (m^3/s)

V_s : Velocidad de sedimentación m^2

$$A_s = \frac{0,058}{0,035}$$

$$A_s = 1,657 m^2$$

$$T_r = \frac{Vol}{Q}$$

Ecuación 18 Fórmula para calcular el tiempo de retención del desarenador.

Donde

T_r : Tiempo de retención (s)

Vol : Volumen del tanque (m^3)

Q : Caudal (m^3/s)

$$T_r = \frac{6 * 3 * 1}{0,058}$$

$$T_r = 310,34 \text{ s}$$

Tabla 18 Resultados del dimensionamiento del desarenador(Marmolejo Julio, 2021; Naranjo Andrés, 2021)

Parametro	Valor	Unidad
Velocidad de sedimentación	0,035	m/s
Número de Reynolds	6,41	adimensional
Coefficiente de arrastre	5,269	adimensional
Area Superficial	1,657	m
Tiempo de retención	310,34	s
Longitud	12	m
Ancho	6	m
Profundidad	3	m

3.2.4 Dimensionamiento de sedimentador primario.

Luego de eliminar las arenas más gruesas en el desarenador se plantea instalar un sedimentador primario que ayude a la sedimentación de partículas más finas, por lo cual teniendo en cuenta nuestro caudal de diseño de 0,058 m³/s se toma una velocidad de sedimentación de 0,005 m/ s para de esos datos partir el diseño del sedimentador.

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 19 Fórmula para calcular el área superficial de sedimentador.

Donde.

A_s: Área superficial del sedimentador (m²)

Q: caudal de diseño (m³/s)

V_s: Velocidad de sedimentación (m/s)

$$A_s = \frac{0,058}{0,005}$$

$$A_s = 11,6 \text{ m}^2$$

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

Ecuación 20 Fórmula para calcular el ancho del sedimentador.

Donde:

B: Ancho del sedimentador (m).

A_s: Área superficial (m²).

$$B = \sqrt{\frac{11.6}{3}}$$

$$B = 1,96 \text{ m} \approx 2\text{m}$$

$$L2 = \frac{A_s}{B}$$

Ecuación 21 Fórmula para calcular la longitud de la zona de sedimentación.

Donde:

A_s: Área superficial del sedimentador (m²)

B: ancho del sedimentador (m)

$$L2 = \frac{11,6}{2}$$

$$L2 = 5,8 \text{ m}$$

$$L = L1 + L2$$

Ecuación 22 Fórmula para calcular la longitud total del sedimentador.

Donde:

L: longitud total de sedimentador (m)

L1: distancia entre la entrada del sedimentador y la pantalla difusora (m)

L2: longitud área de sedimentación (m).

$$L = 0,7 + 5.8$$

$$L = 6,5 \text{ m}$$

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Ecuación 23 Fórmula para calcular la velocidad horizontal.

Donde:

V_h : velocidad horizontal

Q: caudal

B Ancho del sedimentador

H: Profundidad asumida del sedimentador (1,5 m)

$$V_h = \frac{100 * 0.058}{2 * 1.5}$$

$$V_h = 1.93 \text{ cm/s}$$

$$V_h = 0.0193 \text{ m/s}$$

$$V_a = \left[\frac{8k * (s - 1) * g * d}{f} \right]^{1/2}$$

Ecuación 24 Fórmula para calcular la velocidad arrastre.

Donde:

V_a : Velocidad de arrastre (m/s)

k: constante de cohesión (0,05) a dimensional

s: gravedad específica

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

d: diámetro de la partícula (m)

f: factor de fricción Darcy – Weisbach

$$V_a = \left[\frac{8 * 0.05 * (1,25 - 1) * 9,8 * 0,00002}{0,025} \right]^{1/2}$$

$$V_a = 0.028 \text{ m/s}$$

$$Vh < Va$$

$$0,019 < 0,028$$

Tomando en cuenta que la velocidad horizontal es menor a la velocidad de arrastre se puede determinar que el material sedimentado no será re suspendido.

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 25 Fórmula para calcular el tiempo de retención.

Donde:

T_r : Tiempo de retención (s)

V: Volumen (m^3)

Q: Caudal (m^3/s)

$$Tr = \frac{2 * 1.5 * 6.5}{0.058}$$

$$Tr = 336,2s$$

$$A_{to} = \frac{Q}{V_{or}}$$

Ecuación 26 Fórmula para calcular el area total de los orificios.

Donde:

A_{to} : Area total de los orificios m^2

Q: caudal (m^3/s)

V_{or} : Velocidad de paso entre los orificios (asumida) (m/s)

$$A_{to} = \frac{0,058}{0,1}$$

$$A_{to} = 0,58 \approx 0,60 m^2$$

$$A_o = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Ecuación 27 Fórmula para calcular el área de cada orificio.

