



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

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR,
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

Hector Estuardo Chiroy Morales

Asesorado por el Ing. César Ariel Villela Rodas

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR,
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HECTOR ESTUARDO CHIROY MORALES
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

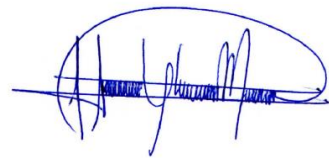
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR,
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2013.



Hector Estuardo Chiroy Morales

Guatemala, 29 de octubre del 2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Por medio de la presente me dirijo a usted para desearle éxitos en sus actividades diarias, el día de hoy hago constar que he revisado el trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO”**, del estudiante de Ingeniería Química Hector Estuardo Chiroy Morales identificado con carné número 200714543, en mi calidad de asesor lo apruebo para su revisión correspondiente.

Agradezco la atención prestada a la presente.

Atentamente.


Ing. César Ariel Villela Rodas
Profesor Titular
Escuela de Ingeniería Química
Colegiado No. 1175
Ing. César Ariel Villela Rodas
INGENIERO QUÍMICO
Colegiado No. 1,175



Guatemala, 15 de enero de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.004.2015.

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **207-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Hector Estuardo Chiroy Morales**.
Identificado con número de carné: **2007-14543**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

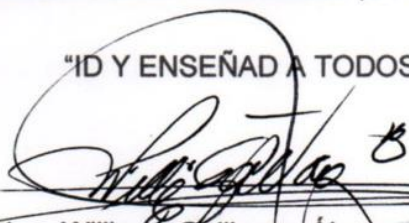
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN
SUSPENSIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL
MUNICIPIO EL TEJAR, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **César Ariel Villela Rodas**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Williamis Guillermo Álvarez Mejía
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.029.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **HECTOR ESTUARDO CHIROY MORALES** titulado: **"DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL MUNICIPIO EL TEJAR DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Estuardo Chiroy Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, marzo de 2015



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por prestarme la vida, la salud y las fuerzas para lograr concluir esta meta.
Mis padres	Andrés Chiroy y Margarita Morales, por darme la vida, el apoyo, las enseñanzas y las herramientas necesarias para salir adelante.
Mi familia	Por motivarme a seguir adelante y llenarme la vida de sonrisas.
Mis hermanos	Gloria Chiroy, Ángel Chiroy, Beatriz Chiroy y Óscar Chiroy, por cada uno de los momentos de unión y convivencia familiar.
Mi sobrino	Byron Q. Chiroy, por llenar mi juventud de sonrisas y buenos momentos.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la oportunidad de lograr esta meta, guiar mi camino y ser parte esencial de mi vida.
- Mis padres** Andrés Chiroy y Margarita Morales, por cuidarme, guiarme, darme palabras de aliento y brindarme las herramientas necesarias para concluir mis estudios.
- Mis hermanos** Gloria Chiroy, Ángel Chiroy, Beatriz Chiroy y Óscar Chiroy, por su apoyo y ayuda en cada circunstancia de la vida.
- Ing. Ariel Villela** Por su amistad, apoyo y don de servicio en la realización de mi trabajo de graduación.
- Ing. Mauricio Rivera** Por su amistad y apoyo a lo largo la carrera y la realización de mi trabajo de graduación.
- Familia Chub G.** Fernando Gabriel, Margarita, Ana, Roxana, Gabriel y Jaime, por su apoyo, oraciones y bendiciones.
- Familiares** Marcelino Chiroy (q.e.p.d.), José Morales (q.e.p.d.), Ángela Choc, Rosa Díaz, tíos y demás familia.

Municipalidad El Tejar	Por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación durante su administración, encontrando apoyo del personal necesario.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas necesarias para concluir la carrera de Ingeniería Química.
Personal de Biblioteca FIUSAC	Por brindarme el apoyo necesario durante mi carrera, especialmente al señor Luis Chacón y al Lic. Carlos Chiroy.
Empresas	Representaciones Químicas, Universidad Galileo Sede Zaragoza, CETACH, Colegio Italiano y Colegio Simeón Cañas, por brindarme la oportunidad de laborar en sus instalaciones.
Amigos	David de los Santos, Dennis Sazo, Marvin Capriel, Walter Mansilla, Gabriela Cubur, Luisa Tejeda, Ludwyn Miza, Daniel Ajquiy Keyner Sontay, entre otros, por compartir el conocimiento y convivencia durante mi carrera.
Compañeros	Jorge Cardona, Augusto Cuxil, Juan Gómez, Mario Méndez, Rubén Sanic, Carlos Antonio Gramajo, Estuardo Morfin, Eswin Raymundo, Luis del Valle, María José Navarro, Lenyn Girón, Walter Mejía, entre otros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Definición de agua residual	3
2.1.1. Origen de las aguas residuales	3
2.2. Características de las aguas residuales	4
2.2.1. Características físicas del agua residual	4
2.2.1.1. Sólidos.....	4
2.2.1.1.1. Sólidos totales	4
2.2.1.1.2. Sólido en suspensión	5
2.2.1.1.3. Sólidos sedimentados	5
2.2.1.2. Turbiedad.....	5
2.2.1.3. Color	5
2.2.1.4. Olor.....	6
2.2.1.5. Temperatura	6
2.2.1.6. Densidad	7
2.2.1.7. Conductividad.....	7
2.2.2. Características químicas del agua residual	7

2.2.2.1.	Características química inorgánicas.....	7
2.2.2.1.1.	Potencial de hidrógeno (pH)	8
2.2.2.1.2.	Alcalinidad.....	8
2.2.2.1.3.	Cloruros.....	8
2.2.2.1.4.	Nitrógeno.....	9
2.2.2.1.5.	Fósforo.....	9
2.2.2.2.	Características químicas orgánicas.....	10
2.2.2.2.1.	Demanda bioquímica de oxígeno	10
2.2.2.2.2.	Demanda química de oxígeno	10
2.2.2.2.3.	Relación entre DBO ₅ y DQO	11
2.2.2.2.4.	Grasas y aceites	11
2.2.2.2.5.	Tensoactivos	12
2.2.3.	Características biológicas.....	12
2.3.	Consideraciones para la elección y diseño de procesos.....	12
2.3.1.	Elección de los métodos de tratamiento.....	13
2.3.1.1.	Clasificación de los niveles de tratamiento	13
2.3.1.2.	Niveles de tratamiento.....	13
2.3.1.3.	Aplicación de las operaciones y procesos unitarios	16
2.3.1.4.	Factores importantes en la elección del proceso.....	18
2.3.2.	Consideraciones para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual.....	19
2.4.	Tratamiento preliminar de aguas residuales	19

2.4.1.	Tratamiento de los sólidos en suspensión	20
2.4.1.1.	Sólidos inorgánicos.....	20
2.4.1.2.	Sólidos orgánicos	20
2.4.2.	Tamizado	21
2.4.2.1.	Tamizado grueso	22
2.4.2.1.1.	Rejillas	23
2.4.2.1.2.	Platos perforados	24
2.4.2.2.	Tamizado fino	24
2.4.3.	Desarenadores	25
2.5.	Consideraciones de diseño	25
2.5.1.	Determinación del material para la construcción de equipos según el tipo de tamizado	25
2.5.2.	Sistema de rejillas gruesas	26
2.5.3.	Consideración de diseño para un desarenador	27
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	29
3.1.	Variables.....	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio	29
3.3.	Recursos disponibles	29
3.3.1.	Recurso humano	29
3.3.2.	Infraestructura.....	30
3.4.	Técnica cualitativa y cuantitativa	30
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información	30
3.5.1.	Método para la recolección de las aguas residuales	30
3.5.2.	Método para la recolección de muestras de agua potable previa a análisis físico químico sanitario	31
3.5.2.1.	Agua potable nacimiento El Zapotillo...	31
3.5.2.2.	Agua de grifo	32

3.5.3.	Método para la recolección de la muestra del agua potable previo a análisis bacteriológico	33
3.5.3.1.	Agua potable nacimiento El Zapotillo ..	33
3.5.3.2.	Agua de grifo	33
3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	34
3.6.1.	Ordenamiento de la información	34
3.6.2.	Procesamiento de la información	39
3.6.2.1.	Determinación del caudal	39
3.6.2.2.	Determinación del diseño de rejas gruesas.....	40
3.6.2.3.	Determinación del diseño de rejas finas.....	40
3.7.	Análisis estadístico.....	41
3.7.1.	Media aritmética	41
3.7.2.	Análisis de variabilidad.....	42
3.7.2.1.	Varianza	42
3.7.2.2.	Desviación estándar	43
4.	RESULTADOS.....	45
4.1.	Características físicas y determinaciones químicas de las aguas residuales	45
4.2.	Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua potable	46
4.3.	Diseño de un equipo de pretratamiento que remueva los sólidos inorgánicos en suspensión de las aguas residuales ...	49
4.3.1.	Rejas gruesas	49
4.3.2.	Rejillas finas	51
4.3.3.	Desarenador.....	52

4.3.4.	Sistema completo de tratamiento preliminar de sólidos en suspensión	54
4.4.	Material necesario que se debe utilizar para la construcción del equipo	54
4.5.	Comparación de la demanda bioquímica y química de oxígeno en el agua residual.....	55
4.6.	Variación de los elementos de caracterización de las aguas residuales	56
4.6.1.	Desviación estándar de la caracterización física y determinación química de las aguas residuales	56
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de rejas.....	21
2.	Clases de tamiz utilizados en aguas residuales	22
3.	Sistema de rejas gruesas para la remoción de sólidos	50
4.	Sistema de rejas finas para la remoción de sólido	52
5.	Desarenador de flujo horizontal tipo canal	53
6.	Sección interna desarenador de flujo horizontal	53
7.	Sistema completo para la remoción de sólidos en suspensión	54
8.	Relación DBO ₅ /DQO	55

TABLAS

I.	Clase de tratamiento para aguas residuales	15
II.	Aplicación de las operaciones y procesos unitarios en sistemas pequeños	16
III.	Aplicación de las operaciones y procesos unitarios en sistemas grandes	17
IV.	Tipos de rejas y aberturas.....	23
V.	Tipo de materiales para la construcción de equipos según su clasificación.....	26
VI.	Parámetros para diseñar sistemas de rejas gruesas según el tipo de limpieza.....	27
VII.	Consideraciones de diseño para un desarenador.....	28
VIII.	Olor	35

IX.	Color	35
X.	Sólidos suspendidos	35
XI.	Sólidos sedimentables	36
XII.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	36
XIII.	Demanda química de oxígeno (DQO)	36
XIV.	Fosfatos	37
XV.	Nitratos	37
XVI.	Potencial de hidrógeno (pH)	37
XVII.	Temperatura	38
XVIII.	Velocidad de aproximación	38
XIX.	Caudal	38
XX.	Caracterización física de las aguas residuales	45
XXI.	Determinaciones químicas de las aguas residuales	45
XXII.	Examen bacteriológico agua de grifo El Tejar	46
XXIII.	Análisis fisicoquímico sanitario agua de grifo El Tejar	47
XXIV.	Análisis fisicoquímico sanitario nacimiento El Zapotillo, El Tejar	48
XXV.	Examen bacteriológico nacimiento El Zapotillo, El Tejar	49
XXVI.	Valores de diseño, sistema de rejas gruesas	50
XXVII.	Valores de diseño sistema de rejas finas	51
XXVIII.	Material para la construcción de rejas finas y gruesas	55
XXIX.	Desviación estándar	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración de la gravedad
A	Área de paso
\dot{Q}	Caudal
cm³	Centímetros cúbicos
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días
DQO	Demanda química de oxígeno
S	Desviación estándar
°C	Grado Celsius
L	Litros
\bar{X}	Media aritmética
m	Metro
mg	Miligramo
mm	Milímetro
N	Número de corridas
n	Número de datos
h_L	Pérdida de carga
pH	Potencial de hidrógeno
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
X_i	Valor de cada corrida
S²	Varianza de la muestra
v	Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja
V	Velocidad de flujo a través del espacio entre barras

GLOSARIO

Agua residual cruda	Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
Bioestimulantes	Sustancias biológicas que actúan potenciando determinadas rutas metabólicas y/o fisiológicas de las plantas.
Caudal	Volumen de líquido que circula a través de una sección transversal por unidad de tiempo.
Cuenca	Zona geográfica que contribuye con la esorrentía de las aguas pluviales hacia un cauce natural.
Elementos bióticos	Cualquier influencia de los componentes de una biocenosis sobre el medio ambiente o sobre otros organismos del sistema, en contraste con las influencias abióticas.
LMA	Valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

LMP

Valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

RESUMEN

Se realizó una caracterización de los tipos de contaminantes existentes en las aguas residuales para determinar los elementos que estas contienen, así como un análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua potable cercana a las aguas residuales para determinar si existe algún tipo de contaminación de parte de las aguas residuales al pozo de agua potable.

La caracterización física de las aguas residuales muestra un valor de color ubicado en 295 unidades, con un temperatura de 26 °C, densidad de 1,002 Kg/m³ y 117,00 mg/L de sólidos suspendidos. Las determinaciones químicas de las aguas residuales comprenden los siguientes valores: DBO igual a 156,12 mg/L, la DQO tiene un valor de 312,20 mg/L. En el caso de los nutrientes se tiene que el valor de nitratos dentro de las aguas es de 188,46 mg/L, del mismo modo se describe el valor de los fosfatos en 16,88 mg/L. El valor del pH de las aguas residuales es de 7,05 unidades.

Se comparó el valor de cada resultado con el Decreto 236-2006 referente a la descarga y reúso de las aguas residuales emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, para comparar el nivel de contaminación según la clasificación que este decreto presenta. Para efectos de estas aguas se tiene que la temperatura y pH de las aguas residuales se encuentran entre los valores aceptados dentro de los límites máximos permisibles de la cuarta etapa de tratamiento, la cantidad de los sólidos suspendidos caen en la parte de la tercera etapa, los nutrientes denotados como fosfatos y nitratos se encuentran en las etapas dos y cero, respectivamente.

Se evaluaron comparativamente los resultados de los análisis recolectados para determinar la calidad del agua en forma física, así como las características químicas orgánicas e inorgánicas. Para ello se utilizó el parámetro DBO_5/DQO indicando el contenido de compuestos orgánicos no degradables para establecer el grado de contaminación de las aguas. Esta comparación muestra que el agua residual se encuentra en una clasificación denotada como medianamente contaminada con un valor de 0.486 unidades.

Con base a los resultados anteriores se realizó el diseño de un equipo para la remoción de sólidos en suspensión; con el objetivo de reducir el material inorgánico flotante en las aguas residuales provenientes del municipio El Tejar Chimaltenango, teniendo de esta manera un tratamiento preliminar de las aguas residuales, logrando así, obtener la mayor remoción de sólidos en suspensión dentro de las aguas.

El diseño que se presenta está conformado por un sistema de rejas gruesas en forma de cuña con un método de limpieza manual con aberturas de cinco centímetros entre las barras, estas deben ser construidas con acero al carbono de diámetro comercial de tamaño de una pulgada. Un sistema de rejas finas en forma de cuña con una inclinación de treinta grados con respecto a la horizontal, con abertura entre barras de tres centímetros. Estas barras tienen un diámetro comercial de media pulgada y un desarenador de flujo horizontal que permite disminuir la velocidad del fluido a un valor máximo de 0,3 m/s.

Se llegó a la conclusión de que las muestras de agua potable tomadas referente al pozo denominado El zapotillo son potables según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos comparados con las Normas COGUANOR NTG 29001, a pesar de la cercanía con el paso de aguas residuales, es decir, no afecta significativamente en las características físicas y químicas del agua.

OBJETIVOS

General

Diseñar un equipo que permita retirar los sólidos en suspensión para el acondicionamiento de posibles procesos posteriores de tratamiento de aguas residuales apoyado en la caracterización física y química de estas.

Específicos

1. Caracterizar físicamente las aguas residuales que se encuentran en la cuenca del río El zapotillo, del municipio El Tejar.
2. Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente el agua potable que se encuentra en el nacimiento el Zapotillo, del municipio El Tejar.
3. Determinar la comparación de la demanda bioquímica y química de oxígeno en el agua residual.
4. Comparar el agua potable, posiblemente afectada por el agua residual, bajo el criterio de la Norma COGUANOR NTG 29001.
5. Diseñar un equipo de pretratamiento que remueva los sólidos en suspensión de las aguas residuales.
6. Determinar el material necesario que se debe utilizar para la construcción del equipo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, para varias entidades, ha sido importante el cuidado ambiental y la conservación de los recursos naturales, sobre todo del agua debido a la importancia que tiene en la vida, realizando procesos que logren el tratamiento y mejora de la calidad del líquido vital.

La primera etapa para realizar una planta de tratamiento o pretratamiento es analizar, caracterizar y comparar el valor que estas tienen con los valores que muestran las leyes del país. Esto logra determinar el tipo de equipo que se debe diseñar y permite de esta manera, tener únicamente los equipos necesarios sin sobredimensionarlos, evitando así realizar procesos innecesarios para limpiar las aguas residuales.

La caracterización de las aguas residuales se basa en determinar el contenido de elementos contaminantes en el recurso hídrico, para luego interpretar los resultados y definir los procesos que se necesiten según sean los elementos que este contengan, logrando delimitar el uso de maquinaria o elementos bióticos que puedan mejorar la calidad del agua residual.

El papel tratamiento preliminar de las aguas residuales ocurre a través de una secuencia de unidades encargadas de modificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual. El proceso debe ser capaz de trabajar en condiciones de cargas hidráulicas y eliminar todos los sólidos flotantes de una forma correcta en un intervalo de tiempo adecuado.

Dentro de la descripción de equipos se tiene una variedad de operaciones físicas y mecánicas para la remoción de sólidos dentro de una estación depuradora de aguas residuales. Para efectos de proceso es necesario determinar el tipo de operación unitaria que permita eliminar la posible llegada imprevista de grandes objetos, así como arena que podrían provocar acumulación de los sólidos inorgánicos y provocar obstrucciones de paso.

Al diseñar una planta de tratamiento de aguas debe de tenerse en cuenta que la primer operación que se llevará a cabo es la eliminación de todos aquellos cuerpos grandes que son arrastrados por el agua residual o de alguna otra manera. Generalmente, el tamizado es la primera operación unitaria que se tiene en una planta de tratamiento. La esencia de un tamiz es el sistema de barras o rejillas paralelas ubicadas en un lugar donde permite que sólidos de tamaños específicos pasen después de este punto.

Consiste en una secuencia de operaciones, fundamentalmente de tipo físico y mecánico donde se procede a retirar los materiales flotantes o pesados, acondicionando el agua residual evitando así problemas de mantenimiento y/o funcionamiento de los demás procesos, previendo erosiones y taponamientos al separar los desechos de mayor tamaño. El objetivo de este proceso es retirar de las aguas materiales inorgánicos como: papel, arena, plástico y demás sólidos que permitan disminuir la eficiencia del tratamiento.

Teniendo en cuenta que dentro de las aguas residuales se tiene una gran cantidad de sólidos inorgánicos en suspensión, se diseñó un equipo para la extracción de estos sólidos en las aguas, que consiste en un juego de rejillas gruesas y finas seguido de un desarenador, con el fin de evitar que procesos posteriores se vean afectados debido a la presencia de sólidos grandes.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad, debido al Acuerdo Gubernativo 236-2006 emitido por el Estado de Guatemala sobre el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual indica que las municipalidades y habitantes en general deben de propiciar el desarrollo social del país, tomando en cuenta el impacto ambiental y mantener el equilibrio ecológico para el aprovechamiento de los recursos no renovables del país, evitando así su depredación y contaminación.

La comunidad El Tejar vierte sus aguas residuales cercanas a puntos vitales donde la comunidad se abastece de agua potable, siendo este un posible factor que influye en el abastecimiento del vital líquido. No existen registros que permitan tomar decisiones para resolver la problemática que se tiene con el recurso hídrico.

En los últimos años se han realizado trabajos de graduación referentes al tema de mejoramiento y cuidado del medio ambiente, de esto se tienen estudios de caracterización, control y diseño de equipos en procesos sobre las aguas residuales.

Se realizó el estudio de tesis en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos con el título *Análisis y propuesta de mejoras en la descarga de aguas residuales, en una industria farmacéutica de medicamentos de venta libre*, realizado por Jackeline Estela Quiñónez Aceituno, asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias. Este trabajo se basó en el Acuerdo Gubernativo 236–2006.

Erick Martin Cambranes, *Instalación y control de una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*, asesorado por el Ing. Byron Roberto Valdez Azmitia. Determinó que es posible lograr el objetivo de la calidad de los efluentes según los requerimientos que plantea la ley en el Decreto 236-2006 dentro de la primera etapa.

Margaret Haydeé Soto Velásquez, *Diseño del proceso e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial*, asesorado por la Inga. Olga Elisa Conteras Solórzano de Molina. Concluyendo que los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de la planta de producción que analizó, sobrepasaron los límites máximos posibles como el DBO, DQO, sólidos disueltos, sólidos en suspensión y pH.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de agua residual

Es toda agua proveniente de un proceso realizado por el ser humano, el cual, por razones de salud, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes. Debido a las características de estas aguas, no tiene algún valor o uso y por lo tanto, se convierte en un residuo o desecho, conteniendo sustancias adheridas a la misma, siendo estas de origen natural o artificial, que pueden ser potencialmente dañinas para el hombre, los animales y el medio ambiente.

2.1.1. Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales pueden clasificarse según su origen en:

- Domésticas: procedentes de viviendas y edificios públicos.
- Comerciales: originadas en locales comerciales, mataderos, pequeñas industrias y otras instalaciones públicas, que generalmente están conectadas a un sistema de alcantarillado común.
- Industriales: derivadas de cualquier tipo de industria.
- Agrícolas: causadas por la cría del ganado, productos animales y vegetales y el procesamiento que estos conllevan.
- Pluviales: provenientes de precipitación tales como: lluvias, nieves y granizo.

2.2. Características de las aguas residuales

Consisten básicamente en: aguas, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados desde los puntos de vista: químico, fisicoquímico, hidráulico, epidemiológicos y en muchos más.

2.2.1. Características físicas del agua residual

Las principales son: su contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, olor, temperatura, densidad y conductividad. Tienen la particularidad de ser fácilmente detectables por el ser humano, puesto que, por medio de sus sentidos puede hacerse una idea de la magnitud de las mismas.

2.2.1.1. Sólidos

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que van desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos, generalmente antes de analizar sólidos en la muestra.

2.2.1.1.1. Sólidos totales

Son los que pueden ser retenidos sobre un filtro con un tamaño específico de poro. Representan el total de sólidos presentes en una muestra, es un parámetro de comparación con los sólidos sedimentados y sólidos en suspensión. El análisis se realiza por evaporación y secado de 103 a 105 °C.

2.2.1.1.2. Sólidos en suspensión

Pueden retenerse dentro de un filtro con un tamaño de poro específico, estos son tomados, comúnmente como una medida de desempeño de las unidades de tratamiento y propósito de control.

2.2.1.1.3. Sólidos sedimentados

Debido a su peso y tamaño pueden sedimentarse, estos tiene un alto contenido de materia orgánica, que pueden removerse por un proceso específico.

2.2.1.2. Turbiedad

Mide las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es un parámetro usado para indicar la cantidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. Esta medición se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en Unidades Nefelométrías de Turbiedad (UNT). Se puede determinar con medidores digitales o por medio de un espectrofotómetro análogo. Para lograr la eliminación de la turbiedad son: coagulación, sedimentación y filtración.

2.2.1.3. Color

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

El color puede ser una forma cuantitativa para estimar la condición general del agua residual, teniendo que si el color es café claro, se tiene un agua residual con un tiempo de descarga aproximado de 6 horas. Un color gris claro es característico de aguas residuales que han sufrido un grado de descomposición. Si el color es gris oscuro o negro, se trata de aguas sépticas que contienen una fuerte descomposición de bacterias bajo condiciones anaerobias.

2.2.1.4. Olor

La importancia del olor de las aguas residuales radica en que el olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, mientras que cuando se produce una degradación biológica se libera una cantidad de compuestos malolientes. El sulfuro de hidrógeno es el principal compuesto que produce un olor indeseable.

2.2.1.5. Temperatura

Generalmente, la temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable debido a la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura del agua residual es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura.

La temperatura del agua tiene una relación directa con las reacciones químicas, la velocidad de reacción, la vida acuática y adecuación del agua.

2.2.1.6. Densidad

La densidad del agua residual se define como su masa por unidad de volumen y se expresa como kg/m^3 . Esta es una característica física de mucha importancia cuando se establece la formación potencial de corrientes de densidad en unidades de tratamiento. Este parámetro depende de la temperatura y concentración de sólidos totales presentes en las aguas residuales.

2.2.1.7. Conductividad

La conductividad eléctrica del agua es la medida de la capacidad de una solución para concluir la corriente eléctrica; esta es transportada por iones en solución, al aumentar la concentración de iones se provoca un aumento de conductividad. Debido a eso el valor de la conductividad eléctrica es usado como parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales.

2.2.2. Características químicas del agua residual

El estudio de los constituyentes químicos de las aguas residuales es clasificado en orgánicos e inorgánicos. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado, viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

2.2.2.1. Características química inorgánicas

Los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden: nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases; para el presente análisis no se tomarán en cuenta los constituyentes gaseosos.

Entre los nutrientes inorgánicos están: amoníaco libre, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo orgánico, y fósforo inorgánico. El nitrógeno y el fósforo son de gran importancia, ya que han sido identificados como los nutrientes causantes del crecimiento indeseable de plantas acuáticas.

Otras pruebas como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son utilizadas, ya que estas mismas se realizan para estimar la capacidad de reutilizar las aguas residuales y la capacidad de ser solubles, porque estas mismas son estimuladas para el control de diferentes procesos de tratamientos.

2.2.2.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Es un parámetro para la concentración del ion hidrógeno, este se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. La medición de este valor se realiza en forma instrumental con un pH metro, empleando soluciones o papeles indicadores de color. El valor del pH en el agua residual está relacionado con las reacciones de disociación de las moléculas del agua.

El pH adecuado para la existencia de vida biológica se encuentra entre 5 y 9. Las aguas residuales que contienen un valor de pH fuera de este rango son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos.

2.2.2.1.2. Alcalinidad

Se define como la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos en las aguas residuales, esto se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, siendo los más comunes el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. Normalmente el agua residual es alcalina.

2.2.2.1.3. Cloruros

La determinación de cloruros es un parámetro importante en aguas residuales debido a la relación que se tiene con su reutilización. Las concentraciones de cloruros provienen de la intrusión de aguas salinas y salobres, las descargas residuales domésticas, industriales y agrícolas. Los excrementos humanos contienen un aproximado de 6 gramos de cloruro por persona al día.

2.2.2.1.4. Nitrógeno

Debido a que el nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de organismos biológicos se le conoce como bioestimulante, esto se debe a que es esencial para la síntesis de proteína. Por tal motivo es necesario analizar la concentración de nitratos a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual utilizando procesos biológicos, estos comúnmente varían de 2 a 30 mg/L.

2.2.2.1.5. Fósforo

Es un factor importante en el crecimiento de algas y organismos biológicos. Este dato debe ser analizado debido a que puede provocar un crecimiento nocivo e incontrolable de algas en aguas superficiales.