Donde:

A_{to} : Área de cada orificio (m^2)

d: se asume un diámetro de 0,2 (m)

A_o : Area de cada orificio (m^2)

$$A_o = 3,1416 * \left(\frac{0,2}{2}\right)^2$$

$$A_o = 0,031 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{to}}{A_o}$$

Ecuación 28 Fórmula para calcular el número de orificios.

Donde :

A_{to} : Área de cada orificio (m^2)

A_o : Área de cada orificio (m^2)

$$n = \frac{0,60}{0,031}$$

$$n = 19,35 \approx 20$$

$$H_{pd} = H - \left(\frac{2}{5} * H\right)$$

Ecuación 29 Fórmula para calcular la altura de la pantalla difusora.

Donde:

H_{pd} : altura de pantalla difusora con orificios (m)

H: altura de sedimentador (m)

$$H_{pd} = 1,5 - \left(\frac{2}{5} * 1,5\right)$$

$$H_{pd} = 0,9 \approx 1 \text{ m}$$

$$a1 = \frac{Hpd}{nf}$$

Ecuación 30 Fórmula para calcular el espacio entre filas y orificios.

Donde:

a1: espacio entre filas

Hpd: altura de la pantalla difusora (m)

nf: número de filas propuesto.

$$a1 = \frac{1}{5}$$

$$a1 = 0,2 \text{ m}$$

$$a2 = \frac{B}{nc + 1}$$

Ecuación 31 Fórmula para calcular el espacio entre columnas y orificios.

Donde:

a2: espacio entre columnas de orificios.

B: ancho de sedimentador (m)

nc: número de columnas propuesto.

$$a2 = \frac{2}{4 + 1}$$

$$a2 = 0,5 \text{ m}$$

Tabla 19 Resultados del dimensionamiento del sedimentador (Marmolejo Julio, 2021; Naranjo Andres, 2021)

Parametro	Valor	Unidad
Caudal	0,058	m ³ /s
Velocidad de sedimentación	0,005	m/s
Area superficial	11,6	m ²
Ancho	4	m

Longitud	12	m
Profundidad	3	m
Velocidad horizontal	0,019	m/s
Velocidad de arrastre	0,028	m/s
Tiempo de retención	336,2	s
Dimensionamiento en la pantalla difusora		
Area total de orificios	0,6	m ²
Area de cada orificio	0,031	m ²
Número de orificios	20	---
Altura de pantalla difusora	1	m
Dimensionamiento de filas de los orificios	0,2	m
Dimensionamiento de columnas de los orificios	0,5	m

3.2.5 Dimensionamiento del tanque cilíndrico para la precipitación de metales pesados

En este proyecto este tanque servirá para la precipitación de metales pesados previa a la adición de un coagulante que ayude a la floculación de metales y por ende a la disminución de la concentración de los mismos dentro del lixiviado. Posterior a este paso el lixiviado será vertido en las lagunas de oxidación aledañas para terminar el tratamiento y luego sean puestas como efluentes en el cuerpo hídrico cercano.

Tomando en cuenta el caudal que se tratará se establecen valores para el dimensionamiento:

R_s: Radio superior (0,55m)

r_i: radio inferior (0.10m)

h_i: altura inferior (0,4m)

$$V_c = \frac{\pi * h_i}{3} * (R_s^2 + r_i^2 + R_s * r_i)$$

Ecuación 22 Fórmula para calcular el volumen del cono.

Donde

V_c : Volumen del cono

R_s : Radio superior (0,55m)

r_i : radio inferior (0,26m)

h_i : altura inferior (0,4m)

$$V_c = \frac{\pi * 0,4}{3} * (0.55^2 + 0.26^2 + 0.55 * 0.26)$$

$$V_c = 0.21m^3$$

$$V_t = V_c + V_s$$

Ecuación 23 Fórmula para calcular el volumen total del cilindro.

Donde.

V_t : volumen total

V_c : Volumen del cono

V_s : Volumen de diseño (7m)

$$V_t = 0,21 + 7$$

$$V_t = 7,21$$

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 25 Fórmula para calcular el tiempo de retención.

Donde:

T_r : Tiempo de retención

V : Volumen

Q : Caudal

$$Tr = \frac{7,21}{0,058}$$

$$Tr = 124 s$$

Tabla 20 Resultados del dimensionamiento del tanque precipitador de metales

Parametro	Valor	Unidades
Radio superior	0,55	m
Radio inferior	0,1	m
Altura inferior	0,4	m
Volumen del cono	0,21	m ³
Volumen total del cilindro	7,21	m ³
Tiempo de retencion	124,31	s

3.3 Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento primario de lixiviados.

En base a lo diseños realizados y teniendo en cuenta la limitación de adquirir maquinaria mecánica por parte de los GADs de Pelileo y Patate, se elaboró un manual de uso y mantenimiento que sea sencillo de entender y pueda ser usados por cualquier persona.