Las aguas residuales municipales contienen una cantidad de fosforo que varía desde 4 a 12 mg/L.

2.2.2.2. Características químicas orgánicas

Estas logran estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y permite el estudio del comportamiento de las fuentes receptoras. Los métodos de laboratorio utilizados para la medición de la cantidad de materia orgánica se realizan utilizando los siguientes parámetros.

2.2.2.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno

Este es el método utilizado para determinar la cantidad de oxígeno libre necesario para que la materia orgánica presente en el agua se oxide. La DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto requerido que se consume en la estabilización biológica para la oxidación anaeróbica de la materia orgánica biodegradable debido a microorganismos presentes en el agua. Este valor permite prever la cantidad de oxígeno que será necesario para depurar las aguas. El análisis de la muestra se realiza en un periodo de incubación estándar de cinco días a una temperatura de 20 °C, debiendo garantizar que la temperatura se mantenga constante durante toda la incubación.

2.2.2.2.2. Demanda química de oxígeno

Es definido como la cantidad de oxígeno necesario o consumido para lograr la oxidación de todo el contenido de material orgánico del agua. Mide el material orgánico presente dentro de las aguas residuales que son susceptibles de ser oxidadas de una manera química expresados en mg/l. Generalmente es mayor que el DBO debido a que el número de compuestos que se oxidan de forma química es mayor que el que se tiene de forma biológica ante un oxidante fuerte.

Se debe realizar este análisis, ya que el proceso de descomposición de las aguas residuales no se debe únicamente a los procesos bioquímicos, sino que también, a los procesos en los que intervienen químicos y no bacteriológico o de algún otro ser vivo. De esta manera se tiene una característica cuantificable del grado de contaminación del agua debido a las sustancias orgánicas.

2.2.2.2.3. Relación entre DBO₅ y DQO

La comparación DBO₅/DQO en las aguas residuales no tratadas logra una relación de parámetros entre las características de las aguas residuales y los parámetros que se necesitan. Al analizar una relación DBO₅/DQO en la cual se indica un valor mayor que 0,5 se tendrá que los residuos se consideran fácilmente tratables utilizando procesos biológicos. Si se tiene una relación menor que 0,3 se tiene un residuo que puede contener constituyentes tóxicos o requerirá de una especie de microorganismos aclimatados.

2.2.2.2.4. Grasas y aceites

La expresión grasas y aceites es utilizada para hacer referencia a todas aquellas grasas animales y vegetales, aceites, ceras y otros constituyentes encontrados en las aguas residuales. Estos elementos son altamente estables y se descomponen únicamente cuando interactúan con ácidos o álcalis.

Debido a las propiedades de las grasas y aceites estas pueden causar problemas dentro de los tanques sépticos en sistemas de tratamiento de las aguas residuales, debiendo remover de una manera periódica la nata que se forma dentro de los tanques. La no remoción de grasas y aceites en los procesos de pretratamiento se acumularán en los procesos posteriores interfiriendo con la vida biológica de la superficie.

2.2.2.2.5. Tensoactivos

También llamados agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo hidrofóbico y un grupo hidrofílico que se encuentra de una manera frecuente en las aguas residuales debido a que son de uso extendido en actividades domésticas como el uso de detergentes e industriales. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aire-agua y debido a su estructura química tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial del agua provocando espuma.

La determinación de tensoactivos se realiza por un análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno.

2.2.3. Características biológicas

Las propiedades y características biológicas del agua son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos y es una medida de salubridad.

Debido a ello se debe de realizar un análisis microbiológico, ya que el agua es el medio de desarrollo de varios microorganismos, tales como: bacterias, hongos, protozoos y virus.

2.3. Consideraciones para la elección y diseño de procesos

Se debe de seleccionar la combinación más apropiada de procesos a fin de transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables, tomando en cuenta los diferentes aspectos involucrados en la elección del proceso.

2.3.1. Elección de los métodos de tratamiento

Este tipo de elección depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción del mismo. Tomando en cuenta esto se debe de clasificar cada uno de los métodos de tratamiento, los niveles de tratamiento, la aplicación de estos métodos y las consideraciones de diseño necesarias para la implementación de un proyecto.

2.3.1.1. Clasificación de los niveles de tratamiento

Los constituyentes presentes en las aguas residuales se remueven por mecanismos de tipo físico, químico y biológico. Los métodos se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como operaciones físicas unitarias tales como: la floculación, sedimentación, flotación, filtración, tamizado, mezcla y transferencia de gases. Los métodos de tratamiento en donde la remoción o transformación de contaminantes se produce por adición de insumos químicos o por reacciones químicas se conocen como procesos químicos unitarios. Los procesos de precipitación, adsorción y desinfección se catalogan como estos.

2.3.1.2. Niveles de tratamiento

Se debe establecer en forma racional los niveles de remoción de contaminantes requeridos en el tratamiento antes que el agua residual tratada pueda ser reutilizada o vertida al medio ambiente. Estos niveles pueden ser clasificados como:

- Preliminar: remoción de constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento con los procesos y operaciones de tratamiento y sistemas auxiliares.
- Primario: remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendidos presentes en el agua residual.
- Primario avanzado: remoción intensiva de sólidos suspendidos y materia orgánica presentes en el agua residual, en general llevada a cabo mediante la adición de insumos químicos o filtración.
- Secundario: remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. La desinfección, también se incluye dentro del concepto de tratamiento secundario convencional.
- Secundario con remoción: remoción de compuestos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes.
- Terciario: remoción de sólidos suspendidos residuales por filtración en medio granular. La desinfección hace siempre parte del tratamiento terciario.
- Avanzado: remoción de materiales disueltos o en suspensión que permanecen después del tratamiento biológico convencional. Se aplica en casos donde se requiere reutilizar el agua tratada.

En la tabla I se describen las clases de tratamiento que se tienen a las aguas residuales y ejemplos comunes sobre el tipo de proceso que se realiza.

Tabla I. **Clase de tratamiento para aguas residuales**

Clase de tratamiento	Ejemplos
Recolección de aguas residuales	Alcantarillado a presión sin bombas trituradoras Alcantarillado a presión con bomba trituradora Alcantarillado de diámetro pequeño y pendiente variable Alcantarillados al vacío
Preliminar	Tamiz grueso Tamiz fino Remoción de arenas, grasas y aceites
Primario	Tanques sépticos Tanques Imhof Filtros de disco rotatorio
Primario avanzado	Tanque séptico con cámara de filtración para efluentes Tanque séptico con reactor de película bacterial adherida Elemento reactor
Secundario	Unidades de tratamiento biológico aeróbico Unidades aeróbicas/anaeróbicas Filtro de arena de flujo intermitente Filtro de grava con recirculación Filtro de turba Lagunas Humedales artificiales Tratamiento acuático
Avanzado	Tratamiento en el suelo Filtros de lecho empacado, intermitentes y con recirculación Filtración rápida Humedales artificiales Desinfección con cloro, radiación UV Repurificación Sistemas de tratamiento con reutilización
Almacenamiento	Tanques de almacenamiento Tanques enterrados

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.

Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 6.

2.3.1.3. Aplicación de las operaciones y procesos unitarios

Las operaciones y procesos empleados para el tratamiento de constituyentes importantes en aguas residuales se trabaja según el tamaño del sistema.

Tabla II. **Aplicación de las operaciones y procesos unitarios en sistemas pequeños**

Constituyentes	Sistemas pequeños
Sólidos suspendidos	Sedimentación/flotación, cámara de filtración para efluentes de filtros de lecho empacado intermitentes y con recirculación. Procesos naturales
Compuestos orgánicos biodegradables	Proceso de lodo activado con aireación extendida y variables Filtros de lecho empacado intermitentes y con recirculación Procesos en lagunas de estabilización Procesos naturales
Compuestos orgánicos volátiles	Procesos naturales
Patógenos	Cloración Hipocloración Radiación UV Procesos naturales
Nitrógeno	Nitrificación/denitrificación Procesos naturales
Fosfato	Remoción biológica de fosfatos Procesos naturales
Materia orgánica refractaria	Procesos naturales
Metales pesados	Precipitación química/Procesos naturales
Sólidos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.

Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 222.

Tabla III. **Aplicación de las operaciones y procesos unitarios en sistemas grandes**

Constituyentes	Operaciones unitarias o procesos unitarios
Sólidos suspendidos	Tamizado y dilaceración Remoción de arenas Sedimentación Filtración Flotación Adición de polímeros químicos Coagulantes/sedimentación Procesos naturales
Compuestos orgánicos biodegradables	Variación de procesos de lodo activado Reactor de película adherida Lagunas y sus variantes Sistemas físico-químicos Procesos naturales
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire Tratamiento de gases Adsorción por carbón activado
Patógenos	Cloración y/o hipocloración Cloruro de bromo Ozonación Procesos naturales
Nitrógeno	Nitrificación/denitrificación Arrastre de amoniaco Intercambio iónico
Fosfato	Adición de sales metálicas Coagulación con cal/sedimentación Remoción biológica/bioquímica de fósforo Sistemas naturales
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbono Ozonación terciaria Procesos naturales
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Procesos naturales
Sólidos disueltos	Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodiálisis

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.

Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 223.

2.3.1.4. Factores importantes en la elección del proceso

Los factores importantes que se deben tomar en cuenta para la elección, análisis de las operaciones y procesos para el tratamiento de las aguas residuales son:

- Aplicabilidad del proceso
- Caudal de operación
- Variación de caudal
- Características del agua residual cruda
- Constituyentes inertes e inhibidores
- Condiciones climáticas
- Cinética de reacción y elección del reactor
- Desempeño
- Residuos del tratamiento
- Procesamiento de lodos
- Restricciones ambientales
- Condiciones químicas
- Condiciones energéticas
- Recursos adicionales
- Condiciones de personal
- Condiciones de operaciones y mantenimiento
- Procesos auxiliares
- Nivel de confianza
- Complejidad
- Compatibilidad
- Disponibilidad del terreno

2.3.2. Consideraciones para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual

Deben de considerarse los siguientes pasos involucrados en el proceso de análisis y diseño de plantas de tratamiento grandes o pequeñas, para lograr una buena aplicación:

- Estudios de caracterización y conducción de caudal de las aguas residuales a tratar.
- Elección preliminar del proceso.
- Realizar estudios a nivel laboratorio y planta piloto.
- Elaboración de alternativas de diagramas de flujo de tratamiento.
- Definición de los criterios de diseño.
- Distribución física de los elementos de la planta de tratamiento.
- Preparación de perfiles hidráulicos.
- Elaboración del balance de sólidos.
- Realización de planos de construcción.
- Estimación de costos de ingeniería.

2.4. Tratamiento preliminar de aguas residuales

La primera operación que se lleva a cabo en cualquier planta de tratamiento de agua residual, independientemente de su destino final, es la eliminación de todos aquellos cuerpos de gran tamaño que son arrastrados por el agua residual.

Consiste en una secuencia de operaciones, fundamentalmente de tipo físico y mecánico donde se procede a retirar los materiales flotantes o pesados, acondicionando el agua residual, evitando así problemas de mantenimiento y/o funcionamiento de los demás procesos, impidiendo erosiones y taponamientos al

separar los desechos de mayor tamaño. El objetivo de este proceso es retirar de las aguas materiales inorgánicos como: papel, arena, plástico y demás sólidos que permitan disminuir la eficiencia del tratamiento.

2.4.1. Tratamiento de los sólidos en suspensión

El origen y la composición de sólidos en suspensión de las aguas residuales determinan el nivel de complejidad de los procesos de tratamiento y el tipo de alternativa de cada proceso de tratamiento individual.

El proceso seleccionado, igualmente, debe tener flexibilidad suficiente para trabajar en un intervalo determinado de condiciones hidráulicas y de cargas de sólidos. Finalmente, la eliminación de los sólidos flotantes, el correcto manejo y vertido de los fangos mejora la estética de la instalación de tratamiento. Los sólidos en suspensión que requieren de recolección y eliminación son:

2.4.1.1. Sólidos inorgánicos

Estos son aportados debido a la fuente de agua residual, así como el resto de sólidos que inevitablemente llegan a las redes de alcantarillado tanto municipal como industrial.

2.4.1.2. Sólidos orgánicos

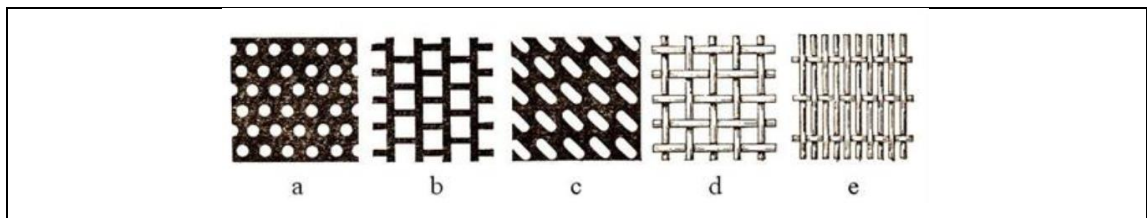
Son los que contienen elevada proporción de componentes orgánicos proveniente de la fuente primaria del agua residual, debido a la naturaleza de este.

2.4.2. Tamizado

Es por lo general, la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento de aguas residuales, siendo este un método de separación de partículas basado en el tamaño de las mismas.

Los tamices son equipos utilizados para la eliminación de sólidos en suspensión de gran tamaño. En estos equipos el agua pasa a través de una placa perforada con un paso de luz, siendo el sistema de rejas, mayas trenzadas o perforaciones efectuadas sobre una plancha lo que determina la capacidad de retención de los sólidos. Este tipo de rejas se denota en la figura 1.

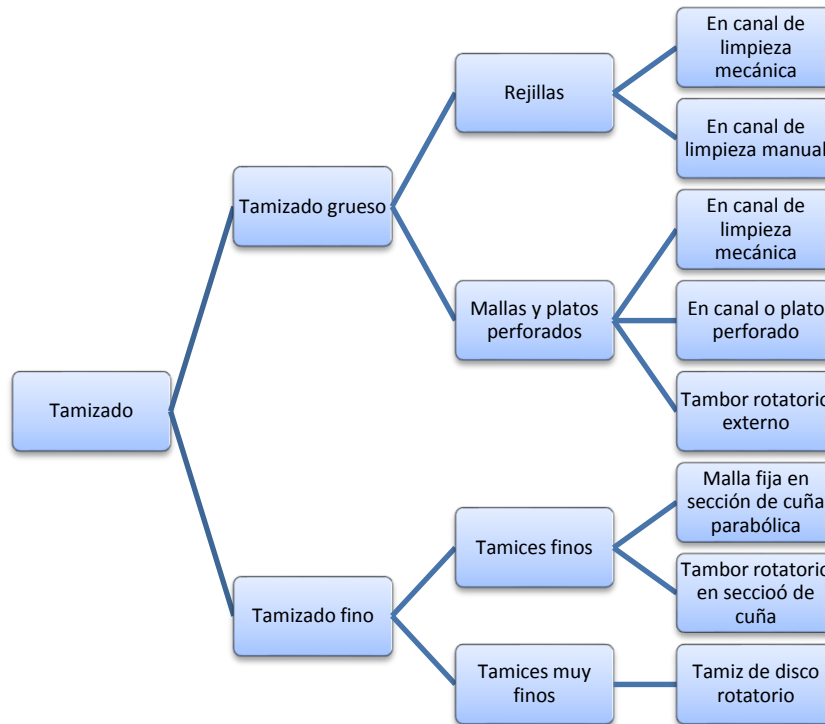
Figura 1. Tipos de rejas



Fuente: FUENTES SANTOS, Alejandro. *Diseño y cálculo de la obra de llegada y pretratamiento de una EDARU*. p. 46.

Los tamices se dividen en estáticos, rotativos y automáticos; la superficie de estos suele recubrirse de grasas durante su funcionamiento, debido a ello es necesaria su limpieza periódica, utilizando medios mecánicos o agua caliente a presión para eliminar cualquier residuo de grasas.

Figura 2. **Clases de tamiz utilizados en aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Word 2010, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. p. 244.

2.4.2.1. Tamizado grueso

En este tipo de operación unitaria se emplean equipos para interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda; estos equipos constan, en esencia, de barras o varillas paralelas, o alambres de tamaño uniforme. El tamiz compuesto de barras o varillas paralelas se llama rejilla o tamiz de barras. Los materiales sólidos removidos por estos equipos se conocen como residuos del tamizado.

2.4.2.1.1. Rejillas

Son equipos que constan de barras gruesas de un material resistente a la corrosión, que provocan las aguas residuales, ubicadas en la entrada de la planta de tratamiento para eliminar los sólidos gruesos estableciendo así, un espacio entre las rejillas según el tamaño de los elementos a remover, teniendo estos una limpieza mecánica o manual.

El sistema de rejillas permite realizar un desbaste, el cual es uno de los tratamientos más antiguos que se han realizado en las aguas residuales. Estas se pueden clasificar según su abertura libre entre cada barra como finas, medias y gruesas.

Tabla IV. Tipos de rejillas y aberturas

Tipo de rejillas	Abertura entre barras (centímetros)
Fina	Menor a 1,5
Media	Entre 1,5 y 5,0
Gruesa	Mayor a 5,0

Fuente: elaboración propia, con aportes de FUENTES SANTOS, Alejandro. *Diseño y cálculo de la obra de llegada y pretratamiento de una EDARU*. p. 245.

Existen procesos donde se coloca más de un sistema de rejillas denominadas en serie, las cuales deben de tener la siguiente secuencia: gruesas, medias y finas; de esta forma se evita que los sólidos retenidos en un sistema de rejillas pasen al siguiente, aumentando con ello la pérdida de carga en el mismo o la necesidad de limpiar con mayor periodicidad las rejillas.

Los criterios de diseño incluyen el tamaño de las barras, espaciado, inclinación, anchura del canal, velocidades de aproximación y de paso, tratando de evitar la deposición de residuos y arenas. En lugares donde se trabajen con

aguas superficiales o durante tormentas se deben utilizar rejas previas de aberturas entre 100 a 300 milímetros, debido a que puede haber sólidos de gran tamaño como tablones, envases, entre otros, clasificándose en horizontales, verticales y curvas.

2.4.2.1.2. Platos perforados

Tienen una abertura entre 0,125 a 0,375 pulgadas. Se diseñan para operar en línea dentro del canal transportador del agua residual o como unidad externa. Los tamices de platos perforados y de tambor rotatorio son ejemplos de tamices externos.

2.4.2.2. Tamizado fino

Esta operación se realiza con un equipo que posee orificios que van desde 0,010 a 0,125 pulgadas, siendo el tamiz de malla inclinada en forma de cuña, el tamiz de tambor rotatorio y el tamiz de disco rotatorio son los recomendados para estos procesos.

La característica de cada uno de estos equipos se basa en su forma o tamaño de orificio, esto se muestra a continuación como:

- Tamiz de malla inclinada en forma de cuña: es uno de los tamices más utilizados en el tratamiento preliminar de aguas residuales junto con su autolimpieza. Estos tienen orificios que van desde 0,01 a 0,125 pulgadas.
- Tamiz de tambor rotatorio: generalmente trabaja con orificios que varían de 0,01 a 0,125 pulgadas.
- Tamiz de disco rotatorio: contiene orificios de 0,25 milímetros, se utiliza como reemplazo de tanques de sedimentación primaria.

2.4.3. Desarenadores

Estos son utilizados para la protección de equipos mecánicos, evitando de esta manera, la formación o depósitos en las tuberías o canales. Los desarenadores se ubican después del tamizado y antes de los tanques de sedimentación. Siendo los más importantes los siguientes:

- De flujo horizontal de tipo canal
- Rectangulares de flujo horizontal
- Cuadrados de flujo horizontal
- Aireados
- De vórtice

2.5. Consideraciones de diseño

Se debe planear cada equipo en forma individual para determinar los factores básicos que permitan tomar un criterio de consideración para los equipos a diseñar.

2.5.1. Determinación del material para la construcción de equipos según el tipo de tamizado

Se tiene una descripción del material común para la fabricación de los equipos según el tipo de tamizado, así como la forma de limpieza de estos, para lograr que tengan un mayor tiempo de vida.

Tabla V. **Tipo de materiales para la construcción de equipos según su clasificación**

Clasificación de equipo	Tipo de tamizado	Material
Rejas con limpieza manual	Grueso	Barrotes
Rejas con limpieza mecánica	Grueso	Barrotes
Rejillas finas limpieza mecánica	Fino – grueso	Barrotes delgados
Rejillas finas limpieza manual	Fino – grueso	Barrotes delgados
Plato perforado limpieza mecánica	Fino – grueso	Plato perforado
Tambor rotatorio limpieza mecánica	Fino – grueso	Malla de cuña en acero inoxidable
Tamiz parabólico fino limpieza mecánica	Fino	Malla de cuña en acero inoxidable
Tamiz tambor rotatorio limpieza mecánica	Fino	Malla de cuña en acero inoxidable
Tamiz disco rotatorio limpieza mecánica	Muy fino	Tela de acero inoxidable

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.

Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 245.

2.5.2. Sistema de rejillas gruesas

Se plantea en la tabla VI las consideraciones básicas para el diseño convencional de rejillas de limpieza manual o mecánica. Se debe tomar en cuenta la determinación de las pérdidas de carga producidas con el paso del agua a través de las unidades, las pérdidas hidráulicas y la velocidad de flujo a través de los barrotes.

Tabla VI. **Parámetros para diseñar sistemas de rejas gruesas según el tipo de limpieza**

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Ancho de la barra	Pulgadas	0,2-0,6	0,2-0,6
Profundidad	Pulgadas	1,0-1,5	1,0-1,5
Espaciamiento entre barras	Pulgadas	1,0-2,0	0,6-3,0
Inclinación con la vertical	Grados	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	Pie/s	1,0-2,0	2,0-3,25
Pérdidas admisibles	Pulgadas	6	6

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.
Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 249.

2.5.3. Consideración de diseño para un desarenador

La base de un desarenador es la remoción de partículas con gravedad específica de 2,65 y una temperatura del agua residual de 15,5 °C. La tabla VII muestra datos usuales para el diseño de desarenadores de flujo horizontal.

Tabla VII. **Consideraciones de diseño para un desarenador**

Parámetro	Unidad	Valor de intervalo	Valor usual
Tiempo de reacción	S	45-90	60
Velocidad horizontal	Pie/s	0,8-1,3	1,0
Velocidad de sedimentación para remover material malla 50	Pie/minuto	9,2-10,2	9,6
Velocidad de sedimentación para remover material malla 100	Pie/minuto	2,0-3,0	2,5
Pérdida de carga en la sección de control como porcentaje de la profundidad del canal	%	30-40	36
Longitud adicional por el aumento en turbulencia a la entrada o salida	%	25-50	30

Fuente: elaboración propia, con aportes de CRITES, Ron; TCHOBANGLIOUS, George.

Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. p. 292.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Dentro de los parámetros de la investigación las variables dependientes corresponden a la caracterización, y las variables independientes son los contaminantes, así como el tipo de materiales y formas del equipo a trabajar.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El diseño del equipo que se trabajó se delimita a la remoción de sólidos en suspensión, el tipo de material que se necesita, la forma del mismo y la cantidad de sólidos que se pretende extraer en un tiempo determinado para analizar el tamaño de dicho equipo para las aguas residuales ubicadas en el Zapotillo del municipio de El Tejar.

3.3. Recursos disponibles

Los recursos con los que se contaron para realizar esta investigación se dividieron en 2 partes: humano, que fue el encargado de realizar la investigación, y la infraestructura donde se realizó la investigación.

3.3.1. Recurso humano

Para el desarrollo de la parte experimental de esta investigación, se contó con el siguiente recurso humano.

- Asesor de la investigación: ingeniero César Ariel Villela Rodas
- Investigador: Héctor Estuardo Chiroy Morales

3.3.2. Infraestructura

La parte experimental referente a la caracterización de las aguas de la investigación se realizó en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Técnica cualitativa y cuantitativa

Esta investigación utilizó análisis cuantitativos, ya que se realizaron mediciones exactas. Únicamente la medición de material flotante es una técnica cualitativa.

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Las variables fueron recolectadas y documentadas en la etapa de caracterización de la materia prima. A continuación se detalla la forma en la que se tomó cada una de las muestras.

3.5.1. Método para la recolección de las aguas residuales

Las aguas residuales se tomaron de la cuenca El Zapotillo, ubicada en el municipio El Tejar. Las muestras fueron almacenadas en recipientes esterilizados proporcionados por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini Molina de la siguiente forma:

- Sumergir el recipiente dentro de las aguas a caracterizar.
- Agitar el recipiente tratando de que todas las paredes del mismo tengan contacto con el agua residual a caracterizar.
- Se deben realizar los dos puntos anteriores, por lo menos dos veces más.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Cerrar el recipiente de forma que el agua residual no salga del mismo.
- Lavar el recipiente por fuera para que no contamine ningún elemento que tenga contacto con el mismo.
- Guardar y transportar el recipiente que contiene las aguas residuales.

3.5.2. Método para la recolección de muestras de agua potable previa a análisis físico químico sanitario

Las muestras de agua potable fueron envasadas en recipientes esterilizados proporcionados por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini Molina.

3.5.2.1. Agua potable nacimiento El Zapotillo

La muestra de agua potable fue tomada dentro del pozo que almacena el vital líquido antes de ser transferido para su cloración y distribución dentro del municipio.

- Sumergir el recipiente dentro de las aguas a caracterizar.
- Agitar el recipiente tratando de que todas las paredes del mismo tengan contacto con el agua a caracterizar.
- Realizar los dos puntos anteriores, por lo menos dos veces más.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Cerrar el recipiente de forma que el agua no salga del mismo.
- Guardar y transportar el recipiente que contiene el agua potable.

3.5.2.2. Agua de grifo

La muestra del agua potable fue tomada de un grifo ubicado dentro de una casa cercana del centro de almacenamiento y cloración del vital líquido.

- Limpiar el grifo para evitar contaminantes.
- Abrir el grifo.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Agitar el recipiente tratando de que todas las paredes del mismo tengan contacto con el agua a caracterizar.
- Realizar los dos puntos anteriores, por lo menos dos veces más.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Cerrar el recipiente de forma que el agua no salga del mismo.
- Guardar y transportar el recipiente que contiene el agua potable.

3.5.3. Método para la recolección de la muestra del agua potable previo a análisis bacteriológico

Las muestras de agua potable fueron envasadas en recipientes esterilizados proporcionados por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini Molina.

3.5.3.1. Agua potable nacimiento El Zapotillo

La muestra del agua potable fue tomada dentro del pozo que almacena el vital líquido antes de ser transferido para su cloración y distribución dentro del municipio.

- Sumergir el recipiente dentro de las aguas a caracterizar.
- Agitar el recipiente tratando de que todas las paredes del mismo tengan contacto con el agua a caracterizar.
- Se deben realizar los dos puntos anteriores, por lo menos dos veces más.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Cerrar el recipiente de forma que el agua no salga del mismo.
- Refrigerar la muestra.
- Guardar y transportar el recipiente que contiene el agua potable.

3.5.3.2. Agua de grifo

La muestra del agua potable fue tomada de un grifo ubicado dentro de una casa cercana del centro de almacenamiento y cloración del vital líquido.

- Limpiar el grifo para evitar contaminantes
- Abrir el grifo.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.