Este manual se enfocará en la puesta en marcha de la planta de tratamiento tomando en cuenta principalmente la regulación del caudal de ingreso. En cambio, la parte de mantenimiento estará enfocado a realizar cronogramas de mantenimiento preventivos y correctivos y a realizar cronogramas para la limpieza de las áreas aledañas a la planta de tratamiento, revisar el buen funcionamiento de las válvulas y las compuertas de ingreso de caudal a cada uno de los sistemas unitarios. .

El mantenimiento se lo realizará en su totalidad manualmente, con presencia del personal que trabaja en el relleno sanitario tomando en cuenta cada uno de los procedimientos y el usando de los materiales que se detallaran en el manual de manejo y mantenimiento Como anexo a este trabajo se detalla cada uno de los pasos para realizar un correcto manejo de la planta de pretratamiento y para su respectivo mantenimiento

3.4 Eficiencia de remocion esperada

El diseño de la planta de pretratamiento está orientada a la reducción de un porcentaje de DBO, SST y sobre todo disminuir la concentración de metales pesados en el lixiviado. En los sistemas unitarios como el desarenador y el sedimentador se plantea eliminar partículas de hasta 0.02 mm de diámetro, mientras que en el tanque precipitador, mediante la adición de un floculante se plantea la decantación de los metales pesados presentes.

Para determinar la remoción de DBO y SST se utilizarán dos constantes empíricas y el tiempo de retención en cada uno de los sistemas unitarios.

Tabla 21 Constantes empíricas para determinar la remoción de DBO Y SST (OPS, 2005)

Parametro	a	b
DBO	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

3.4.1 Porcentaje de remoción esperada en el desarenador

Tomando en consideración que el desarenador simple de una sola cámara cumple plantea la eliminación de partículas de un diámetro de 0,0002 m, se tiene un porcentaje de remoción empírica por medio de la siguiente formula.

$$DBO = \frac{Tr}{a + (b * Tr)}$$

Ecuación 26 Fórmula para calcular la remoción esperada de DBO.

Donde:

Tr: tiempo de retención (s)

a: Constante empírica para lixiviados

b: Constante empírica para lixiviados

$$DBO = \frac{310,34}{0.018 + (0.020 * 310.34)}$$

$$DBO = 49.85 \%$$

$$SST = \frac{Tr}{a + (b * Tr)}$$

Ecuación 27 Fórmula para calcular la remoción esperada de SST.

Donde:

Tr: tiempo de retención (s)

a: Constante empírica para lixiviados

b: Constante empírica para lixiviados

$$SST = \frac{310.34}{0.0075 + (0.014 * 310.34)}$$

$$SST = 71.30 \%$$

Según estos los resultados que nos daría la formula empírica tendríamos una remoción de 49,85 % de DBO y 71,30 % de SST, tomando en cuenta un diámetro de partícula de 0.2 mm y la temperatura del lixiviado de 17°C. Los coeficientes empíricos “a” y “b” pueden cambiar de acuerdo a la temperatura del lixiviado.

3.4.2 Porcentaje de remoción esperada en el sedimentador.

Para determinar el porcentaje de remoción del sedimentador, se puede tomar la misma fórmula anteriormente usada con los parámetros de DBO y SST y determinar la eficiencia en la remoción de estos parámetros.

$$DBO = \frac{Tr}{a + (b * Tr)}$$

Ecuación 28 Fórmula para calcular la remoción esperada de DBO.

Donde:

Tr: tiempo de retención (s)

a: Constante empírica para lixiviados

b: Constante empírica para lixiviados

$$DBO = \frac{336,20}{0,018 + (0,020 * 336,20)}$$

$$DBO = 49,86 \%$$

$$SST = \frac{Tr}{a + (b * Tr)}$$

Ecuación 29 Fórmula para calcular la remoción esperada de SST.

Donde:

Tr: tiempo de retención (s)

a: Constante empírica para lixiviados

b: Constante empírica para lixiviados

$$SST = \frac{336,20}{0.0075 + (0.014 * 336,20)}$$

$$SST = 71.31 \%$$

Se observa que el porcentaje de remoción esperada es un porcentaje casi similar ya que los tiempos de retención varían en un rango muy corto, pero cabe resaltar que para el tanque sedimentador se tiene un diámetro de partícula de 0.02 mm.

3.4.3 Porcentaje de remoción esperado en el tanque precipitador.

Para obtener un buen porcentaje de remoción en el tanque de precipitación se debe tomar en cuenta que tipo de coagulante se usará. El más utilizado es la cal, por otra parte compuestos como la alúmina y cloruro férrico o el sulfato ferroso son también muy usados. Es importante ajustar el pH para que exista mayor eficiencia al momento que reaccionen los iones metálicos y así estos se transforme en una masa insoluble y puedan precipitar.

Existen varias técnicas de precipitación química, cada una de ellas varía de acuerdo con parámetros como tiempo de retención, tipo de método que se use y cada uno de esos métodos tiene un porcentaje de remoción estimado como se puede observar en la figura 12.

Especie	Condiciones					% Eficiencia de remoción
	pH	Concentración Inicial	tTr	Temperatura °C	Método y complemento	
Ni, Zn, Al	12	22 mg/L	1h	Ambiente	Precipitación por galvanoplastia Ni servosistida por LDH.	80-90
Hg ²⁺	4,7 – 6,4	65,6 µg/L	1h	Ambiente	Precipitación con 1,3-benzenediamidoethanet hiolate	>99.9
As ²⁺ , Cu ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	1	As 6,080 mg/L, Cd 95 mg/L, Cu 70 mg/L y Pb 45 mg/L	1h	Ambiente	Reactor con distribuidor multiarranque sumergido para la alimentación de sulfuro.	>99.9
Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Hg	4	1 mg/L	5min	Ambiente	Nanocompuestos como Micropartículas superparamagnéticas que actúan como semillas para precipitados de hidróxido de hierro.	95 - 99

t_{Tr}: Tiempo de tratamiento

Figura 12 Remoción de metales pesados empleando la técnica de precipitación química.

El porcentaje de remoción calculado, se basa a fórmulas empíricas tomando en cuenta un funcionamiento óptimo de los sistemas unitarios como es el desarenador y el sedimentador, cuando la planta de pretratamiento esté en funcionamiento se podrá realizar un nuevo análisis del agua lixiviada al momento de ser tratada y se logrará comprobar la eficiencia del sistema.

Tabla 22 resumen de remoción esperada en el desarenador y en el sedimentador

PORCENTAJES EMPIRICOS DE REMOCION			
	DBO	SST	Metales
Desarenador	49,85%	71,30%	
Sedimentador	49,86%	71,31%	

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño de una planta de pretratamiento para los lixiviados producidos en el relleno sanitario Pelielo- Patate con el fin de cumplir con la normativa que rige en la legislación ecuatoriana y que obliga a que cada relleno sanitario tenga una planta de tratamiento, donde se puedan reducir las concentraciones de metales pesados y demás contaminantes tóxicos para el medio ambiente, y así puedan ser descargados en cuerpos de agua dulce sin causar un impacto ambiental negativo.
- En la planta de tratamiento se busca tener mayor efectividad para el tratamiento de aguas residuales por lo cual no solo se tratan aguas lixiviadas sino también aguas residuales provenientes de descargas domésticas e industriales.
- Se determinó una producción relativamente baja de lixiviados en el relleno sanitario, y que ésta se encuentra íntimamente ligada a las precipitaciones en la zona con un 95%, ya que el relleno sanitario implementa una política de reutilización de materia orgánica transformándola en compost, por lo cual la mayor cantidad de residuos en el relleno sanitario son residuos inorgánicos con baja carga de humedad. Además, en las zonas cercanas no se determinó ningún tipo de infiltración de aguas subterráneas ni superficiales que puedan ser parte del aporte para el balance hídrico para el aumento de humedad y por ende de aguas lixiviadas en el cubeto del relleno sanitario.
- El diseño de la planta de tratamiento está relacionado con un caudal de $0,058 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se realizó una planta de tratamiento que consta de un canal de conducción desde el tanque de almacenamiento actual hasta las rejillas, luego con un desarenador para eliminar las arenas más gruesas, para posteriormente conectarlo con un sedimentador primario y luego con un tanque para la precipitación de metales pesados. Todo esto con el fin de disminuir la presencia de sólidos y metales pesados dentro del lixiviado y que la afectación a las lagunas de oxidación sea la mínima.
- La planta de pretratamiento como se pudo analizar, se proyecta, según su diseño para una remoción alta de DBO, SST y metales pesados logrando así disminuir el impacto que pueda tener el lixiviado al momento de ser depositado como efluente en las lagunas de oxidación.
- Al disminuir la carga de metales pesados presentes en los lixiviados, se espera evitar que aumente la concentración de estos en las lagunas de oxidación y logrando así mejorar la eficiencia de proceso biológico y evitar la inhibición de los microorganismos.