- Agitar el recipiente tratando de que todas las paredes del mismo tengan contacto con el agua a caracterizar.
- Se deben realizar los dos puntos anteriores, por lo menos dos veces más.
- Llenar el recipiente con las aguas a caracterizar.
- Cerrar el recipiente de forma que el agua no salga del mismo.
- Refrigerar la muestra
- Guardar y transportar el recipiente que contiene el agua potable.

3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En este apartado se presenta cómo se tabularon, ordenaron y procesaron los datos referentes al caudal y la caracterización física de las aguas residuales del municipio El Tejar.

3.6.1. Ordenamiento de la información

En la fase experimental de esta investigación, las variables recopiladas se ordenaron en tablas de acuerdo a qué tipo de medición correspondían. A continuación se presenta una muestra de las tablas utilizadas para determinar los parámetros de diseño de los equipos.

Se tomaron 5 muestras diferentes para el análisis de las aguas residuales en diferentes periodos de tiempo, para determinar si existe variación en la composición de los elementos contaminantes en el agua.

Tabla VIII. **Olor**

Muestra	
1	Séptico
2	Ligera materia orgánica
3	Ligera materia orgánica
4	Ligera materia orgánica
5	Ligera materia orgánica

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Color**

Muestra	Unidades
1	57,00
2	242,00
3	172,00
4	491,00
5	513,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Sólidos suspendidos**

Muestra	mg/L
1	116,00
2	155,00
3	125,00
4	120,00
5	70,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Sólidos sedimentables**

Muestra	Cm ³ /litro en 1 hora
1	01,00
2	00,01
3	01,00
4	0,02
5	0,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

Muestra	mg/L
1	63,60
2	200,00
3	200,00
4	155,00
5	162,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Muestra	mg/l
1	229,00
2	335,00
3	336,00
4	321,00
5	340,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Fosfatos**

Muestra	mg/L
1	12,80
2	29,00
3	12,80
4	04,60
5	25,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Nitratos**

Muestra	mg/L
1	115,10
2	228,80
3	220,00
4	228,80
5	149,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Potencial de hidrógeno (pH)**

Muestra	Unidades
1	07,01
2	07,04
3	07,01
4	07,08
5	07,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Temperatura**

Muestra	°C
1	24,50
2	24,00
3	25,00
4	24,00
5	24,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Velocidad de aproximación**

Muestra	m/s
1	0,659
2	0,632
3	0,610
4	0,679
5	0,638

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Caudal**

Muestra	m ³ /s
1	0,0646
2	0,0619
3	0,0598
4	0,0666
5	0,0626

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Procesamiento de la información

Los resultados obtenidos en el análisis físico de las aguas residuales, se reportaron en tablas y gráficas para el análisis y comparación de los resultados, determinando a su vez los valores estadísticos y su interpretación.

3.6.2.1. Determinación del caudal

El caudal de un fluido se define al tener la velocidad lineal de este dentro de un área determinada. Teniendo de esa manera que el caudal de las aguas residuales es directamente proporcional a la velocidad y el área de paso.

Las aguas residuales pasan por una tubería de diámetro conocido. Se mide el valor de la velocidad, para luego calcular el caudal utilizando la siguiente fórmula.

$$\dot{Q}=v * A$$

[Ecuación No. 1]

Donde:

\dot{Q} =caudal (m³/s)

v = velocidad lineal del fluido (m/s)

A =área de paso (m²)

Para el cálculo del área por el cual pasa una lámina de las aguas residuales se utiliza el valor de medio círculo, ya que las aguas residuales pasan por una tubería en forma de cilindro.

Para el cálculo de la velocidad se tiene el valor de medición del cilindro, para luego anotar el tiempo por el cual pasa una lámina de flujo de aguas residuales.

3.6.2.2. Determinación del diseño de rejas gruesas

Dentro de los parámetros de diseño de rejas gruesas se debe contemplar el valor de las pérdidas hidráulicas a través de las rejillas en función de la velocidad de aproximación del fluido y la velocidad de flujo a través de las barras o barros. Esto se puede calcular utilizando la fórmula descrita como:

$$h_L = \frac{1}{0,7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

[Ecuación No. 2]

Donde:

h_L = pérdida de carga (metros).

0,7= coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos.

V = velocidad del flujo a través del espacio entre barras (m/s).

v = velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s).

g = aceleración de la gravedad (m/s).

3.6.2.3. Determinación del diseño de rejas finas

Dentro de los parámetros de diseño de rejas gruesas se debe contemplar el valor de las pérdidas hidráulicas a través de las rejillas en función de la velocidad de aproximación del fluido y la velocidad de flujo a través de las barras o barros. Esto se puede calcular utilizando la fórmula descrita como:

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

[Ecuación No. 3]

Donde:

h_L = pérdida de carga (metros)

0.7= coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia

V = velocidad del flujo a través del espacio entre barras (m/s)

v = velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s).

3.7. Análisis estadístico

El cálculo estadístico utilizado en esta investigación, consiste en determinar la media aritmética y la desviación estándar de cada elemento analizado en la caracterización de las aguas residuales para realizar un análisis de variabilidad en los análisis físicos y determinaciones químicas, para determinar si existe variación de los contaminantes en el tiempo.

3.7.1. Media aritmética

Para cada experimento se determinó el promedio o la media de los cinco datos pertenecientes a cada análisis, para comparar los valores entre ellos y encontrar el valor medio, determinando así los parámetros de diseño del equipo.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

[Ecuación No. 4]

Donde:

\bar{X} = media aritmética

x_i = valor de cada corrida

N= número de corridas por tratamiento

3.7.2. Análisis de variabilidad

Se empleó un análisis estadístico de variabilidad para medir qué tan dispersos están los resultados alrededor del punto central. De esta forma se cuantificó la desviación de la caracterización física de las aguas residuales alrededor de su media. Las estadísticas más importantes para medir la variabilidad de una muestra aleatoria son: la varianza y la desviación estándar.

3.7.2.1. Varianza

Debido a que el rango no considera los valores intermedios de los datos, se debe de calcular la varianza la cual considera la posición de cada observación en relación con la media de la muestra, proporcionando de esta manera una media más significativa sobre el punto hasta el cual se dispersan las observaciones alrededor de su media. Definiendo así la varianza como:

Si X_1, X_2, \dots, X_n representa una muestra aleatoria de tamaño n , entonces la varianza de la muestra se define como la estadística.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

[Ecuación No. 5]

Donde:

n = número de datos

X_i = cada valor

X = media aritmética de los valores

S^2 = varianza de la muestra

3.7.2.2. Desviación estándar

La desviación estándar para una muestra representa medidas de dispersión alrededor de la media. Se denota con S y es la raíz cuadrada positiva de la varianza de la muestra.

4. RESULTADOS

4.1. Características físicas y determinaciones químicas de las aguas residuales

En este apartado se muestran las características principales de las aguas residuales encontradas dentro de la cuenca El Zapotillo del municipio El Tejar.

Tabla XX. Caracterización física de las aguas residuales

Parámetro	Valor
Olor	Ligera materia orgánica
Color	295,00 unidades
Temperatura	26 °C
Densidad	1.002 Kg/m ³
Sólidos suspendidos	117,00 mg/L
Sólidos sedimentables	0,416 cm ³ /litro en 1 hora

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Determinaciones químicas de las aguas residuales

Componente	Valor
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	156,12 mg/L
Demanda química de oxígeno (DQO)	312,20 mg/L
Fosfatos	16,88 mg/L
Nitratos	188,46 mg/L
pH	7.05 Unidades

Fuente: elaboración propia.

4.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua potable

En este apartado se muestran los valores que se tienen al analizar una muestra del agua que sale del primer grifo, la cual se encuentra después de la planta de cloración del agua potable, que está cerca de las aguas residuales de la cuenca El Zapotillo. Para ello se realizó un análisis químico sanitario y un análisis bacteriológico.

Tabla XXII. Examen bacteriológico agua de grifo El Tejar

Parámetro	Aspecto
Sustancias en suspensión	No hay
Aspecto	Clara
Olor	Inodora
Número más probable de gérmenes coliformes totales en 100 cm ³	< 2
Número más probable de gérmenes coliformes fecales en 100 cm ³	<2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Análisis fisicoquímico sanitario agua de grifo El Tejar

No.	Parámetro		
1.	Aspecto	Clara	
2.	Color	01,00	Unidades
3.	Turbiedad	00,54	UNT
4.	Olor	Inodora	
5.	Sabor	-----	
6.	Potencial de hidrógeno	06,78	Unidades
7.	Temperatura	25	°C
8.	Conductividad eléctrica	280,00	µmhos/cm
9.	Amoniaco (NH ₃)	00,02	mg/L
10.	Nitritos	00,00	mg/L
11.	Nitratos (NO ³⁻)	26,40	mg/L
12.	Cloro residual	--	mg/L
13.	Manganeso (Mn)	00,006	mg/L
14.	Cloruros (Cl ⁻)	07,50	mg/L
15.	Fluoruros (F ⁻)	00,23	mg/L
16.	Sulfatos (SO ⁻² ₄)	06,00	mg/L
17.	Hierro total (Fe)	00,01	mg/L
18.	Dureza total	120,00	mg/L
19.	Sólidos totales	166,00	mg/L
20.	Sólidos volátiles	06,00	mg/L
21.	Sólidos fijos	160,00	mg/L
22.	Sólidos en suspensión	01,00	mg/L
23.	Sólidos disueltos	148,00	mg/L
24.	Hidróxidos	00,00	mg/L
25.	Carbonatos	00,00	mg/L
26.	Bicarbonatos	114,00	mg/L
27.	Alcalinidad total	114,00	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Análisis fisicoquímico sanitario nacimiento El Zapotillo, El Tejar**

No.	Parámetro		
1.	Aspecto	Clara	
2.	Color	01,00	Unidades
3.	Turbiedad	00,43	UNT
4.	Olor	Inodora	Inodora
5.	Sabor	----	
6.	Potencial de hidrógeno	06,50	Unidades
7.	Temperatura	24	°C
8.	Conductividad eléctrica	282,00	µmhos/cm
9.	Amoniacó (NH ₃)	00,01	mg/L
10.	Nitritos (NO ₂ ⁻)	00,00	mg/L
11.	Nitratos (NO ₃ ⁻)	23,76	mg/L
12.	Cloro residual	----	mg/L
13.	Manganeso (Mn)	00,014	mg/L
14.	Cloruros (Cl ⁻)	07,50	mg/L
15.	Fluoruros (F ⁻)	00,27	mg/L
16.	Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	05,00	mg/L
17.	Hierro total (Fe)	00,02	mg/L
18.	Dureza total	118,00	mg/L
19.	Sólidos totales	166,00	mg/L
20.	Sólidos volátiles	05,00	mg/L
21.	Sólidos fijos	161,00	mg/L
22.	Sólidos en suspensión	01,00	mg/L
23.	Sólidos disueltos	149,00	mg/L
24.	Hidróxidos	00,00	mg/L
25.	Carbonatos	00,00	mg/L
26.	Bicarbonatos	110,00	mg/L
27.	Alcalinidad total	110,00	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Examen bacteriológico nacimiento El Zapotillo, El Tejar**

Parámetro	Aspecto
Sustancias en suspensión	No hay
Aspecto	Clara
Olor	Inodora
Número más probable de gérmenes coliformes totales en 100 cm ³	<2
Número más probable de gérmenes coliformes fecales en 100 cm ³	<2

Fuente: elaboración propia.

4.3. Diseño de un equipo de pretratamiento que remueva los sólidos inorgánicos en suspensión de las aguas residuales

Para la remoción de la mayoría de sólidos inorgánicos encontrados en las aguas residuales, es necesaria la implementación de un sistema de rejillas gruesas, finas y un desarenador.

4.3.1. Rejas gruesas

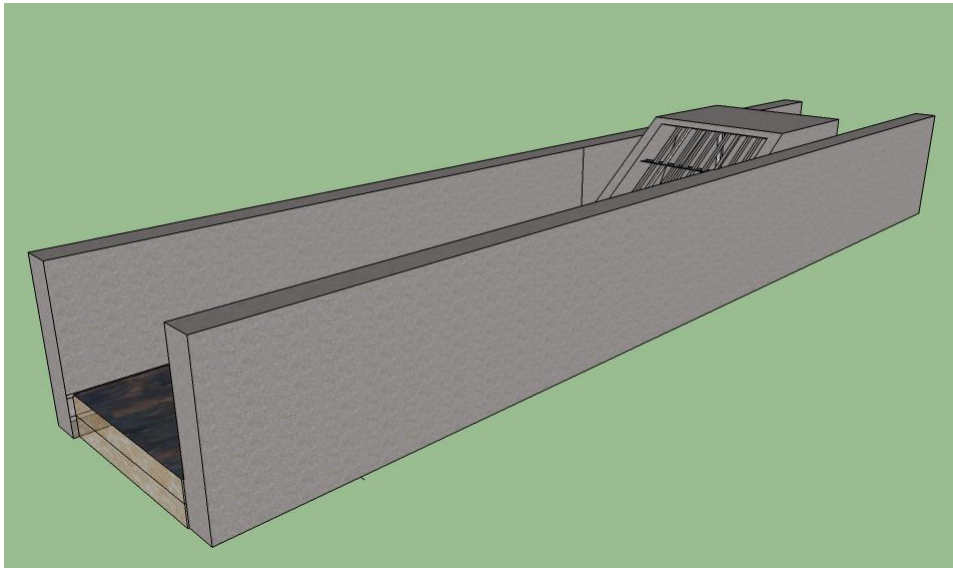
El sistema para la remoción de sólidos grandes consiste en un tamiz estático de barras en forma de cuña, con un tipo de limpieza manual utilizando barras gruesas de diámetro comercial de una pulgada y abertura entre barras de 5 centímetros. El diámetro del canal que transporta las aguas residuales es de 1,5 metros, mientras que el área del diámetro de la cuña donde pasan las aguas es de 1,25 metros. El diámetro de paso de las aguas residuales entre los barrotes es de 84,4 centímetros. Los parámetros para las rejillas se describen en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Valores de diseño, sistema de rejas gruesas**

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho de la barra	Centímetros	2,54
Profundidad de barra	Centímetros	2,54
Espaciamiento entre barras	Centímetros	5,0
Longitud de la barra	Centímetros	300
Número de barras que conforman el sistema	Unidades	16
Inclinación con la vertical	Grados	30
Velocidad de aproximación	m/s	0,644
Pérdidas admisibles	Centímetros	13

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Sistema de rejas gruesas para la remoción de sólidos**



Fuente: elaboración propia, con el programa Google Sketchup 8.

4.3.2. Rejillas finas

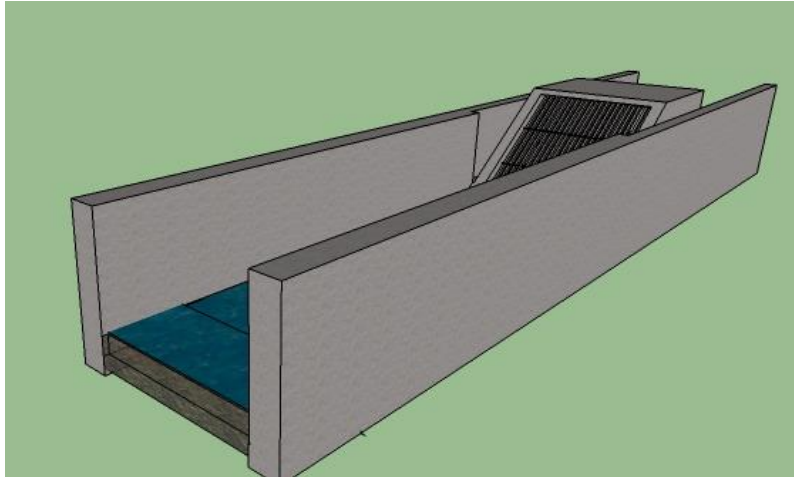
El sistema para la remoción de sólidos de tamaño medio y fino consiste en un tamiz estático de barras en forma de cuña, con un tipo de limpieza manual utilizando barras gruesas de diámetro comercial de media pulgada y abertura entre barras de 2,5 centímetros. El diámetro del canal que transporta las aguas residuales es de 1,5 metros, mientras que el área del diámetro de la cuña donde pasan las aguas es de 1,25 metros. El diámetro de paso de las aguas residuales entre los barrotes es de 84,4 centímetros. Los parámetros para las rejillas se describen en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Valores de diseño sistema de rejillas finas**

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho de la barra	Centímetros	2.54
Profundidad de barra	Centímetros	2.54
Espaciamiento entre barras	Centímetros	2.50
Longitud de la barra	Centímetros	300
Número de barras que conforman el sistema	Unidades	32
Inclinación con la vertical	Grados	30
Velocidad de aproximación	m/s	0.644
Pérdidas admisibles	Centímetros	13

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Sistema de rejas finas para la remoción de sólido**

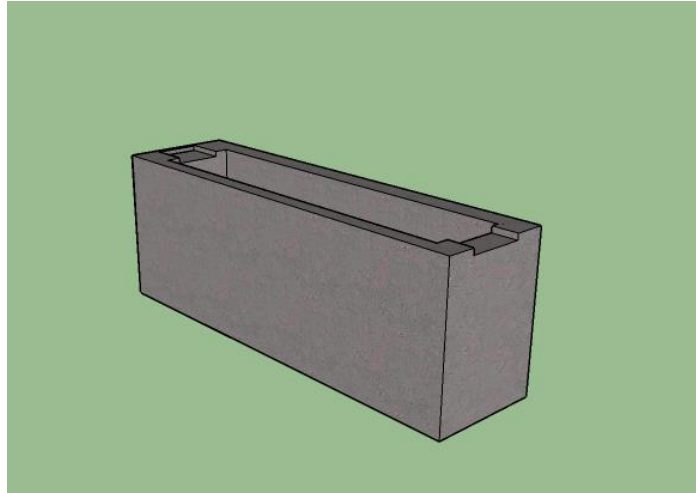


Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketchup 8.

4.3.3. Desarenador

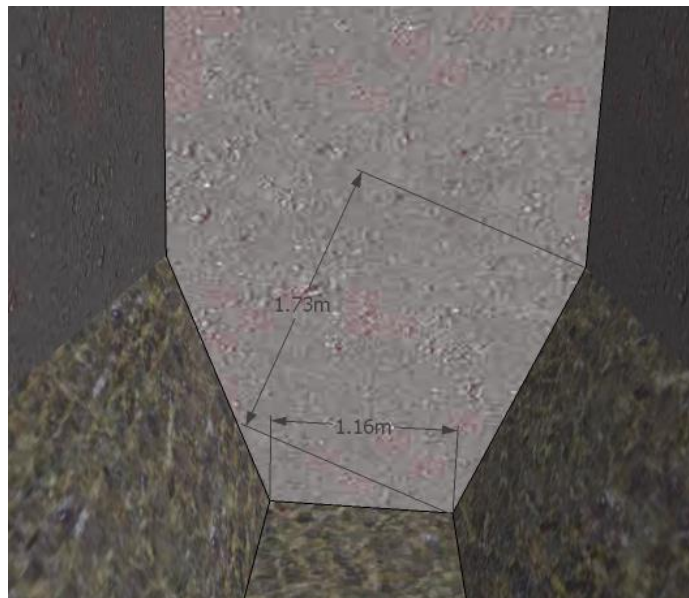
El equipo que se utiliza para la remoción de arenas y materiales que tienen una densidad específica mayor a 2,65 consiste en un desarenador de flujo horizontal de tipo canal que permite disminuir el valor de la velocidad de aproximación a un dato cercano a 0,3 metros sobre segundo. En la parte inferior del desarenador se encuentra una sección diseñada con una inclinación de 45 grados.

Figura 5. **Desarenador de flujo horizontal tipo canal**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketchup 8.

Figura 6. **Sección interna desarenador de flujo horizontal**

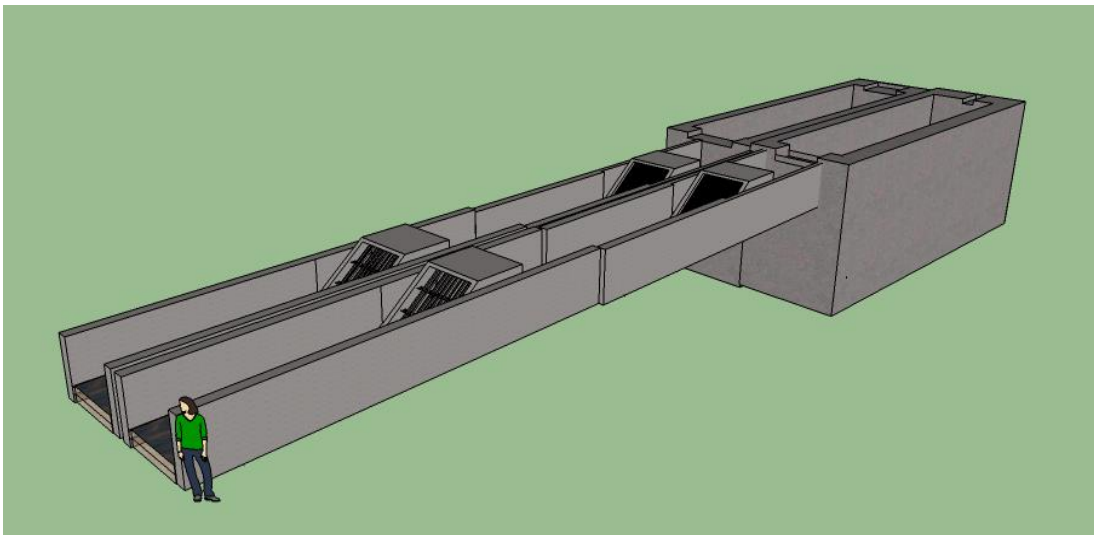


Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketchup 8.

4.3.4. Sistema completo de tratamiento preliminar de sólidos en suspensión

El sistema completo que se propone consiste en un diseño en paralelo de rejillas y desarenador unidos por un canal y una compuerta que permite el paso a uno de los dos sistemas.

Figura 7. **Sistema completo para la remoción de sólidos en suspensión**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketchup 8.

4.4. Material necesario que se debe utilizar para la construcción del equipo

Los tipos de rejillas que se diseñaron fueron para un tamizado grueso y un tamizado fino, siendo estos construidos del material descrito en la tabla número XXVIII.

Tabla XXVIII. **Material para la construcción de rejas finas y gruesas**

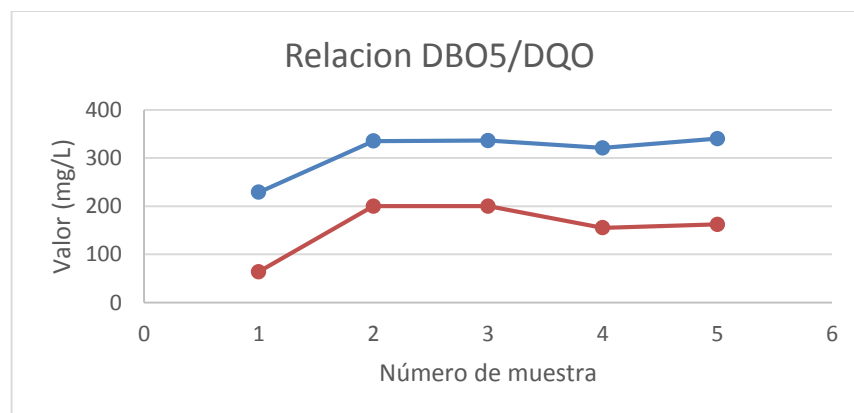
Equipo	Material
Rejas para tamizado grueso	Barras rectangulares de acero al carbono de una pulgada
Rejas para tamizado fino	Barras rectangulares de acero al carbono de media pulgada

Fuente: elaboración propia.

4.5. Comparación de la demanda bioquímica y química de oxígeno en el agua residual

La figura 8 muestra la relación que se tiene entre la DBO₅ y la DQO de cinco muestras tomadas para sus respectivas mediciones, teniendo en el eje de las ordenadas el valor de la medición dado en mg/L y en el eje de las abscisas el número de muestras.

Figura 8. **Relación DBO₅/DQO**



Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Excel 2013.

4.6. Variación de los elementos de caracterización de las aguas residuales

En esta sección se presentan los datos de la media aritmética, rango y variación de los valores de la caracterización física y determinaciones químicas de las aguas residuales

4.6.1. Desviación estándar de la caracterización física y determinación química de las aguas residuales

Este apartado contiene los valores de la desviación estándar de las características físicas y determinaciones químicas de las muestras de aguas residuales analizadas.

Tabla XXIX. Desviación estándar

Características físicas	
Olor	Ligera materia orgánica
Color	200,33 unidades
Sólidos suspendidos	27,31 mg/L
Sólidos sedimentables	0,53 cm ³ /litro en 1 hora
Determinaciones químicas	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO/5)	55,78 mg/L
Demanda química de oxígeno (DQO)	47,06 mg/L
Fosfatos	10,00 mg/L
Nitratos	52,78 mg/L
Ph	0,044 Unidades

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para interpretar el valor obtenido en la caracterización de las aguas residuales es necesario comparar el valor de estos junto con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. Este determina el nivel de tratamiento que se debe alcanzar con base a los límites máximos permisibles de cada etapa al obtener la caracterización de las aguas residuales.

Los resultados obtenidos fueron comparados en forma individual con los valores que muestra el Acuerdo Gubernativo 236-2006, determinando que el parámetro de sólidos suspendidos corresponde a 117,00 mg/L; este valor muestra que en la parte de la caracterización del agua residual los valores de temperatura y pH se encuentran entre los valores máximos de la cuarta etapa, el valor de los sólidos suspendidos están en el rango de la etapa número tres, los fosfatos en la etapa número dos y el dato de nitratos se encuentra dentro del valor inicial para una planta de tratamiento.

El valor del potencial de hidrógeno muestra que estas aguas pueden ser tratadas utilizando métodos de tratamiento biológico; la temperatura indica que no existe mayor cambio en el cuerpo de agua debido a la adición de las aguas residuales dentro de este. Los valores de los nutrientes fosfatos y nitratos determinan el valor de la constante cinética utilizada en el análisis de tratamientos para la remoción de nutrientes utilizando los ciclos respectivos de cada uno de ellos.

La DBO₅ representa la cantidad de oxígeno utilizada para la actividad respiratoria de los microorganismos dentro del agua residual para metabolizar, teniendo que esta tiene un valor de 156,12 mg/L y al analizar la relación entre DBO₅/DQO mostrada en la figura no.3 tiene un valor de 0,486. Con base a esto se puede decir que la clasificación referente a la contaminación del agua residual es medianamente contaminada.

Según los parámetros de análisis fisicoquímico sanitario sobre la muestra de agua potable tomada del pozo El Zapotillo, ubicado dentro del nacimiento, se determinó que este cumple con todos los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Sin embargo, al compararlos con la Norma COGUANOR NTG 29001 se tiene que el valor del potencial de hidrógeno y la dureza total del agua se encuentran únicamente entre de los límites máximos permisibles y no de los límites máximos aceptables.

El examen bacteriológico, referente al agua potable ubicada dentro del nacimiento, indica que se debe de realizar un tratamiento de desinfección. Las aguas de grifo se encuentran en forma potable según la Norma COGUANOR NGO 29001.

Se diseñó un sistema de rejas gruesas con limpieza manual en forma de cuña dentro de un canal que conduce a las aguas residuales. El sistema de rejas tiene una inclinación de treinta grados con respecto a la horizontal, ya que se encuentre entre el valor recomendado para un sistema de limpieza manual en comparación con un sistema de limpieza mecánica, que recomienda una inclinación entre cero y treinta grados con respecto a la horizontal.

Para el sistema de sólidos finos se diseñó un conjunto de rejjas con una inclinación de treinta grados debido a las mismas consideraciones del diseño de rejjas gruesas.

El espacio entre barras es de 5 centímetros, esto se debe a que la mayoría de sólidos que presenta las aguas residuales son de envases PET y demás sólidos inorgánicos con tamaño superior a los 5 centímetros que son atrapados por el sistema de rejjas.

El diseño de las rejjas no es menor a los 5 centímetros debido a que el valor de la pérdida de carga aumenta y el sistema pierde eficiencia, ya que este es un parámetro vital de diseño que utiliza la velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja.

El diámetro de las barras para el sistema de rejjas de tamizado grueso es de una pulgada y para el sistema de rejjas para tamizado fino es de 0,5 pulgadas. Esto debido a que esta forma se encuentra de manera común dentro del entorno del país; en la figura 2 del marco teórico de este documento, se muestra el rango de tamaño de barras utilizadas para un sistema de rejjas gruesa, el cual menciona que las barras comúnmente son utilizadas entre un valor de 0,5 a 1,5 pulgadas.

Se diseñó cada uno de los sistemas de rejjas para los tamizados finos y gruesos, debido a que estos son los más fáciles de manipular para los trabajadores, tomando en cuenta que no se necesita un grupo de instrumentos sofisticados para su funcionamiento; esto en contraste con los tamizados de tambor rotatorio y el tamiz de disco rotatorio, que también puede ser utilizado en reemplazo de tanques de sedimentación.

El sistema de remoción de arenas hace efecto dentro de un desarenador de flujo horizontal tipo canal, para reducir la velocidad del fluido que entra a este hasta llegar a un valor aproximado de 0,3 metros sobre segundo. Esto se logra al tener en cuenta que el valor del caudal dentro del sistema es el mismo, ya que el valor del caudal es directamente proporcional al valor del área por el cual pasa el fluido y la velocidad de este; al mantener el caudal constante y aumentar el área de paso del fluido se tiene una reducción de la velocidad de las aguas residuales. Al tener esta velocidad, según referencia bibliográfica número 4, se considera que se da el tiempo necesario para que las partículas de arena sedimenten en el fondo del canal.

El conjunto de equipos para la realización de las operaciones unitarias que logran el mejor sistema de tratamiento preliminar que se diseñó para la remoción de sólidos en suspensión se encuentra de una manera conocida comúnmente en una forma paralela, unidas entre sí por una compuerta que debe ser cerrada cuando se trabaje en la limpieza del equipo. Esto con el objetivo de no tener ningún problema en cuanto a la limpieza del sistema ni cuando se tiene un flujo de líquido mayor al promedio debido a tormentas.

CONCLUSIONES

1. El valor de pH de las aguas residuales es de 7,05 y el de la temperatura es de 26 grados Celsius, por lo tanto cumplen con los valores permisibles de la cuarta etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
2. Los sólidos suspendidos tienen un valor de 117,00 mg/L y se encuentran en el valor mínimo permitido de la tercera etapa que determina el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. El valor de fosfato de las aguas residuales de encuentra entre los límites máximos permisibles de la etapa número dos sobre tratamiento de aguas, determinado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. El valor de nitratos es de 188,46 mg/L y se encuentra únicamente dentro del límite permisible del valor inicial para una planta de tratamiento de aguas.
5. El agua potable que se encuentra dentro del nacimiento ubicado en las cercanías de las aguas residuales contiene un número probable de 2 gérmenes coliformes/100cm³, presentando ligera contaminación microbiológica; por lo tanto se necesita de un método de purificación simple antes de ser consumida.

6. El agua de grifo a cercanías del depósito, extraído del nacimiento El Zapotillo es potable, debido a que tiene un número probable de gérmenes coliformes menores a 2 en 100 cm³, por lo tanto no necesita desinfección.
7. La comparación de la demanda bioquímica y química de oxígeno en el agua residual es de 156,12 mg/L sobre 312,20 mg/L dando una relación de 0,486 unidades mostrando que esta se encuentra en una clasificación medianamente contaminada.
8. El sistema de rejas gruesas corresponde al diseño de un tamiz en forma de cuña estático de barras utilizando limpieza manual y abertura entre barras igual a 5 centímetros debido al tipo de sólidos que se busca remover en esta etapa, los cuales en su mayoría tiene un tamaño mayor a 5 centímetros.
9. El sistema de rejas gruesas corresponde al diseño de un tamiz en forma de cuña estático de barras utilizando limpieza manual y abertura entre barras igual a 2,5 centímetros, esto permite remover la mayor cantidad de sólidos de tamaño medio sin afectar el valor de la velocidad de aproximación de las aguas.
10. El desarenador de flujo horizontal de tipo canal permite disminuir la velocidad lineal del fluido a 0,3 metros sobre segundo para lograr que las partículas que tienen una densidad específica mayor a 2,64 unidades precipiten sin la ayuda de algún coagulante.
11. El material de diseño para las rejas gruesas y finas debe ser de acero al carbono con diámetro de una pulgada para las rejas gruesas y media pulgada para las rejas finas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de la calidad del agua, utilizando métodos de indicadores biológicos para analizar la cuenca donde se tienen las aguas residuales.
2. Mejorar la tapadera en el tanque de almacenamiento y distribución del agua potable para evitar contaminación del ambiente a estas aguas.
3. Aislar el pozo y sistema de toma de agua del nacimiento con las aguas residuales cercanas a este.
4. Verificar a distintas horas de trabajo el sistema de cloración para el agua potable.
5. Realizar un sistema que permita captar de manera eficiente las aguas residuales.

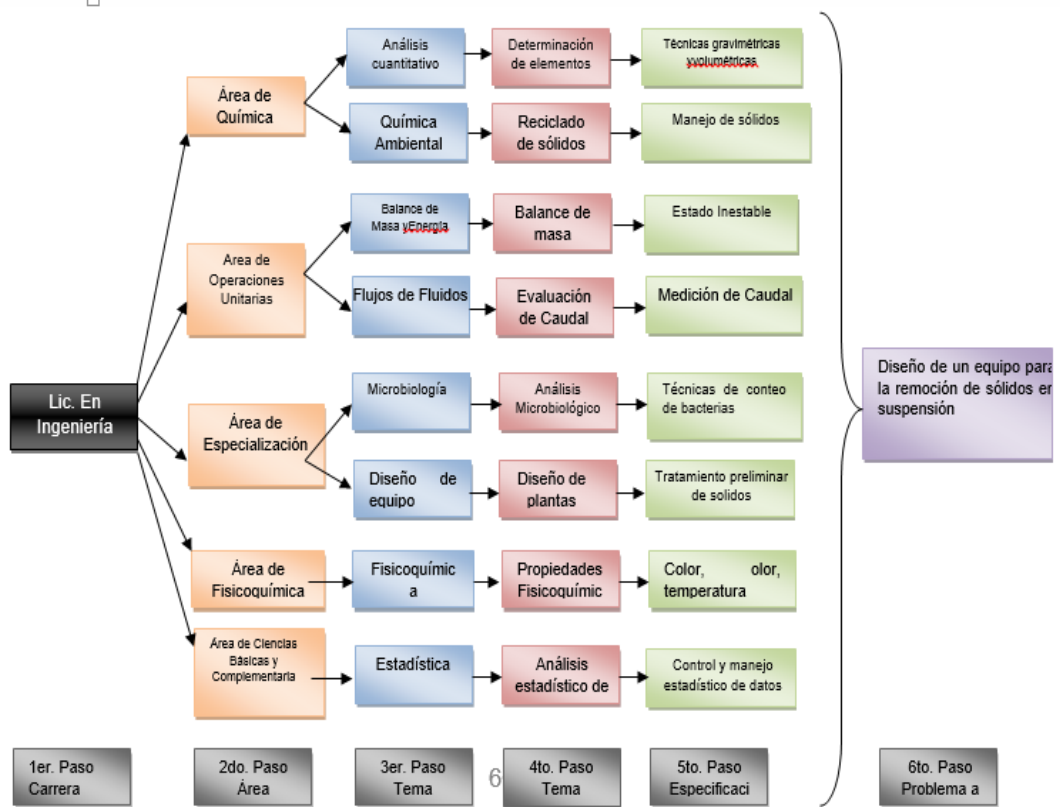
BIBLIOGRAFÍA

1. BROWN, Theodore L.; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. *Química la ciencia central*. 7a ed. México: Prentice-Hall, 1998. 989 p.
2. CAMBRANES, MORALES, Erick Martín. *Instalación y control de una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 110 p.
3. CRITES, Ron; TCHOBANGLOUS, George. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill, 2007. 934 p.
4. FUENTES SANTOS, Alejandro. *Diseño y cálculo de la obra de llegada y pretratamiento de una EDARU*. [en línea]. <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14487/PFC_Alejandro_Fuentes_Santos.pdf?sequence=1> [Consulta: septiembre de 2014].
5. Guatemala. ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, mayo 2006. 24 p.

6. JENKIS, David y otros. *Química del agua. Manual del laboratorio* ed. México: Limusa 1983. 178 p.
7. MCCABE, WARREN, Julian C; SMITH, Peter H. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a. ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 1157 p.
8. MURALLES, ALVARADO, Fabiola Abigail. *Determinación del comportamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales, durante su puesta en marcha*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 40 p.
9. SWOKOWSKI, Earl W; COLE, Jeffery A. *Algebra y trigonometría con geometría analítica*. 11a ed. México: Thomson, 2006. 839 p.
10. WALPOLE, Ronald E; MYERS, Raymond H; MYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 797 p.
11. WEBSTER, Allen L. *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. 3a ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 640 p.

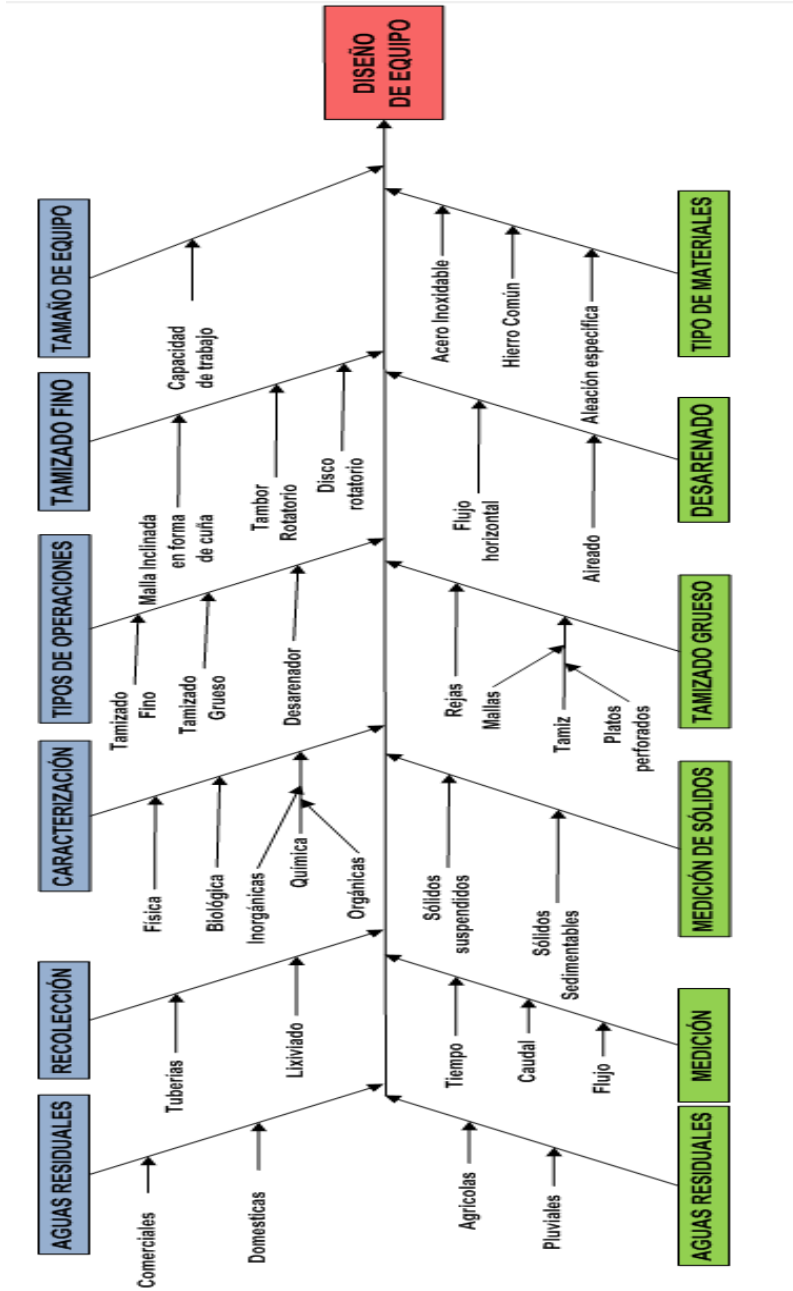
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, con ayuda del programa Microsoft Word 2007.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, con ayuda del programa Microsoft Visio 2007.

Apéndice 3. **Sistema de cloración de agua potable**



Fuente: El Zapotillo, El Tejar.

Apéndice 4. **Sistema de tuberías para aguas residuales**



Fuente: El Zapotillo, El Tejar.

Apéndice 5. Aguas residuales provenientes de El Tejar



Fuente: cuenca El Zapotillo, El Tejar.

Apéndice 6. Equipo de protección para recolección de muestra



Fuente: El Zapotillo El Tejar.

Apéndice 7. Sistema de aislamiento del pozo a las aguas residuales



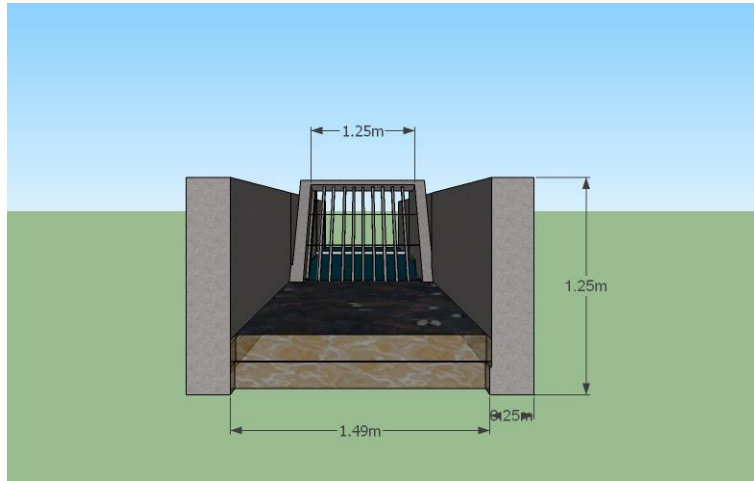
Fuente: El Zapotillo, El Tejar.

Apéndice 8. Recolección de agua potable El Zapotillo, El Tejar



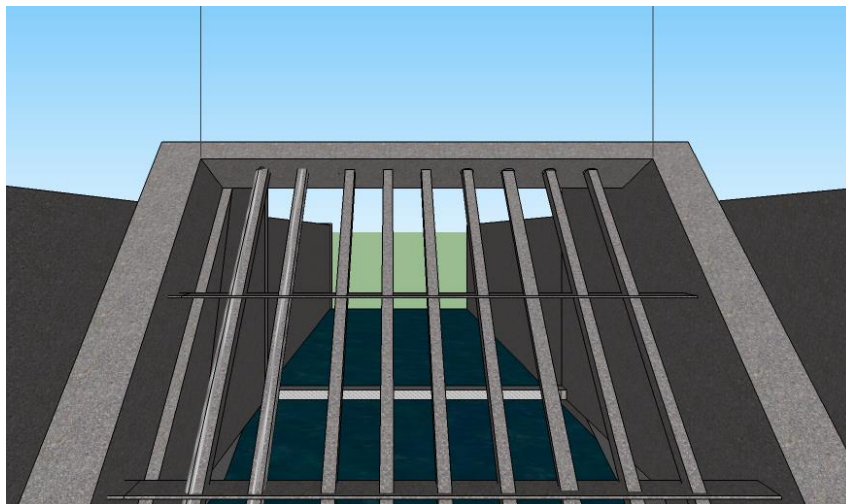
Fuente: Pozo El Zapotillo, El Tejar.

Apéndice 9. **Vista frontal de rejillas gruesas**



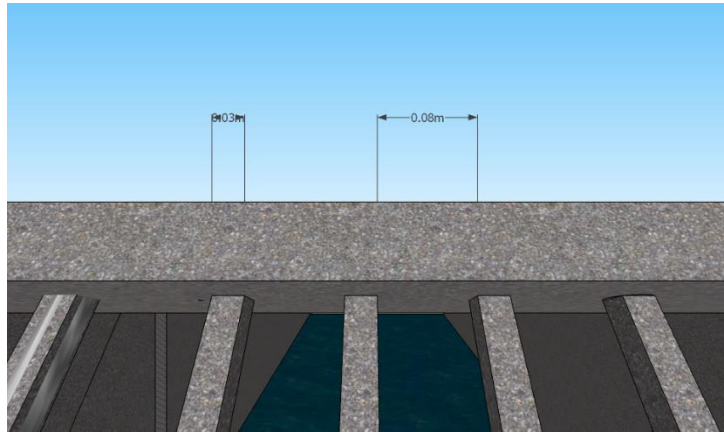
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de el programa Google Sketchup 8.

Apéndice 10. **Vista frontal de barras que componen el sistema de rejas gruesas**



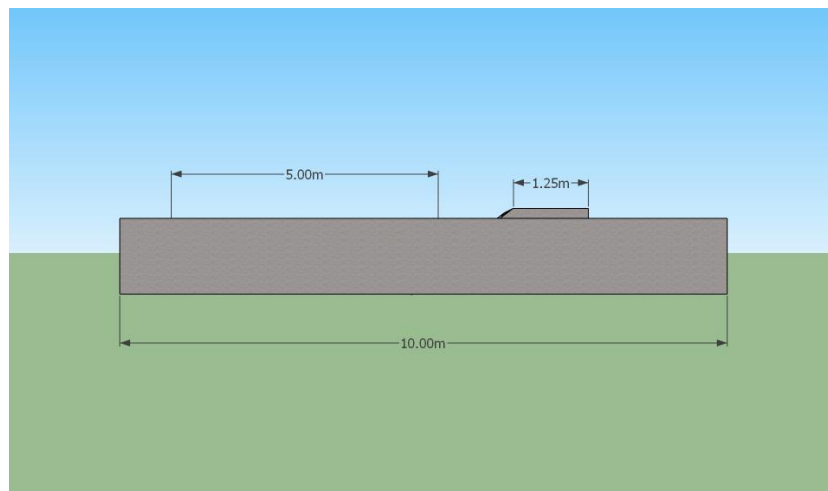
Fuente: elaboracion propia, con aportes de Google Sketchup 8.

Apéndice 11. **Vista frontal tamaño de barras que conforman el sistema de rejillas gruesas**



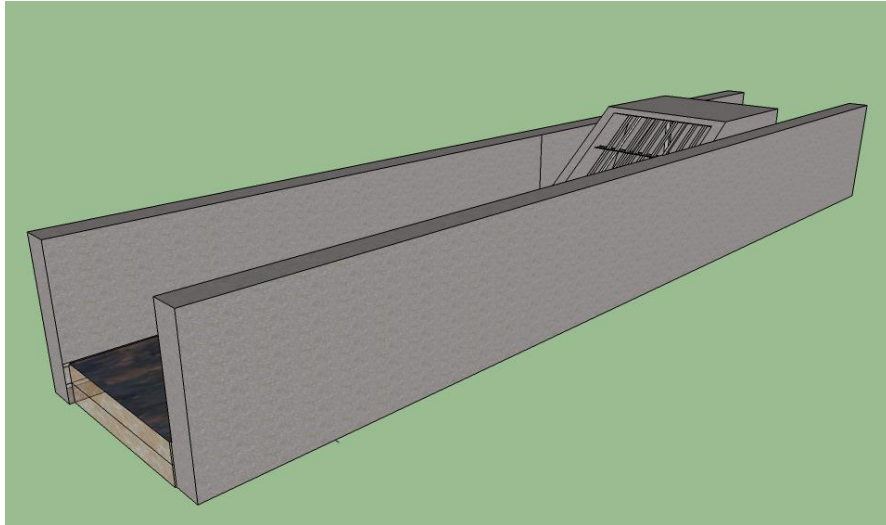
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8

Apéndice 12. **Vista lateral sistema de rejas gruesas**



Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8

Apéndice 13. **Figura en tres dimensiones del sistema de rejas gruesas**



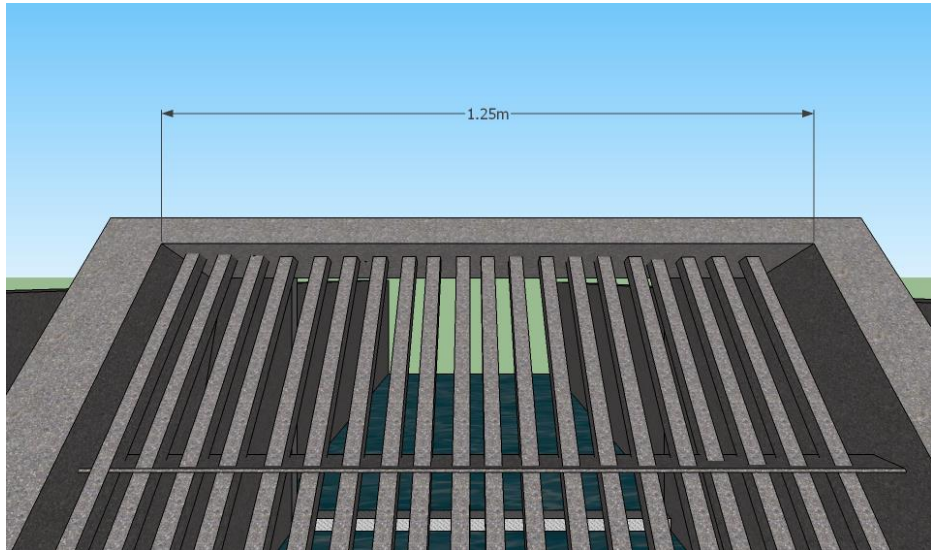
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 14. **Vista superior sistema de rejas finas**



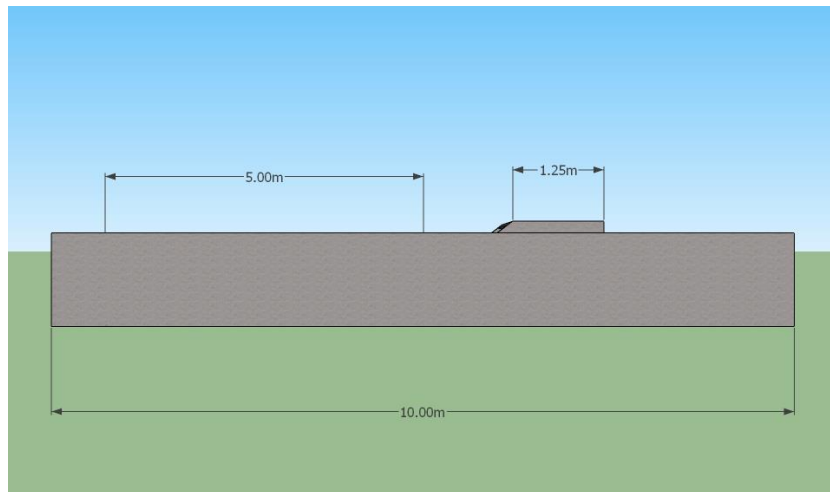
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 15. **Vista frontal del sistema de rejas gruesas**



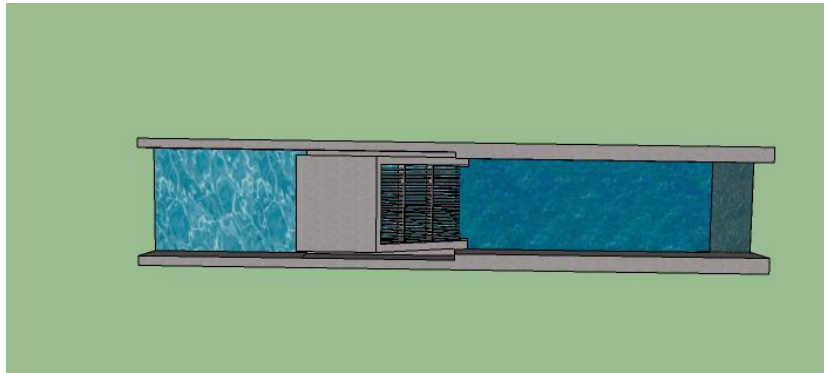
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 16. **Vista de perfil sistema de rejas finas**



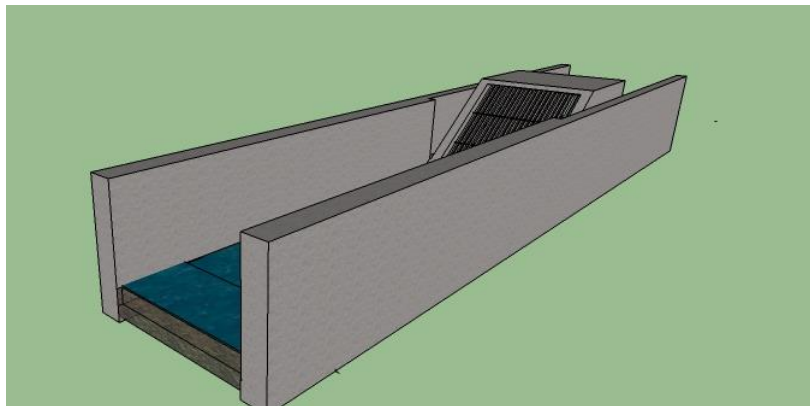
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 17. **Vista superior sistema de rejas finas**



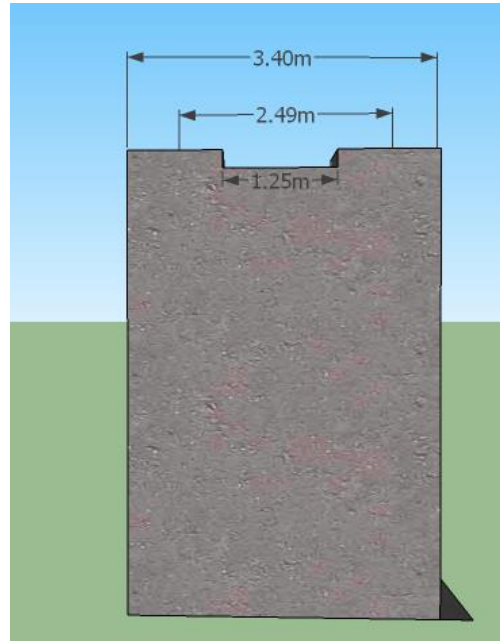
Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 18. **Vista en tres dimensiones del sistema de rejas finas**



Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

Apéndice 19. **Vista frontal desarenador de flujo horizontal**



Fuente: elaboracion propia, con ayuda de Google Sketchup 8.