4.2 Recomendaciones

- Si bien el análisis del diseño de la planta de pretratamiento estaba basado en estudios y en análisis de laboratorio realizados por parte de la empresa encargada del relleno es recomendable realizar análisis de laboratorio paralelos para poder comparar los resultados y así disminuir el porcentaje de incertidumbre.
- Se debe tomar en cuenta que el porcentaje de producción de lixiviados puede variar dependiendo la época de año (invierno o verano) por lo cual se debe llevar un registro del caudal que se tratará y se debe considerar el periodo de retorno de las precipitaciones.
- Antes de que la planta de pretratamiento entre en operación es recomendable hacer un test de jarras para determinar el porcentaje de cal que se usará para la precipitación de los metales. Si bien en el manual de operación se especifica la fórmula para calcular el volumen de cal a usar es recomendable verificarlo antes de poner en marcha la operación de la planta de pretratamiento.
- Se recomienda realizar un análisis trimestral a partir de la construcción y entrada en funcionamiento de la planta para poder determinar si la concentración de metales pesados es menor.
- Es necesario realizar una capacitación con el personal para poder enseñarle el correcto manejo y mantenimiento de la planta de pretratamiento.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf. (s. f.). Recuperado 14 de octubre de 2021, de http://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf

Anuario_meteorologico_2014.pdf. (2014). Google Docs. https://drive.google.com/file/d/1aRysaX9telQwI4E_U9vtR6XaNBNv4VL9/view?usp=sharing&usp=embed_facebook

Borzacconi, L., López, I., & Anido, C. (2021). *Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un relleno sanitario*.

Chavez Wendy. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. De Chihuahua, Méx.* 111.

Cunha Nicolas, Pereira Santiago, 2013. (s. f.). Recuperado 2 de octubre de 2021, de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22515/1/CP13.pdf>

Eva Roben, O. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*.

https://www.academia.edu/37618492/Dise%C3%B1o_Construcci%C3%B3n_Operaci%C3%B3n_y_Cierre_de_Rellenos_Sanitarios_Municipales

Flores, 2018. (s. f.). Recuperado 11 de octubre de 2021, de http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf

Google maps. (2021). [Map].

Iglesias, L. M. (2011). *Inicio sus operaciones en el mes de enero del 201*. 14.

Ing. Pedro Chicaiza. (2019, noviembre 19). *Estado actual del Relleno Sanitario Pelio-Patate* [Oral].

LABCESTTA. (2020). *Resultados analíticos de lixiviados del relleno sanitario Pelieo-Patate*.

LABCESTTA. (2021). *Resultados analíticos de lixiviados de del relleno Pelileo-Patate*.

Lenin Stalin Luzuriaga Zárate. (2015). *Calculo de pretratameinto de aarr*. <https://es.slideshare.net/LeninStalinZrate/calculo-de-pretratameinto-de-aarr>

Marmolejo Julio. (2021, noviembre 12). *Visita relleno sanitario Pelileo Patate*.

Maroto, 2015. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1860000640001_DIAGNOSTICO_FINAL_15-01-2015_15-58-50.pdf

Mediana Miguel, Cañez Dayna, Grijalva Irland, Zayas Diana, Taylor Antoni. (2017). *Capítulo 9: Contaminación del agua subterránea | HWB*. <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-9/>

Memoria_tecnica_Coberturas_SAN_PEDRO_DE_PELILEO_20150306.pdf. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_SAN_PEDRO_DE_PELILEO_20150306.pdf

Metcalf & Eddy Inc. (1998). *Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, 3ra Edición—METCALF & EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf*. https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf

Morales Pilataxi, M. L. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para la Empresa Publica Municipal Mancomunada de Aseo Integral de los cantones Patate y Pelileo EMMAIT-EP en el canton Pelileo, provincia Tungurahua*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6554>

Naranjo Andres. (2021, noviembre 12). *Visiata relleno sanitario Pelileo Patate*.

Normativa de calidad ambiente y de descarga de efluentes, 2019.pdf. (s. f.). Recuperado 10 de septiembre de 2021, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Novelo, R. M., Borges, E. C., Riancho, M. R. S., Franco, C. Q., Vallejos, G. G., & Mejía, B. J. (2004). *Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario*. 10.

OPS 2005. Guía desarenadores y sedimentadores.pdf. (s. f.). Recuperado 22 de diciembre de 2021, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

OPS 2005b. Guía desarenadores y sedimentadores.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de diciembre de 2021, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

Reyes Medina Manue. (2015). Universitat Politècnica de València. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>

Romero Rojas. (2016). *Tratamiento de Aguas Residuales Romero Rojas*. https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas

Salcedo-Pérez, E., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Rodríguez-Macias, R., Zamora-Natera, F., & Bugarin-Montoya, R. (2007). *LA HUMEDAD APROVECHABLE Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA ORGÁNICA Y SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL SUELO*. 8.

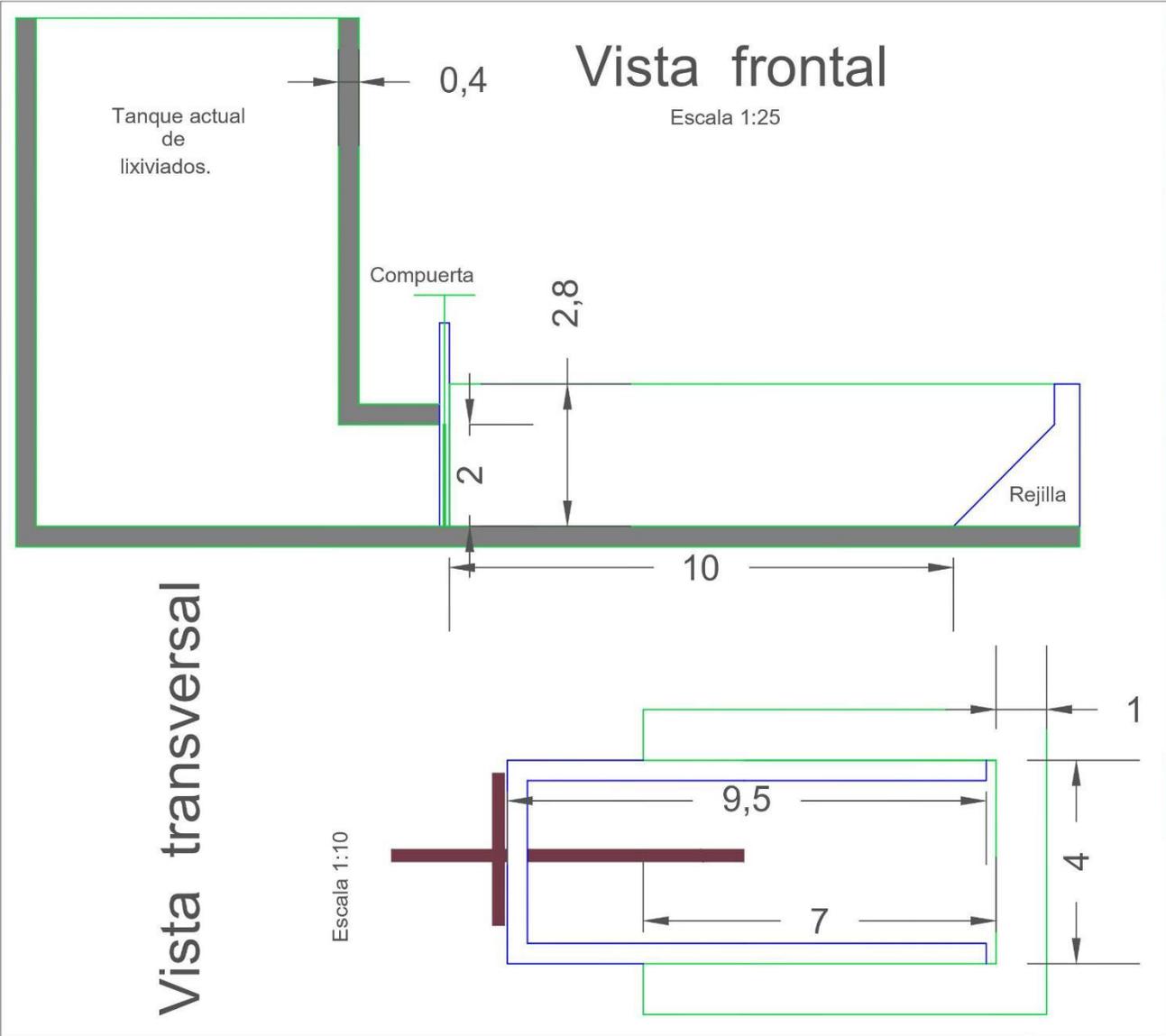
Santillan Maria Lorena-2020. (s. f.). Recuperado 16 de septiembre de 2021, de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-Manejo-desechos-solidos-2.pdf>

Tibanlombo Chisag, N. M. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de Lixiviados para el botadero de Curgua del cantón Guaranda provincia de Bolívar*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3655>

Wikipedia. (2021). Lixiviado. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lixiviado&oldid=133268092>

ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS Y ESQUEMAS



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN
DE TECNOLOGOS
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

PROYECTO:
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL
RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE
PROVINCIA DE THUNGURAHUA

REALIZADO POR:
Marmolejo Muñoz Julio Francisco
Naranjo Quishpe Andrés David

DIRECTOR:
Ing. Santiago S. Guerra Salcedo, M.sc

CODIRECTOR:
Ing. Maria Belén Aldas, M.sc

DETALLE:
Vista frontal y transversal del canal de
conducción

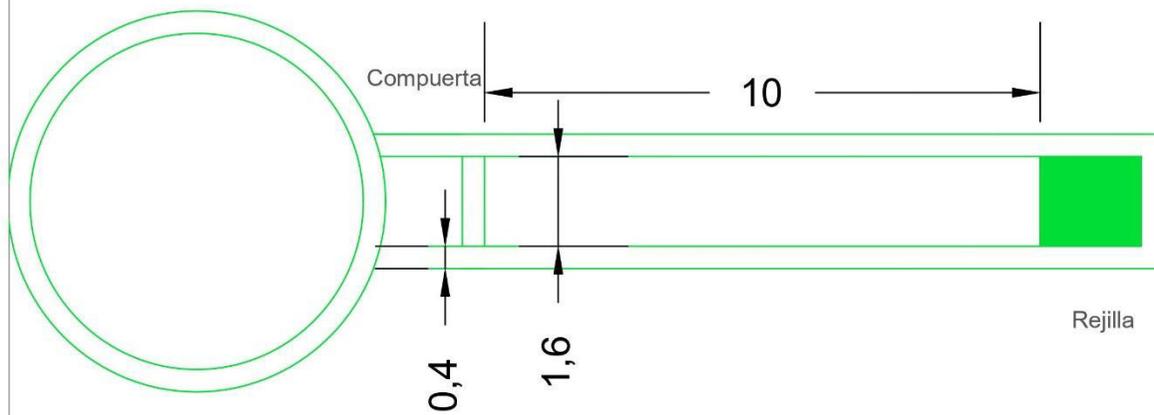
TABLA RESUMEN:

ESCALA:	LAMINA:	FECHA:
Indicadas	1/2	Enero 2022

FIRMAS Y SELLOS:

Vista en planta

Escala 1:25



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN
DE TECNOLOGOS
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL
RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE
PROVINCIA DE THUNGURAHUA

REALIZADO POR:

Marmolejo Muñoz Julio Francisco
Naranjo Quishpe Andrés David

DIRECTOR:

Ing. Santiago S. Guerra Salcedo, M.sc

CODIRECTOR:

Ing. Maria Belén Aldas, M.sc

DETALLE:

Vista en planta del canal de
conducción

OBSERVACIONES

ESCALA

Indicadas

LAMINA

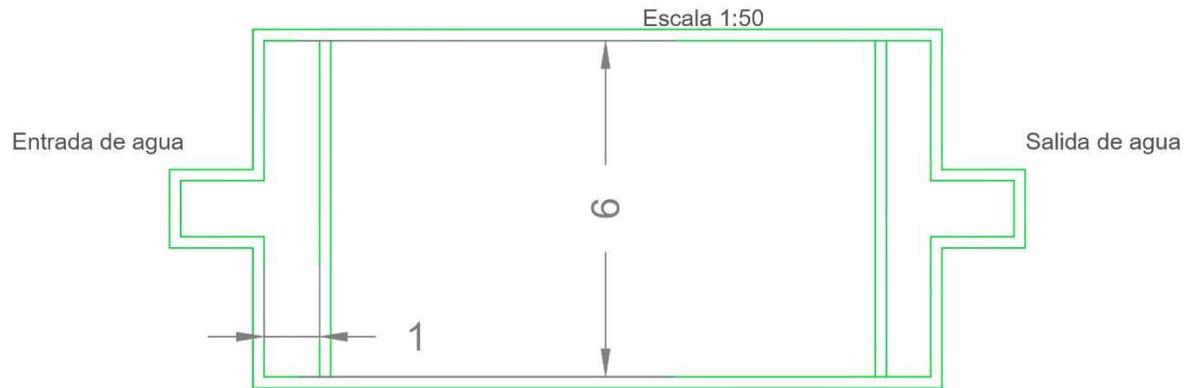
2/2

FECHA

Enero 2022

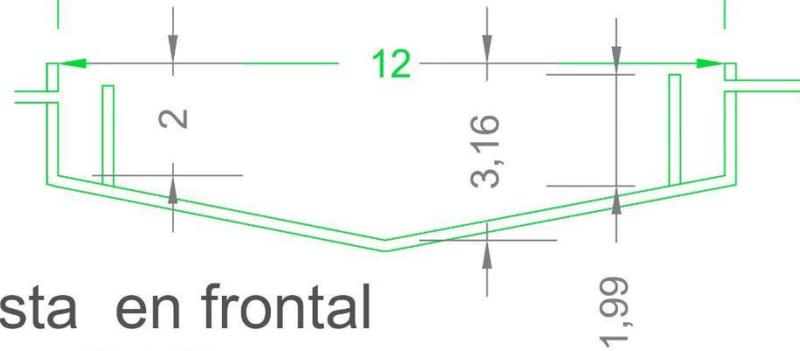
FIRMAS Y SELLOS

Vista en planta



Vista en frontal

Escala 1:50



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN
DE TECNOLOGOS
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL
RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE
PROVINCIA DE THUNGURAHUA

REALIZADO POR:

Marmolejo Muñoz Julio Francisco
Naranjo Quishpe Andrés David

DIRECTOR:

Ing. Santiago S. Guerra Salcedo, M.sc

CODIRECTOR:

Ing. Maria Belén Aldas, M.sc

DETALLE:

Vista frontal y en planta del
desarenador

OBSERVACIONES

ESCALA

Indicadas

LAMBRILA

1/1

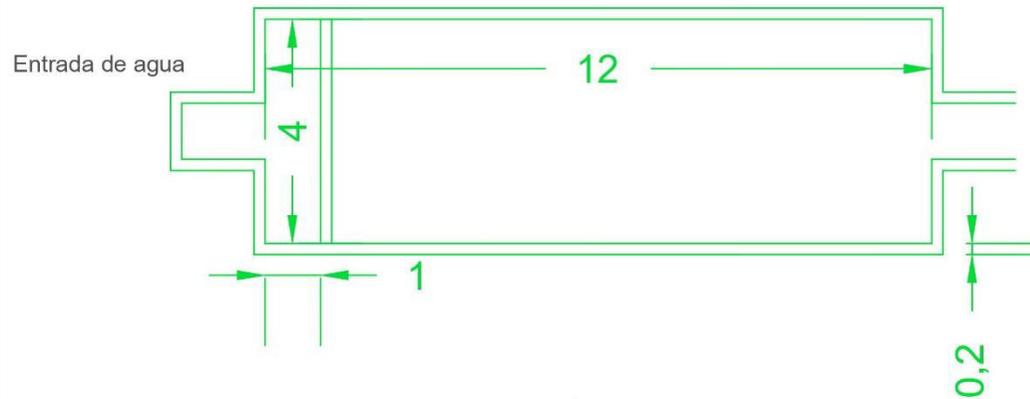
FECHA

Enero 2022

FIRMAS Y SELLOS

Vista en planta

Escala 1:50



Vista frontal

Escala 1:50



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN
DE TECNOLOGOS
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL
RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE
PROVINCIA DE THUNGURAHUA

REALIZADO POR:

Marmolejo Muñoz Julio Francisco
Naranjo Quishpe Andrés David

DIRECTOR:

Ing. Santiago S. Guerra Salcedo, M.sc

CODIRECTOR:

Ing. Maria Belén Aldas, M.sc

DETALLE:

Vista frontal y en planta del sedimentador

OBSERVACIONES

ESCALA

Indicadas

LAMINA

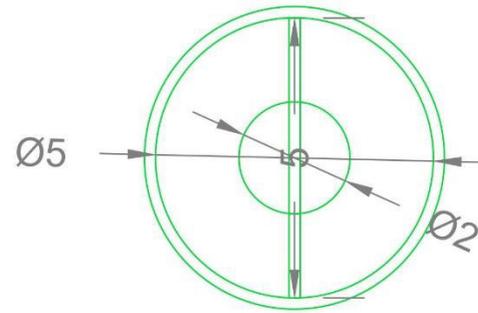
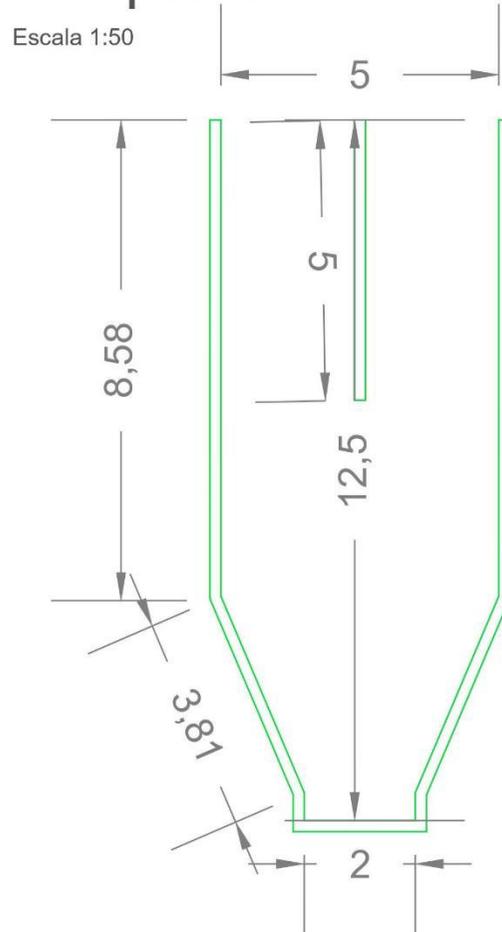
1/1

FECHA

Enero 2022

FIRMAS Y SELLOS

Vista en planta



Vista en frontal

Escala 1:20



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 ESCUELA DE FORMACIÓN
 DE TECNOLOGOS
 AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
 PRIMARIO DE LIXIVIADOS PARA EL
 RELLENO SANITARIO PELILEO-PATATE
 PROVINCIA DE THUNGURAHUA

REALIZADO POR:

Marmolejo Muñoz Julio Francisco
 Naranjo Quishpe Andrés David

DIRECTOR:

Ing. Santiago S. Guerra Saicedo, M.sc

CODIRECTOR:

Ing. Maria Belén Aldas, M.sc

DETALLE:

Vista frontal y en planta del
 tanque precipitador

OBSERVACIONES:

ESCALA

Indicadas

LÁMINA

1/1

FECHA

Enero 2022

FIRMAS Y SELLOS: