



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DE LA PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS

AUTOR

JEFFERSON DAVID MONAR ORDOÑEZ

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DE LA PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS

Trabajo de Titulación en conformidad con los requisitos establecidos para optar
por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Santiago Daniel Piedra Burgos

Autor

Jefferson David Monar Ordoñez

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Prediseño de una planta de tratamiento de agua residual proveniente de la producción de lácteos, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jefferson David Monar Ordoñez, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Santiago Daniel Piedra Burgos

Master en Hidrociencias e Ingeniería

C.I: 1715384150

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Prediseño de una planta de tratamiento de agua residual proveniente de la producción de lácteos, del Jefferson David Monar Ordoñez, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Magister en Ciencias Especialización Ingeniería Ambiental

C.I: 1801914449

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



Jefferson David Monar Ordoñez

C.I: 2200057814

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Manuel Monar y Rocío Ordoñez por ser mi apoyo en cada momento de la carrera e impulsarme a culminar mis estudios, además agradezco a mi esposa Michelle Brito por siempre confiar en mí, y que esto sería posible

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi docente guía y corrector los Ingenieros Santiago Piedra y Daniel Hidalgo, por toda la ayuda brindada y aportes de conocimientos.

RESUMEN

El presente trabajo consideró una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales lácteas, localizada en la ciudad de salinas provincia de Bolívar. El estudio inició con la medición de caudales, el análisis y caracterización del agua durante el mes de septiembre, de acuerdo a las mediciones de caudal se determinó un caudal de diseño de $16\text{m}^3/\text{día}$ y con la caracterización del agua se pudo constatar que un 72% del efluente contiene materia orgánica biodegradable, por tal razón se ve necesaria la implementación de una planta de tratamiento que permita la remoción de materia orgánica. El diseño propuesto contempla un canal de aproximación con un sistema de rejillas, continuando con una trampa de grasa y un canal de Parshall, que servirá como medidor, del canal Parshall se conducirá el agua residual al homogeneizador el cual regulará los volúmenes de agua y concentración de ingreso al tanque aireado de lodos activados. Además, diseñó un clarificador secundario para remover y sedimentar los lodos generados en el tratamiento biológico. Por último, realizó la simulación biocinética del agua residual para contestar que la línea de tratamiento propuesta y prediseñada logró reducir la carga orgánica del agua.

ABSTRACT

For the present work it is proposed to design dairy wastewater treatment plant, located in Salinas city, Bolívar province. It began with measurement of flows, characterization and analysis of the water throughout the month of September, accordance with flow measure got determined by a flow design of $16\text{m}^3/\text{day}$ and with the water characterization was demonstrated that a 72% of the flow has biodegradable organic matter, for that reason the implementation of a processing facilities for organic matter removal is essential. The proposed design implies an approach channel with a grilles system, followed of a fat trap and a Parshall flume as a meter, from the Parshall flume the wastewater will be directed to homogenizer which regulates the water volumes and the concentration of entry to the activated sludge aeration tank. Also, a secondary clarifier is designed to remove and sediment the sludge generated in the biological treatment. By last, A bio-kinetic simulation of the wastewater was carried out to verify that the proposed and pre-designed treatment line managed to reduce the organic contain of the water.

ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivo Específicos.....	5
2. Capítulo II. Marco Teórico.....	5
2.1 Aguas residuales de la industria láctea	5
2.1.1 Modelo ASM1.....	6
2.2 Principales parámetros para la caracterización de las aguas residuales industriales lácteas	7
2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	7
2.2.2 DBO5 rápida y lentamente degradable.....	7
2.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	7
2.2.4 DQO lentamente biodegradable.....	8
2.2.5 DQO rápidamente biodegradable.....	8
2.2.6 DQO no biodegradable soluble.....	9
2.2.7 DQO particulada inerte.....	9
2.3 Sistemas de tratamientos para la depuración de agua residual láctea.....	9
2.3.1 Análisis previos.....	9
2.3.2 Obras de llegada.....	11
2.3.3 Pretratamientos	13
2.3.4 Tratamientos primarios	13
2.3.5 Tratamientos Secundarios	14
2.3.6 Tratamientos Terciarios.....	15
3. Capítulo III. Metodología.....	15

3.1 Medición de caudales	16
3.2 Toma de muestras	16
3.3 Preservación	16
3.4 Fraccionamiento de DQO.....	16
3.4.1 DQO no biodegradable	18
3.4.2 DQO biodegradable total	18
3.4.3 DQO soluble inerte (Si)	18
3.4.4 DQO soluble (Ss).....	19
3.4.5 3.3.5 DQO particulada (Xs)	19
3.4.6 DQO particulada inerte (Xi).....	19
3.5 Medición de caudales.....	19
3.6 Bases y criterios de diseño	19
3.6.1 Canal de aproximación	19
3.6.2 Rejillas	21
3.6.3 Canaleta Parshall	23
3.6.4 Trampa de grasa	23
3.6.5 Floculador mecánico vertical	25
3.6.6 Homogeneizador	28
3.6.7 Tanque de aireado con lodos activados	30
3.6.8 Clarificador secundario	31
3.7 Simulación de tratamientos	35
4. Capítulo IV. Resultados.....	36
4.1 Medición de caudales	36
4.2 Dosis óptima de coagulante y pH óptimo	36
4.3 Fracciones del agua residual	40
4.4 Diseño del canal de aproximación	42
4.5 Diseño del sistema de rejillas.....	43
4.6 Diseño del floculador mecánico vertical.....	43
4.7 Diseño del Homogeneizador.....	46
4.8 Diseño del tanque aireado de lodos activados.....	46

4.9 Diseño del clarificador secundario	47
4.10 Simulación biocinética	49
5. Capítulo V. Discusión.....	49
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	52
6.1 Conclusiones	52
6.2 Recomendaciones	53
REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	58

1. Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

Uno de los principales problemas ambientales que enfrenta el sistema hídrico del mundo es la descarga no tratada de aguas industriales alimenticias, las cuales son el resultado de varias actividades productivas como: producción de lácteos, faenamiento de ganado, elaboración de conservas, etc.

La industria alimentaria, es un sector productivo con mayor afectación sobre el medio ambiente, sea por productos que se ofrecen en el mercado o por los diferentes procesos productivos que conlleva elaborar dichos insumos (Brassel, 2007). La industria láctea incrementó su producción e innovación, lo que resultó en un mayor incremento de sus descargas líquidas y sólidas.

Anualmente se produce 100 y 120 millones de toneladas métricas de suero en todo el mundo, como residuo de la producción de quesos, el 45% se desecha en ríos, sistemas de drenaje y alcantarillados, mientras que el restante se utiliza para la alimentación de cerdos y otros animales de granja.

Si realizamos una revisión a nivel de algunos países de Latinoamérica, para el año 2006 en Colombia se produjo 6 mil millones de litros de leche, de los cuales se destinó 1.084 millones para la producción de quesos, logrando 921 mil millones de litros de suero. (Parra,2009) Por otro lado, en México se generan aproximadamente mil millones de litros de lactosuero, descargando el 47% directamente al ambiente. Argentina para el 2016 destinó 4 mil millones de litros de leche a queseras, es decir 3.8 mil millones de litros de lactosuero, que fue utilizado en la alimentación de cerdos. (Carrillo, 2006) Venezuela produce 1.2 mil millones de litros de leche, destinando un 63.1% para la producción de queso, obteniendo unos 699 millones de litros de lactosuero anual, de estos un 25% es utilizado en la producción de ricota, requesón y consumo animal, el resto se desecha (Cavilac, 2012).

En el Ecuador el sector lácteo dispone de 237 mil explotaciones ganaderas orientadas a la producción de leche (Censo Agrario, 2000) lo que equivale al 55% de unidades ganaderas, siendo el total de vacas lecheras de 800 mil cabezas. La producción de leche hasta el año 2017 ha ido en ascenso, llegando a alcanzar 3.5 millones de L/día, de los cuales el 73% fue producido en la sierra, el 18% en la costa y el 9% en el resto del país. ESPAC (2017) constata que el rebaño de vacas y la producción de leche a nivel nacional registraron niveles de 856.164 vacas ordeñadas y 5.14 millones de litros para el año 2017, la provincia de Pichincha es la mayor productora de leche, representando el 16.27% del total nacional. De estos 5.14 millones de litros de leche el 31% se usó para la elaboración de quesos, el 47% en producción de leche líquida, el 11% para elaborar leche en polvo, el 10% para elaborar yogurt y solo el 1% para elaborar otros productos lácteos (ESPAC, 2017)

CIL (2018) estableció que el Ecuador destina 1.2 millones de L/día para la elaboración de quesos, generando unos 900.000 litros de suero al día de los que solo un 10% se utiliza para la industria láctea. Dentro de éste 10% se encuentra la producción de bebidas lácteas que representan una alternativa, mientras que un pequeño porcentaje restante es usado para alimento de cerdos y el sobrante es desechado directamente a fuentes hídricas cercanas.

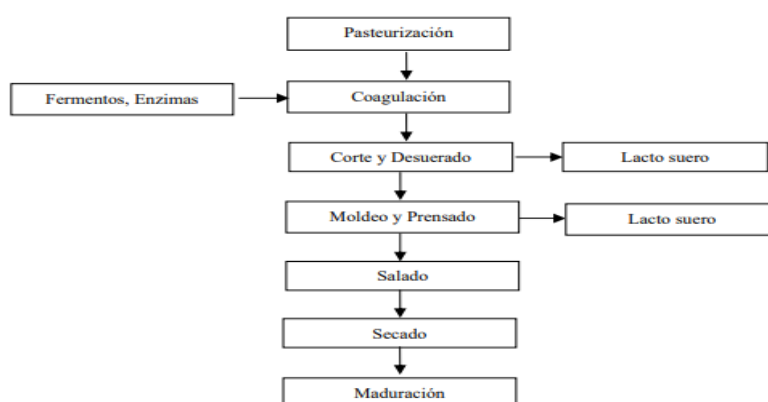


Figura 1. Proceso de elaboración del queso.

Tomado de (CAR,2002).

Esta diversidad de procesos, en especial en la producción de quesos, se obtiene residuos como lacto suero, crema, mantequilla y residuos líquidos por el lavado de equipos e instalaciones.

Los procesos detallados en la figura 1 contiene nutrientes con aproximadamente 3500 mg/L de demanda biológica (DBO5) y un 6800 mg/L de demanda química (DQO) es decir que al transformar 100.000 litros de leche/ día se generará una contaminación equivalente a una población de 55.000 a 65.000 habitantes (Riquelme, 2010).

Debido a esto el lactosuero no utilizado deberá someterse a una planta de tratamiento que permita remover aceites, grasas, solidos suspendidos, además de reducir la carga orgánica y neutralizar el pH, permitiendo cumplir con los parámetros máximos permisibles que estipula la normativa de medio ambiente.

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), estipula que los límites de descarga máxima permisibles (indicados en la tabla 1, límites máximos para descargas) para procesos destinados a tratamientos de aguas residuales, sean gestionados para proteger el medio ambiente y de esta manera impedir la afectación de lagos, ríos y mares donde se realizan las descargas (SENAGUA, 2015).

El presente trabajo se basó en las normativas para aguas industriales empleadas en diferentes actividades como: Producción industrial, metal mecánicas, minería y de generación de energía. Para esto se utilizan diferentes criterios de tecnologías aplicadas a la eliminación de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, que den cumplimiento a los parámetros establecidos a la legislación nacional para descargas de agua dulce. (TULSMA,2015)

Tabla 1

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo Permisible
Demanda bioquímica de oxígeno	D.B.O 5	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	250

Adaptado de Tulsma, 2015.

1.2 Alcance

El presente estudio analizó el efluente proveniente de la producción de productos lácteos, mediante una caracterización de agua, la cual permitió conocer la fracción de DQO, partiendo de los resultados obtenidos se procedió a pre diseñar la planta de tratamiento y realizar la simulación biocinética que ayudó a obtener la línea de tratamiento óptima para la reducción de carga orgánica presente en el efluente.

1.3 Justificación

La industria láctea, dedicada a la producción de leche, elaboración de quesos, yogures y mantequillas entre otros productos generan una cantidad de aguas residuales, actualmente se tiene la generación de agua residual estimada de 2 litros por litro de leche producida. La industria láctea se encuentra como una de las industrias más contaminantes debido a las características que contiene el agua, cabe recalcar que el volumen y composición de contaminación depende del proceso que se está realizando. En el proceso de elaboración de quesos obtenemos suero el cual aporta un alto contenido de carga orgánica al agua por lo que realizar el análisis del efluente en la producción de quesos permitió conocer cuáles son los valores exactos de la fracción de DQO, DBO5 y pH con

los que el agua está siendo alterada durante la producción de quesos. Al descargar directamente al drenaje el suero, éste llegaría directamente a ríos y suelos, causando un problema serio de contaminación. Evitar la descarga directa y continua de suero en estos ecosistemas mediante una planta de tratamiento evitará la alteración de las propiedades fisicoquímicas de los suelos, que al recibir descargas continuas de suero disminuyen el rendimiento de las cosechas, además de producir fenómenos de lixiviación (Solognier, 2018).

La caracterización de agua proporcionará a la empresa conocimiento del daño que el efluente generado causa al medio ambiente y mediante la simulación biocinética de la línea de tratamiento se propondrá alternativas de tratamiento. La empresa en mención otorgó todas las facilidades para el desarrollo de la presente investigación, tanto en la parte logística, conllevando al normal desarrollo del proyecto y su posible ejecución en el sitio del conflicto ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Prediseño y simulación biocinética de una planta de tratamiento de agua residual industrial.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el efluente y determinar la fracción de DQO del agua residual.
- Determinar las unidades de tratamiento.
- Simular los sistemas de tratamiento mediante una simulación biocinética.

2. Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Aguas residuales de la industria láctea

En general, las aguas residuales industriales proceden de la producción, transformación o manipulación en la que se utilice el agua, incluyendo líquidos residuales, aguas para refrigeración y aguas de proceso. Las aguas residuales industriales están caracterizadas por varios compuestos orgánicos con diversas propiedades físicas, además de contar con diferentes niveles de biodegradabilidad.

En lo específico, las aguas residuales de la industria láctea se encuentran caracterizadas en mayor parte por diferentes diluciones de leche, mantequilla, suero y restos de lavados de equipos. El agua residual láctea, generalmente es neutra o poco alcalina, pero tienden a volverse ácidas debido a la fermentación del azúcar presente en la leche, transformándolo en ácido lácteo. Además, presenta un alto contenido de materia orgánica disuelta, la cual tiende a fermentar y presentar malos olores, aunque por otro lado responde satisfactoriamente a tratamientos biológicos. Los métodos más efectivos que se utilizan son: aeración, filtros bacterianos, fangos activados, riego, lagunaje y digestión anaeróbica. (GOMEZ, 2016)

2.1.1 Modelo ASM1

Se basa en la degradación de la materia orgánica, nitrificación y desnitrificación en procesos de lodos activados, para lo cual se requiere el fraccionamiento de la DQO y de esta manera caracterizar el agua residual. (Castillo Borges & Lizama Solís, 2011)

Los componentes del modelo ASM1 que fueron utilizados es el presente proyecto fueron los 7 primeros los cuales se relacionan con la degradación de la materia orgánica, no fueron incluidos los 6 parámetros restantes ya que se basan en constituyentes nitrogenados, además de oxígeno y alcalinidad (Henze, 1987) Los componentes utilizados fueron:

- DQO total
- DQO biodegradable
- DQO no biodegradable
- DQO biomasa activa
- DQO soluble
- DQO particulada
- DQO soluble inerte

2.2 Principales parámetros para la caracterización de las aguas residuales industriales lácteas

2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda de oxígeno, es utilizado por microorganismos no fotosintéticos, para metabolizar compuestos orgánicos biológicamente degradables (AGUILA, 1997).

2.2.2 DBO5 rápida y lentamente degradable.

Las aguas residuales están compuestas por dos grupos de componentes:

- El primero esencialmente por ácidos volátiles y azúcares. La velocidad de degradación de los mismo es rápida por lo que se considera como la DBO rápidamente biodegradable.
- En segundo lugar, se encuentra la materia orgánica degradable, que en su mayoría corresponde a partículas y coloides, su durabilidad tiene una cinética de orden 10 veces menor que la anterior, ésta es la DBO lentamente degradable. (Ronzano, 2002)

2.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente los compuestos orgánicos. (Cisterna, 1997)

Fraccionamiento de la DQO del agua industrial láctea

Las caracterizaciones convencionales de efluentes residuales o de cualquier otro proceso industrial determinan parámetros básicos como DQO, DBO, sólidos totales, Nitrógeno total Kjeldahl, etc. No proporcionan información de las tasas de biodegradabilidad, por lo que estos parámetros no son viables para la realización de una planta de aguas residuales industriales lácteas. Es necesario realizar el fraccionamiento del efluente para conocer la degradación y las fracciones de DQO permitiendo determinar correctamente las fracciones biodegradables e inertes. (Sierra, 2011)

La fracción de la DQO se encuentra dividida en dos conjuntos que son: DQO totalmente biodegradable (DQO_t) y DQO inerte o totalmente no biodegradable (DQO_i). La DQO_t se subdivide en rápidamente biodegradable y lentamente biodegradable. La fracción de DQO_i está compuesta por DQO soluble inerte y DQO particulada inerte, estas últimas fracciones pasarán directamente al efluente de la planta ya que no podrán ser eliminadas por su sistema biológico. (Sierra, 2011)

2.2.4 DQO lentamente biodegradable

En esta fracción los microorganismos hidrolizan utilizando enzimas extracelulares, para finalmente ser metabolizadas por ellas. Aquí el tiempo de degradación aumenta.

2.2.5 DQO rápidamente biodegradable

La DQO rápidamente biodegradable es utilizada en el reactor biológico de forma inmediata, es consumida durante los primeros minutos, lo que provoca un incremento en el oxígeno por parte de los microorganismos que la requieren para su síntesis celular. (Sierra, 2011)

2.2.6 DQO no biodegradable soluble

Esta fracción de la DQO escapara con el efluente junto con los sólidos coloidales que se forman en el reactor.

2.2.7 DQO particulada inerte

Este porcentaje se mezclará con la biomasa, sedimentando con la misma y es la responsable de aumentar la concentración de sólidos suspendidos en el licor de la mezcla.

2.3 Sistemas de tratamientos para la depuración de agua residual láctea.

2.3.1 Análisis previos.

2.3.1.1 Medición de caudales

La medición de caudales se puede definir como hidrometría ya que se ocupa de medir, registrar, calcular y analizar volúmenes de agua que circulan por una determinada sección transversal sea un río, canal o tubería (Maximo, 1995)

2.3.1.2 Aforo

Es la cuantificación del caudal que pasa por la sección transversal de un canal o tubería, esta medición se realiza mediante diferentes principios mecánicos como son vertederos o canales Parshall. (Maximo, 1995)

2.3.1.3 Prueba de jarras

La prueba de jarras es la técnica más usada en la determinación de dosis química y otros parámetros, en ésta se tratan de simular los procesos de floculación, coagulación y sedimentación a niveles de laboratorio.

Para este procedimiento se debe tomar en cuenta varios factores como químicos e hidráulicos que son:

- pH
- temperatura
- concentración de coagulación
- secuencia de la aplicación de las sustancias químicas
- Grado de agitación
- Tiempo de sedimentación

Una vez identificados los diferentes factores, es importante mantener las condiciones debido a que la prueba de jarras es solo una simulación del proceso que, mediante el gradiente hidráulico y el tiempo de mezcla rápida y lenta, punto de aplicación de los reactivos y tiempo de dosificación. (Lorenzo-Acosta, 2006)

Mezcla rápida

Realizar una mezcla rápida es crear la turbulencia para que el líquido en la jarra, se ponga en contacto con los reactivos químicos y con las partículas coloidales del agua, el tiempo de aplicación depende del coagulante. El tiempo y las revoluciones por minuto "rpm" van de 1-3 min a 100 rpm

Mezcla lenta

La mezcla lenta consiste en crear un ciclo constante para que el coagulante se mezcle durante la mezcla rápida y se incorpore con todo el volumen de agua para que se creen los flóculos. Los tiempos de van de 30 a 60 minutos a unos 40 rpm.

2.3.2 Obras de Llegada

Es el conjunto de facilidades ubicadas al inicio de la planta de tratamiento que permiten la medición de caudales, disminuyen la presión de llegada y regulan las velocidades. (CEC,2000)

2.3.2.1 Canal de aproximación

El canal de aproximación conduce de manera uniforme el agua hacia los demás procesos de la planta de tratamiento, por lo general es aquí donde se instalan rejillas para remover sólidos de mayor tamaño presentes en el efluente.

2.3.2.2 Rejillas Finas

Las rejillas finas son aquellas que están conformadas por barras en serie, que presentan una separación uniforme entre 10 a 20 mm entre ellas, y como objetivo principal tienen el de remover sólidos en suspensión que posteriormente podrían perjudicar a los tratamientos posteriores. (CEC,2000)

2.3.2.3 Trampa de grasa

Una trampa de grasa es un proceso económico que permite remover aceites y grasas, aprovechando su flotabilidad y el principio de sifón, es decir los flotantes quedan retenidos en la superficie del líquido para su posterior purga.

2.3.2.4 Canal Parshall

Una canaleta Parshall o medidor Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección del canal. Fue desarrollado por Ralph L. Parshall, con normalidad son diseñados en materiales livianos como fibra de vidrio o acero inoxidable, aunque se han logrado diseñar medidores de concreto, un medidor Parshall está conformado por cuatro partes

importantes: Transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente. (Maximo, 1995)

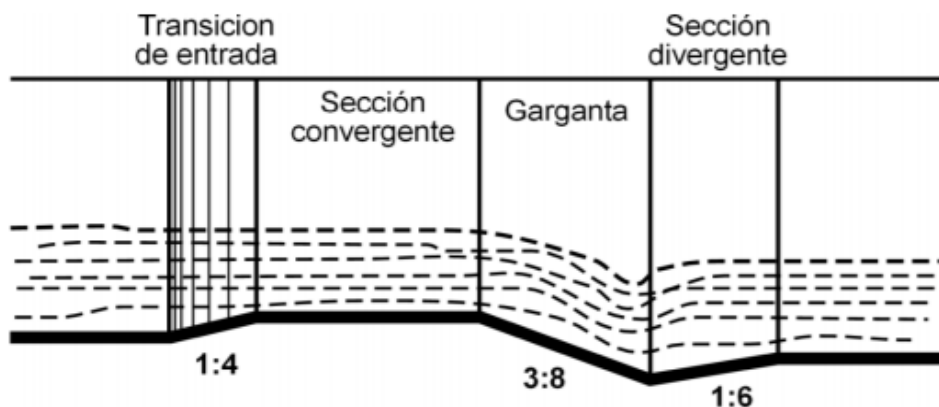


Figura 2. Partes del medidor Parshall. (Vista superior)

Tomado de Manual de Hidráulica (Azevedo, 1976, p. 477).

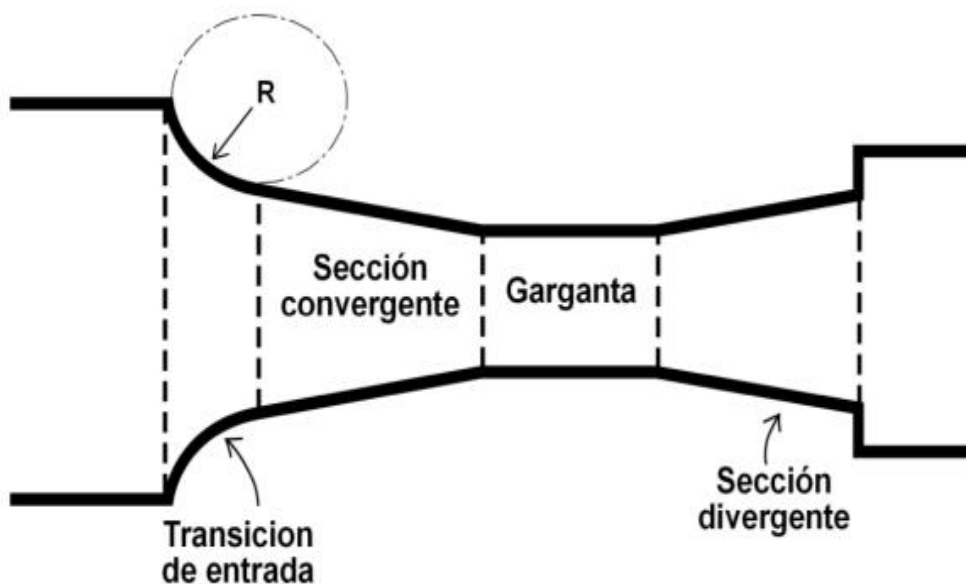


Figura 3. Partes del medidor Parshall. (Perfil)

Tomado de Manual de Hidráulica (Azevedo, 1976, p. 477).

2.3.3 Pretratamientos

2.3.3.1 Coagulación y floculación

Es el método que logra desestabilizar el coloide y permite la agrupación posterior del mismo, en su primera etapa el coagulante elimina la doble capa eléctrica que caracteriza al coloide y posteriormente con el proceso de coagulación se aglomeran los coloides, gracias a la atracción de partículas. Varios factores se deben tener en cuenta para este proceso como son dosis efectiva, efecto de mezcla y tiempo de mezcla, algunos de los coagulantes químicos que se utilizan regularmente son cloruro férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico. (Ismail, Fawzy, Abdel-Monem, & Mahmoud, 2012)

2.3.4 Tratamientos primarios

Son aquellos tratamientos que permiten remover material sedimentable o flotante por medios físicos o mecánicos, permitiendo reducir una fracción importante de la carga orgánica que va entre los 25 y 40 % de la DBO. (Rojas, 2002)

2.3.4.1 Floculador mecánico vertical

El floculador, brinda la acción de mezclado y el tiempo de acción requeridos para que se puedan realizar los procesos de coagulación y floculación correctamente.

Para aquello existen dos tipos de floculadores mecánicos e hidráulicos. Los floculadores mecánicos trabajan mediante paletas y turbinas, mientras que los floculadores hidráulicos trabajan por diferencia de nivel o pérdidas de cargas. (Romero, 2015)

2.3.4.2 Homogeneizador

El tanque de homogenización se ha diseñado para eliminar las variaciones de caudal, que podrían existir por flujos inconsistentes provenientes de procesos anteriores. Es por aquello que diseñar un tanque homogeneizador logrará

mantener uniformemente el efluente tanto en composición, pH y caudal. (Fernández-Alba, 2006)

2.3.5 Tratamientos secundarios

Es aquel que permite la reducción de compuestos orgánicos presentes en el agua residual, acondicionada anteriormente en los tratamientos primarios. Ésta se realiza exclusivamente por procesos biológicos los cuales permiten reducir o convertir materia orgánica finamente dividida o disuelta en sólidos que se puedan sedimentar posteriormente, los procesos enfocados a lo largo del tiempo son los lodos activados y filtros percoladores, así mismo se incluyen tratamientos biológicos con presencia de oxígeno. (Rojas, 2002). Este tratamiento permite una remoción de DBO entre el 85% y el 95%.

2.3.5.1 Tanque de aireado con lodos activados

El sistema de lodos activados utiliza aireadores para el suministro de oxígeno y la degradación de la materia orgánica, el tratamiento consiste en la oxidación biológica de la materia orgánica, ésta se realiza pasando líquido residual que se encuentra en contacto con el lodo que contiene concentraciones microbianas provenientes de la recirculación. (Gómez, 2016)

2.3.6 Tratamientos Terciarios

Tienen como objetivo la complementación de los tratamientos anteriores, que permitan lograr efluentes con menor carga orgánica, mediante la utilización de métodos químicos sedimentar rápidamente las partículas o eliminarlas, para que posteriormente sean desechadas o reutilizadas en procesos industriales, riego, etc. (Heinke, 1999)

2.3.6.1 Clarificador secundario

Los clarificadores secundarios trabajan en dos fases de sedimentación, primera decanta lodos activos y posteriormente en su segunda fase se encarga de la decantación de sólidos ligeros. La primera fase es la más compleja ya que al decantar lodos activos, ésta presenta más dificultad, con una densidad mayor, lo que da como resultado en el diseño un tiempo de retención hidráulica entre 4 y 6 horas. (Mogen Henze, 2008)

3. Capítulo III Metodología

Para el siguiente proyecto se utilizó un diseño investigativo el cual consta de dos partes, distribuidas para cada objetivo. Con la finalidad de proponer una mejora en el manejo de aguas residuales contaminadas con lácteos, se realizó un muestreo, diseño y simulación biocinética del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual.

3.1 Medición de caudales

Para obtener el caudal se realizó un aforo controlado en un recipiente de 1 Litro, éste fue realizado en la salida de la conducción del efluente durante todo el día cada 2 horas por una semana, coincidiendo con los picos de producción de la empresa para obtener un caudal máximo de diseño con el cual iniciar el dimensionamiento de la planta de tratamiento. (Zaixo,2002).

3.2 Toma de muestras

Se realizó el muestreo en el efluente de la quesera el Salinerito en la Provincia de Bolívar, cantón Salinas, el mismo que se ejecutó mediante un muestreo compuesto en la salida de la planta de procesamiento. Se tomaron 4 muestras de 2 litros durante las horas de producción, que son desde las 9 am hasta las 4 pm, durante 6 días laborables de la empresa. En estas muestras se realizó la caracterización de los siguientes parámetros: pH, Temperatura, DQO fracción,

DBO, de acuerdo con los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF 2012). Cabe señalar que los parámetros de pH y temperatura fueron medidos en campo al momento de tomar la muestra. Se recolectaron muestras de 1 litro en intervalos de 2 horas ya que, en ese intervalo la planta producía y se obtenía agua residual.

3.3 Preservación

Para conservar la muestra que sirvió para el análisis químico, se recolectó en botellas ámbar, proporcionadas por el laboratorio de Tratamiento de Aguas de la Universidad de las Américas. Una vez tomada la muestra se llenó el recipiente evitando airear, de manera que la botella quedó completamente llena hasta el borde superior sin cámara de aire. El análisis se lo realizó en la Universidad de las Américas, para lo cual se transportó la muestra en un cooler con hielo a 4 °C, el mismo día muestreado. (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1993).

3.4 Fraccionamiento de la DQO

En el presente estudio realizó únicamente el fraccionamiento de la DQO de agua residual láctea por el motivo de que las características de la misma, presentan cargas orgánicas representativas que no se encuentran dentro de normativa legal, además el prediseño de la PTAR se encuentra enfocada en la remisión de materia orgánica.

El fraccionamiento de la DQO se lo realizó en los laboratorios de las Universidad de las Américas, para esto se utilizó un método físico químico el que consiste en la degradación de la demanda química de oxígeno mediante oxidación y posteriormente se midió la cantidad biodegradable y no biodegradable del efluente que alimentará la planta de tratamiento (Menéndez y Pérez, 2007).

En el fraccionamiento de la DQO se utilizaron dos metodologías para obtener una comparación de resultados, estas metodologías fueron el método Stowa y el fraccionamiento según el método de Park. (Rojas,2002)

El fraccionamiento se lo realizó en las muestras compuestas obtenidas durante la campaña de muestreo, en las que se determinó la DQO total y DQO soluble, así como las cuatro fracciones establecidas por el modelo ASM1.

Para obtener la DQO inicial se utilizó el kit HI93754C-25 de HANNA instruments. En primer lugar, para la metodología de Park, para la cual se recolectó lodo de la PTAR de la Universidad de las Américas el cual se llevó al laboratorio, una vez ahí se aireó durante 24 horas con una bomba pequeña, dentro de un recipiente de cristal con agitación constante, con el objetivo de activar el lodo. Pasadas las 24 horas se colocó la muestra de agua y se pudo medir el oxígeno disuelto el cual dio 2.3 mg/L, la sonda se mantuvo para continuar con la medición durante 2 días, hasta que el oxígeno disuelto se estabilizó en 5.5 mg/L, aquí se realizó una segunda medición de DQO. Ésta se subdivide en rápidamente biodegradable soluble y lentamente biodegradable particulada, por otra parte, la no biodegradable se sub divide en dos que son la no biodegradable soluble y no biodegradable particulada.

El segundo método utilizado fue el método STOWA, aquí se determinó el DQO inicial mediante la utilización del mismo kit HI93754C-25 de HANNA instruments, que fue utilizado para la determinación de la DQO inicial en el método Park, se utilizó este kit nuevamente ya que cuenta con un rango de 0 a 15000 mg/l, se utilizó este rango ya que en bibliografía recopilada el valor promedio de demanda química de oxígeno del agua residual láctea supera los 6000 mg/L. Siguiendo con la metodología proporcionada por el kit se agregó 2 ml de muestra y se agitó durante 1 min y llevar al bloque digestor durante 30 min a 160 grados centígrados.

Este procedimiento se realizó con la muestra cruda y la filtrada, el proceso de filtrado se utilizó una membrana de polipropileno de 0.45 μm .

3.3.1 DQO no biodegradable

Obtenida la DQO inicial del agua cruda y la filtrada, se procedió a realizar el proceso de incubación en las botellas oxitop, para esto se utilizó un inhibidor de nitrificación que evito tener resultados erróneos en las mediciones de DBO, y se llenó cada botella oxitop según el rango de DQO inicial.

(Ecuación 1)

$$D_{nb} = D_t - D_{tb}$$

Donde:

DQO no biodegradable = D_{nb}

DQO total = D_t

DQO biodegradable total = D_{bt}

3.3.2 DQO biodegradable total

(Ecuación 2)

$$D_{tb} = \frac{1}{1 - f_{DBO}} * DBO_u$$

f_{DBO} = factor de corrección (0.15)

DBO_u = DBO última (mg/l)

3.3.3 DQO soluble inerte (Si)

(Ecuación 3)

$$S_i = DQO \text{ soluble inerte}$$

La DQO soluble inerte se obtendrá al medir en el agua residual que se encuentra en las botellas oxitop después de los 15 días de incubación y filtrar para obtener el valor.

3.3.4 DQO soluble (Ss)

(Ecuación 4)

$$S_s = D_i - S_i$$

Donde:

D_i = DQO soluble (obtenida en la medición del agua filtrada inicial)

3.3.5 DQO particulada (Xs)

(Ecuación 5)

$$X_s = D_{bt} - S_s$$

3.3.6 DQO particulada inerte (Xi)

(Ecuación 6)

$$X_i = D_t - (S_i + S_s + X_s)$$

3.5 Bases y criterios de diseño

3.5.1 Canal de aproximación

El canal de aproximación propuesto como diseño a implementar es un equipo a cielo abierto de hormigón; éste se diseñó en base al caudal máximo horario obtenido. Para el dimensionamiento del canal se utilizaron criterios de la norma C.E.C., 2000. Se hace hincapié que para la determinación de la velocidad se utilizó el método de Manning, usando un coeficiente de rugosidad de 0.001, el cual se indica para paredes de hormigón. (Eddy, 1995).

Para definir la geometría del canal de aproximación se utilizaron las siguientes fórmulas.

Área del Canal

(Ecuación 7)

$$A = Q_{max}/V$$

Donde:

$Q_{max.}$ = caudal máximo horario. (m³/s)

V = velocidad del agua en la salida. (m/s)

Profundidad del canal de aproximación

Para la determinación de la profundidad del canal utilizaremos la relación de 1.5:1, por lo que se la realizará con la fórmula:

(Ecuación 8)

$$Pr = \sqrt{\frac{A}{1.5}}$$

Donde:

Pr = profundidad del canal de aproximación. (m)

A = área transversal del canal. (m²)

Al resultado se le sumará una altura de seguridad que establece el código CEC 2000 que es de 0.3 m

Ancho del canal de aproximación

(Ecuación 9)

$$b = 1.5b * Pr$$

$$b = 1.5 * p$$

donde:

b = ancho del canal de aproximación (m)

Pr = profundidad del canal aproximación (m)

Radio Hidráulico

(Ecuación 10)

$$R = \frac{A}{b + 2Pr}$$

Donde:

R = Radio Hidráulico

A = Área del canal de aproximación (m²)

b = ancho del canal de aproximación (m)

Pr = profundidad del canal de aproximación (m)

Velocidad de Manning

(Ecuación 11)

$$Vm = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Vm = Velocidad de Manning (m/s)

n = coeficiente de rugosidad "hormigón"

R = Radio Hidráulico

S = Pendiente del canal de aproximación

3.5.2 Rejillas

Cumpliendo con los parámetros recomendados en el Código Ecuatoriano de Construcción C.E.C 2000, se diseñó un sistema de rejillas o cribas, de barras gruesas y finas, las cuales cumplirán la función de retener sólidos gruesos y finos, para que no comprometan el correcto funcionamiento de los posteriores tratamientos. (CONAGUA).

El diseño y dimensionamiento de las cribas cumple con lo establecido en el CEC 2000 el cual estipula un ancho de 0.13 m en barras gruesas, con un espaciamiento de 0.04 m entre las mismas y para barras finas recomienda un ancho de 0.005 m, con un espaciamiento de 0.02 m, estas serán colocadas a 45 o 60 grados como lo menciona la norma, además de cumplir con velocidades entre barras de 0.4 y 0.75 m/s.

Para dimensionar el sistema se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Número de barras

(Ecuación 12)

$$n = \frac{b}{a + s}$$

Donde:

n = número de barras

b = ancho del canal de aproximación (m)

s = espacio entre barras (m)

a = ancho de barras (m)

Sección transversal del canal

(Ecuación 13)

$$St = p * b$$

Donde:

P = profundidad del canal de aproximación (m)

b = ancho del canal de aproximación (m)

Velocidad horizontal del flujo (m/s)

(Ecuación 14)

$$v = \frac{Q}{St}$$

Donde:

v = velocidad horizontal (m/s)

Q = caudal de diseño (m³/s)

Radio Hidráulico

(Ecuación 15)

$$R = \frac{A}{b + 2P}$$

Velocidad de Manning

(Ecuación 16)

$$Vm = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Pérdida de carga en rejillas

(Ecuación 17)

$$\Delta h = \beta * \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} * \sin \alpha$$

Δh = pérdida de carga (m)

β = factor de forma de las barras

e = espesor de las barras (m)

V = velocidad del flujo de agua (m/s)

d = distancia entre barras (m)

α = ángulo de inclinación de las barras

g = gravedad (m/s²)

3.5.3 Canaleta Parshall

Las dimensiones del medidor Parshall fueron establecidas mediante la tabla que propone Azevedo y Guillermo Acosta en su Manual de hidráulica pág. 472, la cual incluye dimensiones típicas de medidores hasta de 3.05 m.

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 1/2'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

Figura 4. Tabla de dimensiones típicas de medidores Parshall.

Tomado de Manual de Hidráulica (Azevedo, 1976, p. 472).

3.5.4 Trampa de grasa

El diseño de la trampa de grasa se realizó mediante el código internacional para instalaciones particulares de desagües sanitarios, 2009. El cual estipula los siguientes parámetros de diseño y ecuaciones:

Parámetros de diseño

Tiempo de retención hidráulica

- 3 minutos para flujos de entrada de 2 a 9 L/s

Relación ancho largo de 1: 1.8 a 1.4

Tabla 2.

Velocidades ascensionales para la densidad de los aceites, grasas y áreas superficiales.

Densidad de los aceites y grasas (mg/l)	Velocidad de ascenso (m/hr)	Área de la superficie de los separadores de aceite y grasas por cada l/s (m)
22.50	22.50	0.16
800	18.00	0.20
850	13.50	0.27
900	9.00	0.40

Adaptado de velocidades ascensionales (Norma Suiza), 2012.

Área superficial de la trampa de grasa

(Ecuación 18)

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

A_s = área superficial (m²)

Q = caudal residual (m³/s)

V_a = velocidad ascendente (m/s)

Volumen de la trampa de grasa

(Ecuación 19)

$$Vol = Q_{to}/60$$

Vol = volumen (m^3)

to = tiempo de retención hidráulico (min)

Altura útil de agua

(Ecuación 20)

$$h = \frac{Vol}{As}$$

h = altura útil de agua (m)

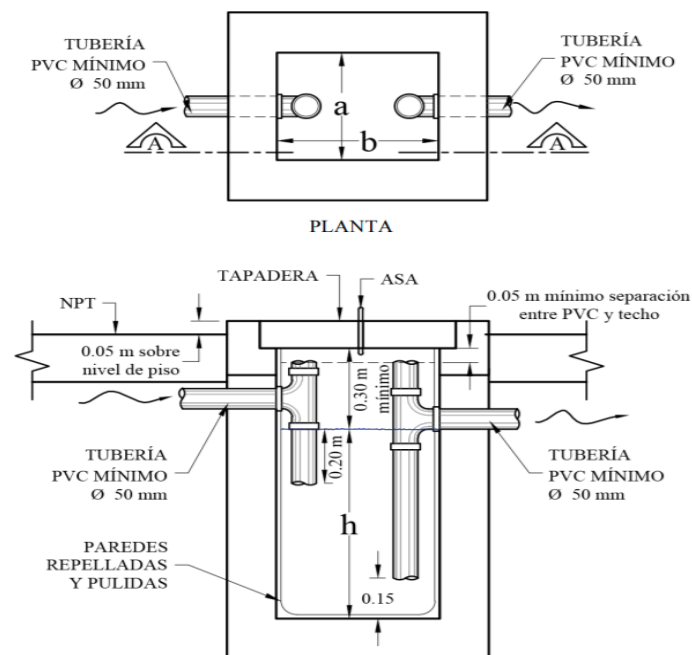


Figura 5. Cortes longitudinales de una trampa de grasa convencional.

Tomado del manual de fosas sépticas (CEC, 2000).

3.5.5 Floculador mecánico vertical

Se obtuvo la dosis óptima a inyectarse mediante un test de jarras, en el cual se utilizó sulfato de aluminio al 10% como solución patrón, para la misma se realizó el cálculo de la cantidad de gr de solución de sulfato de aluminio dando como resultado 116 gr y aforar a 1000 ml.

Para realizar el test de jarras se utilizaron 10 ml de la solución patrón en 100 ml de agua destilado para obtener la solución final al 1%, esta solución se añadió con una pipeta de 10 ml, y se realizó la mezcla rápida durante 45s a 100 rpm, una vez hecha la mezcla rápida se disminuyo la velocidad a 40 rpm durante 30 min y se dejo flocular el agua durante 20 min como tiempo de residencia. Finalmente se extrajo las paletas y se dejo sedimentar el agua durante 2 horas para realizar las mediciones a 5 cm de la superficie libre del agua y se caracterizo el color, turbiedad y pH.

El diseño del floculador mecánico se realizó, mediante los parámetros establecidos en el CEC 2000 y siguiendo la metodología de cálculo del libro de Tratamiento biológico de aguas residuales. (López,2017).

Volumen del tanque floculador

(Ecuación 21)

$$V_o = \frac{Q * t}{N_o * N_e}$$

Donde:

V_o = volumen del floculador

t = tiempo de residencia (s)

N_o = número de trenes

N_e = número de etapas

Longitud del tanque de muestra

(Ecuación 22)

$$L = \sqrt[3]{V_o}$$

L = longitud

V_o = Volumen del floculador

Esta relación es posible ya que el CEC 2000 indica que el tanque debe ser cuadrado.

Volumen de flóculos

(Ecuación 23)

$$\Omega = \frac{\pi * di * ni}{6}$$

Donde:

Ω = flóculo por unidad de volumen de solución (cm³/L)

di = diámetro de partícula (cm)

ni = número de concentración de partículas (1/L)

Tiempo medio de floculación

(Ecuación 24)

$$tm = \frac{-\pi * \ln(0.95)}{4\alpha * \Omega * Gr}$$

tm = tiempo medio de floculación (s)

α = factor de eficiencia de colisión de partículas, entre (0 y 1)

Gr = gradiente de velocidad (CEC 2000, estipula 1/10 s)

Área plana de la cámara

(Ecuación 25)

$$Apl = L^2$$

Diámetro de propellers

(Ecuación 26)

$$Te = \sqrt{\frac{4Apl}{\pi}}$$

Te = ancho total de la cámara (m)

Apl = área plana de la cámara (m²)

Ancho total de la turbina

(Ecuación 27)

$$Dt = 0.45(Te)$$

Determinación de la potencia

(Ecuación 28)

$$Pot = Gr^2 * u * Vo$$

Donde:

Pot = potencia requerida

u = viscosidad cinemática

Determinación de la rotación máxima

(Ecuación 29)

$$Nu = \sqrt[3]{\frac{Pot}{Np * \rho * Dt^5}}$$

Nu = rotación máxima (1/s)

ρ = densidad del fluido (kg/m³)

Dt = ancho total de la turbina (m)

3.5.6 Homogeneizador

Se propuso el diseño de un tanque circular por motivo de que la empresa cuenta con tanques circulares que podrían servir en este proceso.

Área del homogeneizador

(Ecuación 30)

$$Ah = \frac{Vh}{hH}$$

Donde:

Ah = área del homogeneizador (m²)

Vh = volumen del agua residual (m³)

hH = altura del tanque homogeneizador (m)

Radio del tanque homogeneizador

(Ecuación 31)

$$rH = \sqrt{\frac{Ah}{\pi}}$$

rH = radio del tanque (m)

Volumen del tanque homogeneizador

(Ecuación 32)

$$VH = \pi r^2 * hH$$

Donde:

VH = volumen del tanque homogeneizador (m³)

Determinación de la potencia

(Ecuación 33)

$$Pot = Gr^2 * u * VH$$

Donde:

Pot = potencia requerida

u = viscosidad cinemática

Para obtener el gradiente de velocidad se utilizó la tabla 4 que presenta los valores del libro de ingeniería de aguas residuales de METCALF-EDDY.

Tabla 3.

Tabla de Gradientes de velocidad

		Intervalo de Valores	
Proceso		Tiempo de Detención	Valor de G, s ⁻¹
Mezclado	Operaciones de mezcla rápida típicas	5-20 s	250-1500
	Mezcla rápida en procesos de filtración de contacto	< 1-5 s	1500-7500
Floculación	Procesos de floculación típicamente empleados en el tratamiento del agua residual	10-30 min	20-80
	Floculación en procesos de filtración directa	2-10 min	20-100
	Floculación en procesos de filtración de contacto	2-5 min	30-150

Tomado de Ingeniería de aguas Residuales (Metcalf-Eddy, s.f).

3.5.7 Tanque de aireado con lodos activados

El diseño se realizó mediante la metodología propuesta en el libro de tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. (ATV-DVWK, STANDARD ATV-DVWK-A 198E Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities, 2003)

Flujo total de DQO del afluente

(Ecuación 34)

$$F_{sti} = St_i * Q$$

Donde:

F_{sti} = Flujo total de DQO (kg/día)

St_i = DQO total del afluente (mg/L)

Q = caudal de diseño

Flujo diario de DQO biodegradable

(Ecuación 35)

$$F_{sbi} = (1 - f_{sus} - f_{sup}) * F_{Sti}$$

Donde:

F_{sbi} = flujo diario de DQO biodegradable (kg/día)

f_{sus} = fracción no biodegradable total soluble

f_{sup} = fracción no biodegradable total particulada

Flujo de materia no biodegradable particulada

(Ecuación 36)

$$FXI_{vi} = F_{Sti} * \frac{f_{sup}}{f_{cv}}$$

Donde:

FXI_{vi} = flujo diario de materia orgánica no biodegradable (kg/día)

Flujo diario de materia orgánica particulada

(Ecuación 37)

$$FX_{loi} = Q * X_{loi}$$

Donde:

FX_{loi} = Materia inorgánica particulada kg/día

X_{loi} = Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/l)

Sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico

(Ecuación 38)

$$MXv = \left[FX_{vi} * TRS + \frac{FSbi * YHv * (1 + f_H * b_H * TRS)}{(1 + b_{HT} * TRS)} \right]$$

Donde:

MXv = masa de sólidos suspendidos volátiles (kg)

$FSbi$ = Flujo diario de DQO biodegradable (kg/día)

YHv = Rendimiento de los OHOS (mgSSV/mgDQO)

TRS = tiempo de residencia de lodos (días)

f_H = Fracción no biodegradable de los OHOS (mgDQO/mgDQO)

b_H = tasa específica de respiración endógena (1/día)

FX_{vi} = Flujo diario de materia no biodegradable particulada (kg/día)

3.5.8 Clarificador secundario

Para el diseño del clarificador secundario se aplicó la normativa alemana (ATV-DVWK-A 281E), ésta hace hincapié en el proceso de diseño de clarificadores secundarios.

Caudal de ingreso al clarificar secundario

En el diseño del clarificador secundario se tomaron criterios y parámetros bases de las normas ATV-DVWK-A 281E y ATV-DWA 131, con la finalidad de realizar un dimensionamiento preciso del tanque clarificador.

Las ecuaciones siguientes fueron tomadas de la norma ATV-DWA 131.

(Ecuación 39)

$$Q_{cs} = Q_d * (1 - RR_m)$$

Donde:

Q_{cs} = caudal de ingreso al clarificador secundario (m³/s)

Q_d = caudal de diseño (m³/s)

RR_m = Tasa de recirculación

Área superficial del tanque

(Ecuación 40)

$$A_{st} = \frac{Q_{cs}}{qA}$$

Donde:

A_{st} = área superficial del tanque (m²)

qA = carga superficial (m³/m²*h)

Volumen del tanque

(Ecuación 41)

$$V_{ss} = A_{st} * h_c$$

V_{ss} = Volumen del tanque clarificador (m³)

h_c = altura del clarificador (m)

Largo del clarificador secundario

(Ecuación 42)

$$L_{ss} = \frac{A_{st}}{B_{ss}}$$

Donde:

L_{ss} = largo del clarificador secundario (m)

B_{ss} = base del clarificador (m)

Concentración de sólidos suspendidos

(Ecuación 43)

$$SS_{Bs} = \frac{1000}{SV1} * \sqrt[3]{Te}$$

Donde:

SV1 = índice del volumen de lodo (L/kg)

Te = tiempo de espesamiento (h)

SSbs = concentración de sólidos suspendidos en el fondo del clarificador (kg/m³).

La concentración de sólidos se calculó mediante el gráfico que evalúa la dependencia volumétrica de lodo y el tiempo de espesamiento (ATV-DVWK-A 131E,2000).

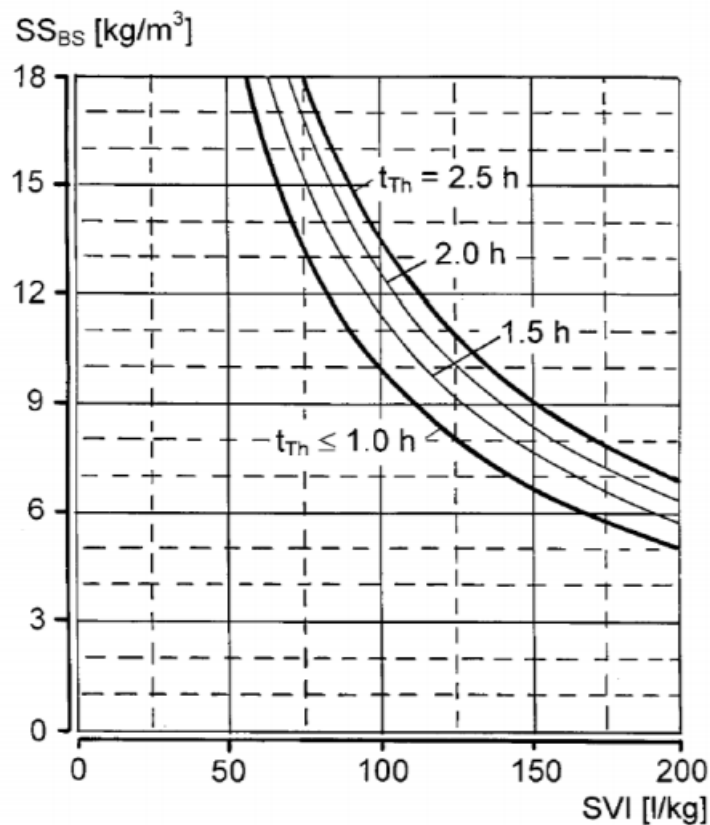


Figura 6. Concentración de sólidos suspendidos en el fondo, en dependencia del líquido volumétrico de lodo y el tiempo de espesamiento.

Tomado de ATV-DVWK-A 131E,2000.

Concentración de lodos recirculados

(Ecuación 44)

$$S_{sr} = 0.8 * S_{Bs}$$

Donde:

S_{sr} = concentración de sólidos suspendidos en el lodo recirculado (kg/m^3)

Concentración de sólidos en el efluente del tratamiento biológico

(Ecuación 45)

$$S_{Sbb} = \frac{RR_m * S_{sr}}{1 + RR_m}$$

Donde:

S_{Sat} = Concentración de sólidos en el efluente del clarificador secundario (kg/m^3)

R = tasa de recirculación

Tasa de exceso de lodo

(Ecuación 46)

$$q_{sv} = RR_m * S_{Sat} * SV_1$$

Donde:

q_{sv} = tasa de exceso de lodo ($\text{L/m}^2 \cdot \text{h}$)

SV_1 = índice del volumen de lodo (L/kg)

Tiempo de retención hidráulica

(Ecuación 47)

$$T_s = \frac{V_{ss}}{Q_{cs}}$$

T_s = tiempo de retención hidráulico en el clarificador secundario (hr)

Capa de almacenamiento y limpieza

(Ecuación 48)

$$h_3 = \frac{S_{Sat} * q_a * (1 + R) * T_e}{S_{Bs}}$$

Donde:

h_3 = capa de almacenamiento y limpieza (m)

T_e = tiempo de espesamiento

Volumen comparativo de lodos

(Ecuación 49)

$$V_{sv} = \frac{qsv}{qb}$$

Donde:

V_{sc} = volumen comparativo de lodos (L/m^3)

qb = carga superficial ($m^3/m^2 \cdot h$)

Capa de transición y amortiguamiento

(Ecuación 50)

$$h_1 = qa(1 + R) \left[\frac{500}{1000 - V_{sv}} + \frac{V_{sv}}{1100} \right]$$

Donde:

h_2 = capa de transición y amortiguamiento (m)

Profundidad total del clarificador secundario

(Ecuación 51)

$$H_f = h_1 + h_2 + h_s$$

Donde:

h_s = altura de seguridad (0.4 m)

3.6 Simulación biocinética

Una vez obtenidos los resultados del fraccionamiento y haber dimensionado toda la planta de tratamiento se procedió a la calibración mediante un software de simulación biocinética, que permitió simular los tratamientos con los cuales

optimizar la eliminación biológica de DQO y de los demás parámetros presentes en el agua contaminada. (Cruz, 2015).

Se realizaron dos simulaciones, una con las dimensiones calculadas y la segunda variando las dimensiones de los tanques de homogeneización y biológico.

4. Capítulo IV Resultados

4.1 Medición de caudales de diseño

Se determinó el caudal, a partir del promedio de caudales obtenidos en las mediciones realizadas durante los cinco días. El cual dio como resultado un caudal de 16 m³/día con el que se realizaron los diseños del canal de aproximación, sistema de rejillas, canaleta Parshall, floculador mecánico y homogenizador.

4.2 Dosis óptima de coagulante y pH óptimo

Para obtener la dosis óptima de coagulante se preparó una solución patrón de sulfato de aluminio al 10%, que luego se diluyó en agua destilada al 1% con la que se procedió a realizar la prueba en el test de jarras.

Se midió, turbidez, pH, temperatura y DQO obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.

Características del agua residual cruda de las 9 am

Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
198	6.6	22.3	5000

Tabla 5.

Características finales del agua residual de la muestra tomada a las 9 am

Dosis solución de coagulante al 1% (mg/L)	Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
8	36.4	6.86	22.3	3200
10	3.4	6.56	23.2	1600
12	20	6.08	22.4	1900
14	32.5	6	24.8	2600

Tabla 6.

Características del agua residual cruda de las 11 am

Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
210	6.58	24.3	4600

Tabla 7.

Características finales del agua residual de la muestra tomada a las 11 am

Dosis solución de coagulante al 1% (mg/L)	Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
8	58.5	6.32	22.4	3100
10	12.3	22.3	22.3	1400

12	24.6	6.74	24.8	2100
14	42.6	6.8	21.6	3200

Tabla 8.

Características del agua residual cruda de las 1 pm

Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
220	7.1	22.4	4900

Tabla 9.

Características finales del agua residual de la muestra tomada a las 1 pm

Dosis solución de coagulante al 1% (mg/L)	Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
8	51.85	6.68	21.6	3000
10	18.65	7.12	22.4	1500
12	26.4	6.98	22.9	2300
14	49.6	6.12	21.6	3400

Tabla 10.

Características del agua residual cruda de las 3 pm

Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
---------------------	-----------	--------------------	-----------------

189	6.89	21.6	4800
-----	------	------	------

Tabla 11.

Características finales del agua residual de la muestra tomada a las 3 pm

Dosis solución de coagulante al 1% (mg/L)	Turbidez NTU	pH	Temperatura	DQO mg/l
8	61.35	6.35	22.6	2900
10	16.4	6.24	22.6	1600
12	31.2	6.99	22.6	2400
14	41.8	7.3	22.6	3100

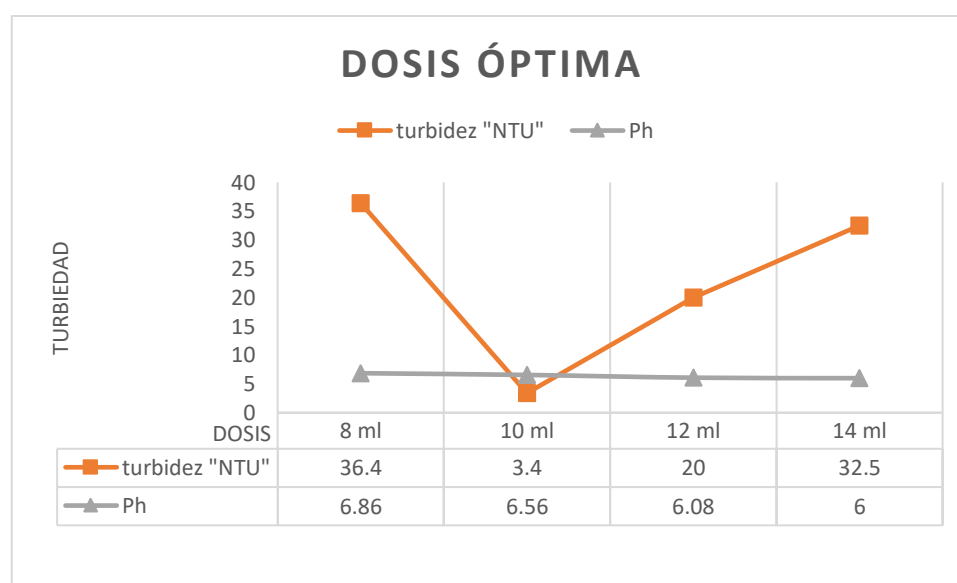


Figura 7. Gráfica de turbiedad y pH en función de la dosis de sulfato de aluminio en mg/L de agua tratada.

Como se determino que la dosis optima es de 10 mg/L, esta será inyectada en el canal Parshall en el cual se realizará la mezcla rápida para posteriormente pasar al floculador.

4.3 Fracciones del agua residual

La caracterización realizada del efluente detalla las fracciones biodegradables y no biodegradables, permitiendo comparar con fraccionamientos realizados en aguas residuales domésticas y tomarlas como un patrón, el agua residual doméstica contiene un 69% de DQO no biodegradable y 31% de DQO biodegradable.

La tabla 12 resume los valores de DQO de cada fracción que ingresan a la planta, se describe la DQO total que está compuesta por la DQO biodegradable y la DQO no biodegradable. De la DQO biodegradable se obtuvo dos fracciones más, que son la DQO rápidamente biodegradable y DQO lentamente biodegradable, y de igual manera la fracción no biodegradable está compuesta por dos fracciones que son, la soluble inerte y particulada inerte.

Tabla 12.

Fracción del agua residual láctea método Stowa.

Fraccionamiento del agua residual láctea método stowa

DQO Total			
5000 mg/L			
DQO biodegradable	3600 mg/L	DQO no biodegradable	1400 mg/L
Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable	Soluble inerte SI	Particulada inerte XI
soluble SS	particulada XS		
2600 mg/L	1000 mg/L	950 mg/L	450 mg/L

Los porcentajes de cada fracción con relación a la DQO total son:

DQO biodegradable = 72%

DQO rápidamente biodegradable soluble = 52%

DQO lentamente biodegradable particulada = 20%

DQO no biodegradable = 28%

DQO soluble inerte = 19%

DQO particulada inerte = 9%

Para obtener un cruce de resultados se realizó el fraccionamiento del agua con el método Park, mediante una sonda de oxígeno que mide la variación de oxígeno durante las primeras 24 horas, y permite fraccionar el agua residual láctea.

Tabla 13.

Fraccionamiento del agua residual láctea método Park

Fraccionamiento del agua residual láctea método Park

DQO Total			
8000 mg/L			
DQO biodegradable	5500 mg/L	DQO no biodegradable	2500 mg/L
Rápidamente biodegradable soluble SS	Lentamente biodegradable particulada XS	Soluble inerte SI	Particulada inerte XI
4900 mg/L	600 mg/L	2200 mg/L	300 mg/L

DQO biodegradable = 69%

DQO rápidamente biodegradable soluble = 62%

DQO lentamente biodegradable particulada = 7.5%

DQO no biodegradable = 31%

DQO soluble inerte = 27.5%

DQO particulada inerte = 3.75%

4.4 Diseño del canal de aproximación

El diseño del canal de aproximación se lo realizó a partir del caudal de diseño de 16 m³/día, obtenido en la medición de caudales. El dimensionamiento se calculó a partir de una velocidad base de 0.30 m/s, con la que se obtuvo el área transversal de 0.28 m², conformada por una base de 0.64 m y una altura de 0.43 m.

La velocidad de Manning de 0.51 m/s, resultado obtenido a partir del coeficiente de rugosidad de 0.014, que se estipula en el CEC 2000 para canales con paredes de hormigón y el radio hidráulico de 0.12 m se calcularon a partir de los resultados anteriores.

La base se asumió en 0.5 m, por temas de mantenimiento, el cálculo del área interior del canal es de 0.57 m², al cálculo de altura se le adiciona un factor de seguridad de 0.3 m.

Tabla 14.

Resultados del canal de aproximación

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Velocidad base	0.30	m/s
área transversal	0.28	m ²
Base	0.64	m
Altura	0.43	m
Velocidad de Manning	0.51	m/s
Radio hidráulico	0.12	m
Factor de seguridad en altura	0.3	m

4.5 Diseño del sistema de rejillas

Se diseñó un sistema combinado, con rejillas finas y gruesas, con un área de rejilla gruesa de 0.37 m² y 0.3 m² para las rejillas finas, adicionalmente se determinó un requerimiento de 12 rejillas gruesas y 10 rejillas finas, inclinadas a 45 grados.

Tabla 15.

Resultados rejillas gruesas y finas

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Área rejilla gruesa	0.37	m ²
Área rejilla fina	0.3	m ²
Número de rejillas gruesas	12	-
Número de rejillas finas	10	-
Velocidad de Manning	0.51	m/s
Radio hidráulico	0.12	m
Factor de forma	2.42	-
Perdida de carga rejillas gruesas	0.007	m
Perdida de carga rejillas finas	0.006	m

4.6 Diseño del floculador mecánico vertical

Para obtener el dimensionamiento del floculador, se calculó un volumen de 20.26 m³ a partir del caudal de diseño de 16 m³/día, está diseñado con un tiempo de residencia de 20 min y cuenta con un solo tren y 2 cámaras como indica el código, la longitud del tanque asumiendo una geometría cuadrática, resultó de 2.7 m y 2.7 m de alto.

En el proceso de floculación, el tiempo medio fue de 61.52 s, esto asumiendo un factor de eficiencia de 0.25 y una unidad de flóculo de 0.262 cm³/L, además de una gradiente de velocidad de 10s⁻¹.

El dimensionamiento de los propellers o impulsores se realizó siguiendo los parámetros detallados en la figura 7, se determinó un ancho de cámara de 3 m y un ancho total de turbina de 1.37 m, dando un área plana de 7.4 m²

Parameter	Range	Definition Sketch
Impeller	Hydrofoil or 45° pitched-blade turbine (PBT), hydrofoil preferred	
D/T_e^a	0.3–0.6, 0.4–0.5 preferred	
H/T_e	0.9–1.1	
C/H	0.5–0.33	
N	10–30 rev/min	
Tip speed	2–3 m/s	

Figura 7. Criterios de diseño para el floculador de turbina vertical.

Tomado de MWHS Water Treatment, 2012.

La presión dentro del tanque fue de 2.45*10³ Pa, esta se calculó a partir de la densidad del fluido de 1000 kg/m³, la gravedad de 9.8 m/s² y una diferencia de altura de 0.25 m.

Se determinó una potencia requerida de 0.0035 hp, a partir de un gradiente de velocidad de 10s⁻¹. Y una viscosidad cinemática de 1.31* 10⁻³ kg/m*s.

Los resultados de los cálculos del floculador se detallan en la tabla 16

Tabla 16.

Resultados floculador mecánico vertical

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Volumen del floculador	20.26	m ³
Tiempo de residencia	20	min
Número de cámaras	2	-
Longitud del tanque	2.7	m
Altura del tanque	2.7	m
Tiempo de floculación medio	61.52	s
Factor de eficiencia de colisión	0.25	-
Unidad de floculo	0.262	cm ³ /L
Gradiente de velocidad	10	s ⁻¹

Tabla 17.

Resultados propellers

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Ancho de cámara	3	m
Ancho de turbina	1.37	m
Área plana de la cámara	7.4	m ²
Presión dentro del tanque	2.45*10 ³	Pa
densidad del fluido	1000	kg/m ³
gravedad	9.8	m/s ²
Diferencia de altura	0.25	m
Potencia requerida	0.0035	hp
Viscosidad cinemática	1.31* 10 ⁻³	kg/m*s

4.7 Diseño del Homogeneizador

El tanque homogeneizador, se propuso que sea circular, se determinó un área de 7.4 m², además de un radio del tanque de 1.53 m, con esto se obtuvo un volumen de tanque de 20.27m³, para realizar el proceso de mezclado se determinó una potencia de 2.26 hp.

Tabla 18.

Resultados de cálculos homogeneizador circular.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Área del tanque	7.4	m ²
Radio del tanque	1.53	m
Volumen del tanque	20.27	m ³
Potencia del mezclador	2.26	hp

4.8 Diseño del tanque de aireado con lodos activados

Debido a la carga orgánica obtenida después de realizar el test de jarras, simulando el tratamiento de coagulación y floculación se obtuvo un DQO de 1800 mg/L el cual sobrepasa los niveles máximos permitidos por la normativa nacional, por esto se implementó un tratamiento biológico denominado tanque aireador con lodos activados, esto permitirá la remoción de materia orgánica biodegradable.

Para la remoción de materia orgánica se calculó el flujo diario de DQO biodegradable y el flujo diario de materia no biodegradable, obteniendo un 21.50 kg/día y 0.692 kg/día respectivamente.

El volumen del tanque es de 9.1 m^3 , esto se obtuvo con una edad de lodo de 5 días, tomando como inicio que el agua residual contiene bajas cantidades de nitrógeno y no requiere procesos de nitrificación, se determinó la masa de lodos secundarios que se producen por día dando un valor de 7.35 kg/día . Además, se calculó 36.75 kg de masa total sedimentable. Y se obtuvo un 32.38 kg de masa en sólidos suspendidos volátiles

El volumen de aire necesario para un proceso eficiente, en promedio, es de 805 L/min , adicionándole un factor de seguridad de 2, según la fórmula.

4.9 Diseño del clarificador secundario

El clarificador secundario se dimensionó a partir del caudal de $16 \text{ m}^3/\text{día}$ y basándose en los parámetros de diseño que propone la normativa (ATV-DVWK-A 131E), tomando una altura de seguridad de 0.4 m , una tasa de recirculación de 1, carga superficial de $0.80 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, un tiempo de espesamiento de 1.5 h y un índice volumétrico de lodo de 100 L/kg , datos que se estimaron según la tabla 19, tomada del apartado 6.2 de la norma ATV-DWA-A131 (2016).

Tabla 19.

Valores de índices de lodos.

Objetivo de la limpieza	Favorable	Desfavorable
Sin Nitrificación	100-150	120-180
Nitrificación y desnitrificación	100-150	120-180
Estabilización de lodos	75-120	100-150

Adaptado de (ATV-DWA 131,2016)

Con estos parámetros se obtuvo un caudal de ingreso de $1.33 \text{ m}^3/\text{hr}$, el cual sirvió para determinar un área superficial del tanque de 1.6 m^2 .

Se determinó el tiempo de retención hidráulica a partir del volumen y el caudal de ingreso, el mismo que es igual a 4.3 horas, esto se encuentra dentro de la norma alemana (ATV-DWA 131,2016) que dispone no menos de 2.5 horas.

La concentración de sólidos suspendidos se determinó con la ayuda del índice volumétrico de los lodos y el tiempo de espesamiento, los cuales se obtuvieron a partir de la figura 6, dando como resultado una concentración de sólidos suspendidos de 11.4 kg/m^3 , una capa de almacenamiento y limpieza de 0.96m, además, se calculó la capa de transición y zona de amortiguamiento de 2.7 m respectivamente. Basándose en la norma alemana ATV-DWA-A 131 se estimó una capa de seguridad de 0.4 m, lo que da como resultado una profundidad total de 4 m.

Una vez determinada la profundidad total se obtuvo un volumen del clarificador secundario de 5.83 m^3 y un índice de lodo de 100 L/kg , valor con el cual se determinó que el clarificador tiene una tasa de exceso de lodo de $457 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$.

Tabla 20

Resultados de cálculos del clarificador secundario

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Caudal de ingreso al clarificador	1.33	m^3/hr
Área del clarificador	1.66	m^2
Volumen del clarificador	5.83	m^3
Largo del clarificador	1.5	m
Ancho del clarificador	1	m

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Concentración de sólidos suspendidos	11.44	kg/m ³
Concentración de sólidos suspendidos en el lodo de recirculación	9.15	kg/m ³
Concentración de sólidos suspendidos en el efluente del tratamiento biológico	4.57	kg/m ³
Tasa de exceso de lodo	457.88	L/m ² *h.
Tiempo de retención hidráulica	4.37	hr
Capa de transición y amortiguamiento	2.7	m
Capa de almacenamiento y limpieza	0.96	m
Profundidad total del clarificador	4	m

4.10 Simulación biocinética

Se realizaron dos simulaciones biocinéticas, la primera ingresando los datos dimensionados y calculados, con la que se obtuvo un DQO en el efluente de 384.51 mg/L quedando fuera de normativa legal.

En la segunda simulación se modificó en 30 cm más la profundidad del tanque homogeneizador, de igual manera se incrementó la profundidad del clarificador secundario en 50 cm., con lo que se obtuvo una disminución de DQO en el efluente, este valor descendió hasta los 102.60 mg/L.

5. Capítulo V. Discusión

Los resultados obtenidos en la caracterización del agua, definen que el efluente contiene cargas orgánicas elevadas, que sobrepasan los niveles máximos permitidos, además el efluente se encuentra siendo descargado a un río cercano, por aquello el dimensionamiento, planos estructurales y simulación permitieron determinar la cantidad de remoción de materia orgánica.

Los análisis de laboratorio permitieron conocer la composición del afluente de la planta durante las horas de producción. La DQO promedio fue de 5000 mg/L que corresponde a un valor comparativamente alto con otros tipos de afluentes. Dentro de posibles alternativas de tratamientos se observó que la coagulación y floculación trató efectivamente el agua reduciendo la DQO, mediante pruebas de laboratorio a -1600 mg/L. Al no cumplir con la norma, se analizó la necesidad de un siguiente tratamiento mediante tecnología de lodos activados para luego implementar un clarificador secundario y obtener valores dentro de la normativa legal vigente.

El diseño del tanque homogeneizador se propuso, ya que existe una concentración de materia orgánica variable, por lo que, implementar el homogeneizador permitiría corregir la fluctuación de concentraciones de DQO, específicamente a las 9 am y 1 pm, de esta manera el tanque homogeneizador ecualizará el flujo dando como resultado una concentración constante de ingreso al tratamiento biológico, además que, mediante la aireación producida durante un día, se reducirá en un 50% la DBO última eliminando olores durante la transformación de lactosa en ácido.

Las unidades de tratamiento se diseñaron a partir de las características del afluente, tomando en consideración normativa de diseño y parámetros de construcción, se diseñaron las obras de llegada y tratamientos primarios con un caudal de 16 m³/día, para el tratamiento secundario, es decir para el tanque aireado de lodos activados, se utilizó el caudal de entrada más el caudal de recirculación de lodos, este diseño se encuentra familiarizado con el pre diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales lácteas en la ciudad de

Montevideo, Uruguay en la cual se diseñó un sistema de flotación por aire disuelto, que obtuvo una reducción de materia orgánica del 90%, este porcentaje va relacionado con el porcentaje de remoción que se calculó mediante la simulación biocinética al final de la línea de tratamiento propuesto en la PTAR de Salinas provincia de Bolívar, que fue del 93.7%.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el fraccionamiento del agua residual láctea se obtuvo un 28% de DQO no biodegradable y un 72% de DQO biodegradable, además se obtuvo un 52% de DQO fácilmente biodegradable y un 20% de DQO lentamente biodegradable, por lo que se ve la necesidad de diseñar un tratamiento biológico el cual permita tratar la cantidad biológica no soluble presente en el efluente, se observa que en el fraccionamiento realizado en el residual láctea la fracción biodegradable es mayor, esto se debe a la cantidad de materia orgánica disuelta proveniente de los procesos de elaboración de quesos.

El diseño de un tratamiento físico químico fue necesario por la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua, ya que al realizar el proceso de coagulación se obtuvo una reducción del 68% de material particulado y soluble por lo que la implementación del floculador mecánico vertical se ve sustentado gracias al fraccionamiento realizado del agua residual.

Se diseñó un canal de aproximación de base 0.64 m y altura 0.43 m en el cual se instaló el sistema de cribas, el homogeneizador diseñado tiene un volumen de 20.27 m³, el cual permitirá ecualizar volúmenes y concentraciones, además se realizó el diseño de un tanque aireado con lodos activados usando un tiempo de residencia de 5 días se obtuvo un volumen de 9.1 m³. Como tratamiento final se diseñó un clarificador secundario con 5.83 m³ de volumen y un tiempo de retención hidráulica de 4.37 hr.

En la simulación biocinética se observó que el diseño propuesto daba como resultado un efluente con 312 mg/l de DQO, lo que deja fuera de normativa legal al tratamiento, se realizó un dimensionamiento adicional con la finalidad de disminuir la demanda de materia orgánica y se propuso incrementar el tamaño del tanque homogeneizador y del biológico, éste incremento dio como resultado

un efluente con 102 mg/l de DQO, cumpliendo con la normativa legal y permitiendo verificar que el tratamiento propuesto presta las condiciones necesarias para disminuir la carga orgánica. Además se pone a conocimiento que los cambios realizados en la simulación, se encuentran en pleno cumplimiento con las normativas de diseño.

6.2 Recomendaciones

Realizar mantenimientos continuos a los tanques de almacenamiento de agua residual, hasta que la PTAR se encuentre en funcionamiento, para evitar más fugas de agua residual, evaluar si se requiere la construcción de nuevos tanques de almacenamiento que presten las condiciones necesarias.

Se recomienda realizar campañas de caracterización del agua, tomando muestras en el canal Parshall, para de esta manera estar al tanto de las características del agua y de su posterior depurado.

Además, se recomienda investigar bio coagulantes los cuales logren reducir la turbidez y bajar la carga orgánica de manera natural, que posteriormente representará menos gastos en tratamientos biológicos o químicos.

Se recomienda realizar un estudio topográfico al momento de implementar la planta, además de un análisis de costos unitarios para conocer el valor final de construcción y funcionamiento de la PTAR.

Se recomienda realizar las simulaciones con un mayor número de variables, lo que permite encontrar dimensionamientos óptimos capaces de reducir costos de construcción.

REFERENCIAS

- AGUILA, O. J. (1997). La depuración biológica de efluentes industriales. En Ingeniería Química (pp. 147-153).
- Association, A. P. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: APHA.
- ATV-DVWK. (2001). *STANDARD ATV-DVWK-A 281E. Dimensioning of trickling filters and Rotating Biological Contactors*. Germany.
- ATV-DVWK. (2003). *STANDARD ATV-DVWK-A 198E Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities*. Germany.
- Azevedo Netto, J. &. (1976). *Manual de Hidráulica*. Mexico.
- Carrion, S. G. (2014). *METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO*. CUENCA.
- Castillo Borges, E. R., & Lizama Solís, C. E. (2011). *Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados*. Merida, Mexico: Volumen 15.
- CEC. (2000). *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN DE PARTE IX OBRAS SANITARIAS*. En Normas Para el Estudio y Diseño De Sistemas De Agua Potable y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de [file:///C:/Users/Alienware/Downloads/Code%20of%20practice%20sewer%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Alienware/Downloads/Code%20of%20practice%20sewer%20(4).pdf)
- CONAGUA. ((s.f)). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. En *Diseño de Plantas de Tratamiento De Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario*. México. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019, de <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>
- Cruz, A. M. (2015). *Specialized engineering software for the design and, BioWin*.
- DIN. (2002). *19551-1 Wastewater treatment plants- Rectangular tanks- Part 1*. German National Standard.

- Eddy, M. &. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc. Graw-Hill. Fernández-Alba, A. R. (2006). tratamientos. madrid: citme. Recuperado el 24 de octubre de 2019, de https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Heinke, J. G. (1999). Ingeniería Ambiental. Mexico. Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de <https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPpzlC&printsec=frontcover&#v=onepage&q&f=false>
- Henze, M. L. (2008). Biological Wastewater Treatment: principles, *modelling and design*. London: IWA Publishing. Recuperado el 14 de Diciembre de 2019, de https://books.google.com.ec/books?id=41JButufnm8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Herrera, O. F. (2013). REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL LACTEA UTILIZANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS. Manizales. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de <file:///C:/Users/Alienware/Downloads/Dialnet-ReduccionDeLaContaminacionEnAguaResidualIndustrial-6117791.pdf>
- Ismail, I., Fawzy, A., Abdel-Monem, N., & Mahmoud. (2012). *Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. Journal of Advanced Research*.
- Lapeña, M. R. (1990). Tratamiento de aguas industriales. Barcelona: marcombo. Recuperado el 12 de noviembre de 2019, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=fQcXUq9WFC8C&oi=fnd&pg=PA11&dq=aguas+industriales+residuales&ots=O4jzU_5M95&sig=e6z4h7RoLTLR9srIFGJG7ratwEw#v=onepage&q=aguas%20industriales%20residuales&f=false
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Ciudad de la Habana : ICIDCA.

- Maximo, V. (1995). Hidraulica de canales. En Tecnológica de Costa (p. 487). Costa Rica. Recuperado el 2 de Diciembre de 2019, de <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/13/1169/1195/1213/7173.pdf>
- Mogen Henze, M. v. (2008). *Biological Wastewater Treatment: principles, modelling and desing*. London. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de https://books.google.com.ec/books?id=41JButufnm8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Neuzil. (2006). Clarifier Design. Nucleic Acids Research. USA: Vol 34.
- O.PEDRO, C. (1997). Trabajo de investigación: Efectos de grasas y aceites en el tratamiento biologico por fangos activos. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Papalia, D. E. (2017). Desarrollo Humano. Mexico: decimo tercera edición.
- Rojas, R. (25 de septiembre de 2002). GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential
- Romero, R. (2015). Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG. Etapa 02. Moa: Sorangel. Recuperado el 24 de septiembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200002
- Ronzano, E. (2002). Tratamiento Biologico De Las Aguas Residuales. PRIDESA.
- Rubio, D. I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados. Revista Ingeniería y Región, 73-90.
- SENAPLES. (2014). SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. Obtenido de Manual Informativo para el proceso de

formulación y/o actualización de Planes de Desarrollo y ordenamiento territorial del Ecuador.

Seoáñez Calvo, M. (2003). Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de la industria agroalimentarias.

Madrid.

Sierra, P. (2011). BIODEGRADABILIDAD DE LAS DIFERENTES FRACCIONES DE AGUA RESIDUAL PRODUCIDAS EN UNA TENERIA. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina (pp. 5-19). Bogota.

Zaixso, H. E. (2002). Manual de campo para el muestreo de la columna de agua.

Anexos

VOLUMEN DEL TANQUE " FLOCULADOR"

Vol = volumen

Caudal

tiempo del tratamiento

No = trenes

Ne = etapas

Tiempo de residencia = $t=20\text{min}=0.0138\text{day}$

$$Q := 16 \left(\frac{\text{m}}{\text{day}} \right)^3$$

$$t := 0.0138\text{day}$$

$$No := 1$$

$$Ne := 2$$

$$Vol := \frac{Q \cdot t}{No \cdot Ne \cdot 360 \frac{\text{min}}{\text{day}}} = 20.269 \text{m}^3$$

LONGITUD DEL TANQUE DE MEZCLA

Deduciendo que el tanque tiene una forma cubica se utilizara la siguiente ecuación para realizar el calculo:

Donde :

Longitud = Lon

Volumen = Vol

$$Lon := \sqrt[3]{Vol} = 2.727\text{m}$$

PROCESO DE FLOCULACIÓN

VOLUMEN DE FLOCULOS

Cantidad de volumen de floculos por unidad de volumen de agua.

Donde :

Ω = floculo por unidad de volumen de solución cm^3/L

d_i = diametro de particula cm

n_i = numero de concentración de particulas $1/\text{L}$

$$d_i := 1\text{cm} \quad n_i := 0.5\text{L}^{-1}$$

$$\Omega := \frac{\pi \cdot d_i^3 n_i}{6} = 0.262 \cdot \frac{\text{cm}^3}{\text{L}}$$

TIEMPO MEDIO DE FLOCULACIÓN

Tiempo requerido para que la floculación sea correcta dentro del tanque, es decir formando floculos del tamaño adecuado para la decantación.

Donde :

α = factor de eficiencia de colisión de partículas (entre 0 y 1) $\alpha_1 := 0.2$
 Ω = floculo por unidad de volumen de solución cm³/L
 G = gradiente de velocidad 1/s $Gr := 10s^{-1}$

$$t_{medio} := \frac{-\pi \cdot \ln(0.95)}{4\alpha_1 \cdot \Omega \cdot Gr} = 61.552 \text{ s}$$

Dimensionamiento de Propellers

Tren de calculo para el diseño de una turbina vertical en el floculador

Parameter	Range	Definition Sketch
Impeller	Hydrofoil or 45° pitched-blade turbine (PBT), hydrofoil preferred	
D/T_e^a	0.3–0.6, 0.4–0.5 preferred	
H/T_e	0.9–1.1	
C/H	0.5–0.33	
N	10–30 rev/min	
Tip speed	2–3 m/s	

D/T_e entre 0.3-0.6 y 0.4-0.5

$D_1 := 0.3$

H/te entre 0.9 -1.1

Ht := 1

C/H entre 0.5-0.33

Cf := 0.4

N entre 10-30 rev/min

Nf := 20

tip speed Te entre 2-3 m/s

DIAMETRO DE PROPELLERS

Te = Ancho total de la camara (m)

Apl = Area plana de la camara (m²)

$$Apl := Lon^2 = 7.434 \text{ m}^2$$

L² = Longitud del tanque

Dt = Ancho total de la turbina (m)

$$Te := \sqrt{\frac{4Apl}{\pi}} = 3.077 \text{ m}$$

$$Dt := 0.45 \cdot Te = 1.384 \text{ m}$$

PRECIÓN DENTRO DEL TANQUE

Pre = presión (Pa)

ρ = densidad del fluido (kg/m³)

gr = Aceleración por gravedad (9.8 m/s²)

ΔH = Diferencia de altura entre puntos (m)

$$gr := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Pre := \rho \cdot gr \cdot \Delta H = 2.45 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\Delta H := 0.25 \text{ m}$$

Determinacion de la potencia

Gradiente de velocidad $Gr = 10 \frac{1}{s}$

Viscosidad cinematica $u := 1.31 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$

$$Pot := Gr^2 \cdot u \cdot Vol = 3.561 \times 10^{-3} \cdot hp$$

Requiero una bomba de 1/8 de Hp

Determinacion de la rotacion maxima

power Number entre 0.2 y 0.3

$$Np := 0.25$$

$$N := \sqrt[3]{\frac{Pot}{Np \cdot \rho \cdot Dt^5}} = 0.128 \frac{1}{s}$$

$$N := \frac{0.327 \cdot 60}{1} = 19.62 \frac{Rev}{min}$$

$$N := 19.62 \frac{1}{s}$$

Velocidad angular = Va

$$Va := N \cdot \left(\frac{2\pi}{1}\right) \cdot \left(\frac{1}{60}\right) \cdot \frac{rad}{s} = 2.055 \frac{rad}{s}$$

Velocidad lineal = Velocidad angular * Radio

$$Vl := Va \cdot \frac{Dt}{2} = 1.422 \frac{m}{s}$$

CAPACIDAD DE BOMBEO Y TIEMPO DE CIRCULACIÓN

Pitched-blade turbine with camber (hydrofoil, 3 blades)		0.2–0.3	0.45–0.55	Blending, maintaining suspensions, flocculation
---	---	---------	-----------	---

Capacidad de bombeo $N_q := 0.5$

$$\theta := \frac{\text{Vol}}{Q} = 2.385 \times 10^3 \text{ s} \quad \text{Tiene que ser menor a 60s}$$

- Capacidad de bombeo

$$C_b := N_q \cdot N_{..} \cdot D_t^3 = 26.032 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Tiempo de circulación

$$T_c := \frac{\text{Vol}}{Q} = 2.385 \times 10^3 \text{ s}$$

CALCULOS HOMOGENEIZADOR

Area del homogeneizador

$$a_h := \frac{\text{Vol}}{L_{on}} = 7.434 \text{ m}^2$$

Radio del tanque homogeizador

$$r_H := \sqrt{\frac{a_h}{\pi}} = 1.538 \text{ m}$$

Volumen del homogeneizador

$$\text{Vol}_h := \pi \cdot r_H^2 \cdot L_{on} = 20.269 \cdot \text{m}^3$$

potencia del mezclador

$$\text{Gr2} := 250 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\text{pote} := \text{Gr2}^2 \cdot u \cdot \text{Volh} = 2.226 \cdot \text{hp}$$

- **DISEÑO DEL CANAL DE APORXIMACIÓN**

caudal de ingreso

$$Q2 = 16 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **PROFUNDIDAD (P)**

$$\text{velocidad} := 0.031 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{secctra} := \frac{Q2}{\text{velocidad}} = 0.274 \text{ m}^2$$

$$P := \sqrt[2]{\left(\frac{\text{secctra}}{1.5}\right)} = 0.428 \text{ m} \quad p = \text{altura}$$

- **BASE b**

$$\text{basenom} := \frac{\text{secctra}}{P} = 0.641 \text{ m}$$

$$\text{base} := 1.5 \cdot P = 0.641 \text{ m}$$

$$b := 0.5 \text{ m}$$

por seguridad se suma 0.3

ecuacion de manning

$$n := 0.014$$

$$\text{pendiente} := 0.05$$

REJILLAS

$$Rh := \frac{P \cdot b}{2(b + P)} = 0.115 \text{ m}$$

- **VELOCIDAD DE MANNIG**

$$Vmn := \frac{1 \text{ m}}{0.014 \text{ s}} \left(\sqrt{0.001}\right) \cdot \left(\frac{Rh}{\text{m}}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.535 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

dentro del rango CEC 2000

- **CRIBAS GRUESAS 5.3.3.4 NORMATIVA**

$$B := 2.42$$

$$\text{ancho} := 10 \text{ mm}$$

$$\text{disbarr} := 25 \text{ mm}$$

$$\text{largo} := 50 \text{ mm}$$

- **AREA DE LA CRIBA ac**

$$\text{perimetro ac} := \text{ancho} + (\text{largo}) = 0.06 \text{ m}$$

$$\text{areacriba} := 0.3746 \text{ m}$$

$$\text{nbarras} := \frac{b}{ac} = 8.333$$

$$\text{totalbarras} := 12$$

RESTA LONGITUD VACIA RV

- **BASE DOS B2**

$$B2 := b - (\text{ancho} \cdot \text{nbarras}) = 0.41667 \text{ m}$$

DISTANCIA ENTRE CADA CRIBA DC

$$DC := \frac{B2}{\text{totalbarras}} = 0.03472 \text{ m}$$

- **SEPARACION ENTRA CADA BARRA GRUESA SBG**

$$SBG := \text{ancho} \cdot P = 0.004275 \text{ m}^2$$

- **AREA MOJADA DE LAS BARRAS**

$$\text{areamojada} := b \cdot P = 0.214 \text{ m}^2$$

$$\text{areamojadabarras} := \text{areamojada} - (\text{nbarras} \cdot SBG) = 0.178 \text{ m}^2$$

- **PERDIDA DE CARGA GRUESAS deltaH**

**NORMATIVA
5.3.3.4
APARTADO F**

FACTOR DE FORMA

$$\text{beta} := 2.42 \quad \text{ancho} = 10 \cdot \text{mm} \quad \text{sen} \alpha := 45 \text{ deg}$$

$$\text{deltaH} := \left[\text{beta} \cdot \left(\frac{\text{ancho}}{DC} \right) \right]^{\frac{4}{3}} \cdot \left(\frac{Vmn^2}{2g} \right) \cdot (\text{sen} \alpha) = 7.08 \times 10^{-3} \cdot \text{m}$$

- **CRIBAS FINAS 5.3.3.4 NORMATIVA**

$$\text{anchofinas} := 10 \text{ mm}$$

$$\text{largofinas} := 40 \text{ mm}$$

- **AREA DE LA CRIBA FINA acf**

$$\text{acf} := \text{anchofinas} + \text{largofinas} = 0.05 \text{ m}$$

- **NUNERO DE BARRAS FINAS nbf**

$$nbf := \frac{b}{acf} = 10$$

- **ESPACIO ENTRE CRIBAS FINAS ecf**

$$ecf := nbf + 1 = 11$$

RESTA LONGITUD VARIA FINAS RVF

- **BASE DOS FINAS b2f**

$$b2f := b - (anchofinas \cdot nbf) = 0.4 \text{ m}$$

DISTANCIA ENTRE CADA CRIBA FINA DCF

$$DCF := \frac{b2f}{ecf} = 0.036 \text{ m}$$

- **SEPARACION ENTRE CADA BARRA FINA SBF**

$$SBF := anchofinas \cdot P = 4.275 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- **AREA MOJADA DE LAS BARRAS FINAS AMF**

$$AMF := areamojada - (nbf \cdot SBF) = 0.171 \text{ m}^2$$

PERDIDA DE CARGA FINAS deltaHF

FACTOR DE FORMA

$$beta = 2.42 \quad DCF = 0.036 \text{ m}$$

$$sen\beta := 60deg$$

$$deltaHF := beta \cdot \left(\frac{anchofinas}{DCF} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \left(\frac{Vmn^2}{2g} \right) \cdot (sen\beta) = 6.611 \times 10^{-3} \cdot m$$

Tratamiento Biológico – REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

ALUFENTE

1.- Calcular el flujo total de DQO F_{Sti} del afluente.

DQO total afluente
(caracterización)

$$Sti := 1600 \frac{mg}{l}$$

Caudal de diseño

$$Qi := 16000 \frac{l}{day}$$

$$F_{Sti} := Sti \cdot Qi = 25.6 \cdot \frac{kg}{day}$$

2.- Calcular el flujo diario de “DQO” biodegradable F_{Sbi} del afluente

Fracción no biodegradable total soluble del DQO -
Soluble unbiodegradable fraction of total influent COD
(caracterización)

$$f_{sus} := 0.12$$

Fracción no biodegradable total particulada del DQO -
Particulate unbiodegradable fraction of total influent COD
(caracterización)

$$f_{sup} := 0.04$$

$$F_{Sbi} := (1 - f_{sus} - f_{sup}) \cdot F_{Sti} = 21.504 \cdot \frac{kg}{day}$$

$$S_{bi} := Sti \cdot (1 - f_{sus} - f_{sup}) = 1344 \cdot \frac{mg}{l}$$

3.- Calcular el flujo diario de materia no biodegradable particulada F_{XIvi} del afluente.

Tasa DQO/SSV [mgDQO/mgSSV]

$$f_{cv} := 1.48 \frac{mg}{mg}$$

$$F_{XIvi} := F_{Sti} \cdot \frac{f_{sup}}{f_{cv}} = 0.692 \cdot \frac{kg}{day}$$

en kg de
SSV

$$XI_i := Sti \cdot \frac{f_{sup}}{f_{cv}} = 43.243 \cdot \frac{mg}{l}$$

4.- Calcular el flujo diario de materia orgánica particulada en el afluente F_{XIOi}

Sólidos suspendidos inorgánicos SSI [mgSSI/l]

$$XIO_i := 9.5 \frac{mg}{l}$$

$$F_{XIOi} := Qi \cdot XIO_i = 0.152 \cdot \frac{kg}{day}$$

5.- Calcular masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico
 MXv en kg de SSV

Rendimiento de los OHOS como SSV [mgSSV/mgDQO] $Y_{Hv} := 0.45$
 = formación de biomasa a partir de oxígeno – parámetro de biodegradación

Fracción no biodegradable de los OHOs [mgDQO/mgDQO] $f_H := 0.2$

Temperatura del agua residual $Temp := 14$

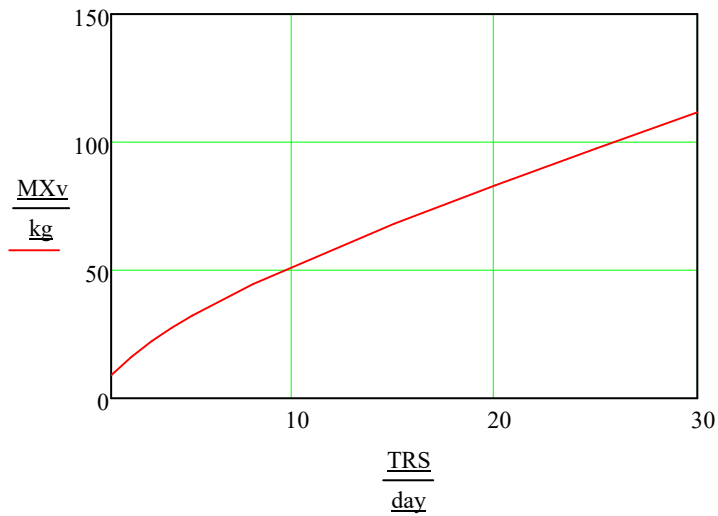
Tasa de respiración endógena en 1/día $b_{HT} := \frac{0.24}{day} \cdot 1.029^{(Temp-20)} = 0.202 \cdot \frac{1}{day}$

Edad de lodos en días

$TRS :=$ $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 8 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \end{pmatrix}$ day

$$MX_v := FX_{Ivi} \cdot TRS + \frac{FS_{bi} \cdot Y_{Hv} \cdot TRS \cdot (1 + f_H \cdot b_{HT} \cdot TRS)}{(1 + b_{HT} \cdot TRS)} = \text{kg}$$

	0
0	9.067
1	16.28
2	22.338
3	27.63
4	32.385
5	44.68
6	68.205
7	83.244
8	97.648
9	111.689



6.- Masa de materia inorgánica particulada en el afluente del reactor biológico MXio en kgSSI

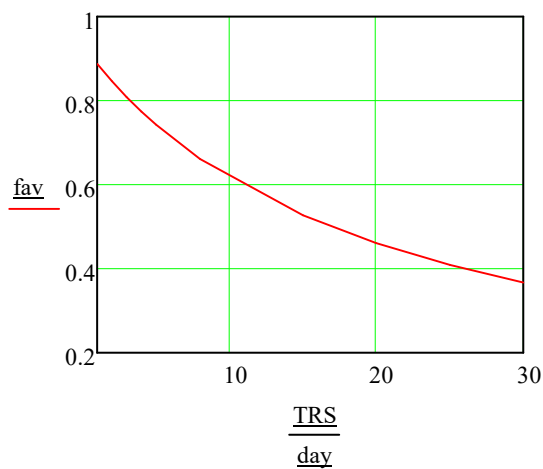
Contenido inorgánico en los OHO como SSV
(mgSSI/mgOHOSSV)

$$f_{iOHO} := 0.15$$

Fracción de masa de los SSV que corresponde a OHO activos (fav) en mgOHO SSV/mgSSV

$$f_{av} := \frac{1}{1 + \left[\frac{f_H \cdot b_{HT} \cdot TRS + f_{sup} \cdot (1 + b_{HT} \cdot TRS)}{f_{cv} \cdot Y_{Hv} \cdot (1 - f_{sup} - f_{sus})} \right]}$$

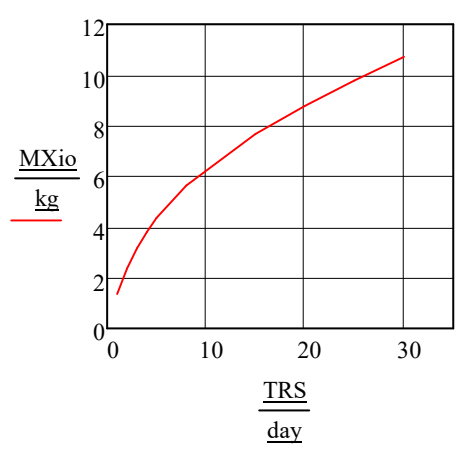
	0
0	0.888
1	0.847
2	0.809
3	0.775
4	0.743
5	0.662
6	0.528
7	0.461
8	0.409
9	0.368



$$\underline{MX_{io}} := \overrightarrow{(FX_{IOi} \cdot TRS)} + \overrightarrow{(f_{iOHO} \cdot f_{av} \cdot MX_v)} =$$

0	1.359
1	2.371
2	3.167
3	3.818
4	4.369
5	5.653
6	7.679
7	8.796
8	9.794
9	10.723

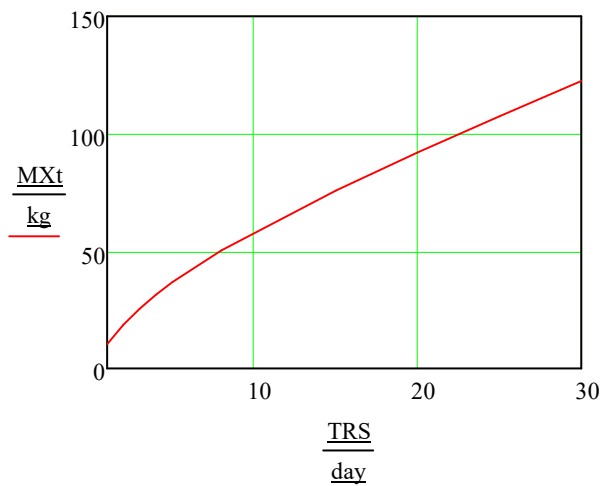
kg



7.- Calcular la masa total de sólidos sedimentables (SST) (MXt en kgSST) en el reactor



	0
0	10.426
1	18.651
2	25.505
3	31.448
$\underline{MXt} := \underline{MXv} + \underline{MXio} =$	4 36.755 $\frac{\text{kg}}$
5	50.332
6	75.884
7	92.04
8	107.442
9	122.413



8.- Calcular la demanda carbonácea de oxígeno (FOc mgO2/d) y el volumen de aire necesario

	0
0	9.109
1	10.481
2	11.508
3	12.305
$\underline{FOc} := \underline{FSbi} \cdot \left[(1 - \underline{f_{cv}} \cdot \underline{YHv}) + \left[(1 - \underline{fH}) \cdot \underline{bHT} \cdot \underline{YHv} \cdot \underline{f_{cv}} \cdot \frac{\underline{TRS}}{1 + \underline{bHT} \cdot \underline{TRS}} \right] \right]$	4 12.942 $\frac{\text{kg}}{\text{day}}$
5	14.262
6	15.798
7	16.368
8	16.747
9	17.018

Peso del
aire

$$\underline{Waire} := 1.202 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Contenido de oxígeno (g O₂ / g
aire)

$$\underline{O2} := 0.232$$

Eficiencia de trasferencia de
oxígeno

$$\underline{eff} := 0.08$$

Vol.de aire
teórico

$$\underline{Vaire} := \left(\frac{\underline{FOc}}{\underline{Waire} \cdot \underline{O2}} \right) =$$

	0
0	0.023
1	0.026
2	0.029
3	0.031
4	0.032
5	0.036
6	0.039
7	0.041
8	0.042
9	0.042

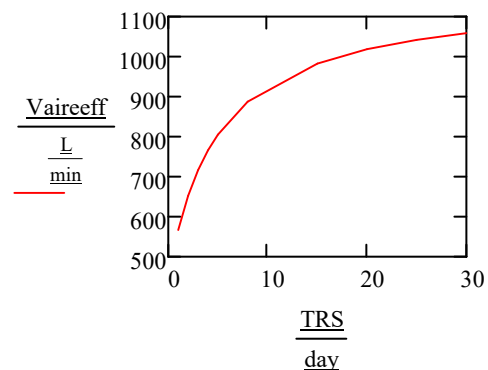
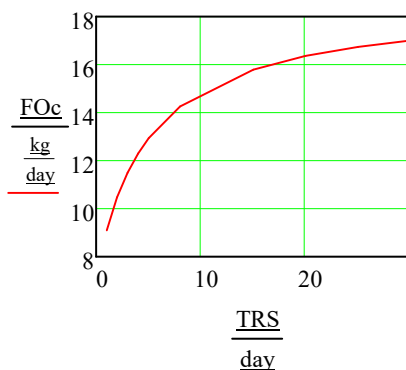
$$\cdot \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Vol.de aire
necesario
considerando la
eficiencia del
difusor y un factor
de seguridad de 2.

$$\underline{Vaireff} := \left(\frac{\underline{Vaire} \cdot 2}{\underline{eff}} \right) =$$

	0
0	567.103
1	652.521
2	716.44
3	766.07
4	805.72
5	887.918
6	983.558
7	1019.011
8	1042.625
9	1059.482

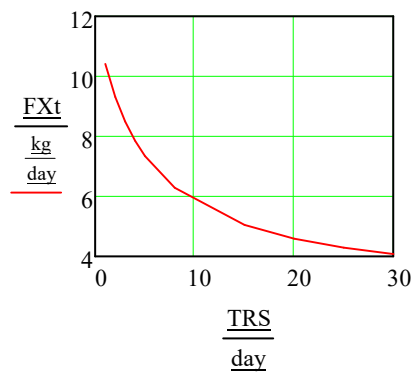
$$\cdot \frac{\text{L}}{\text{min}}$$



9.- Calcular la masa de lodos secundarios como SST (FXt KgSST/d)
producidas por día o la masa de lodos purgados diariamente.

$$\underline{FXt} := \frac{\underline{MXt}}{\underline{TRS}} = \frac{\text{kg}}{\text{day}}$$

	0
0	10.426
1	9.325
2	8.502
3	7.862
4	7.351
5	6.292
6	5.059
7	4.602
8	4.298
9	4.08



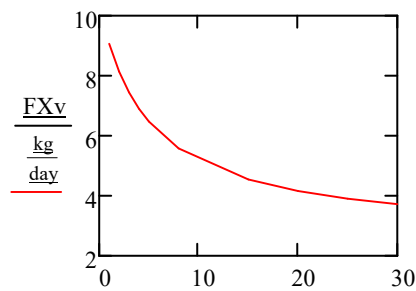
10.- Calcular la relación f_i SSV/SST de los lodos (f_i) y la masa de SSV purgados por día FXv .

$$\underline{f_i} := \frac{\underline{MXv}}{\underline{MXt}} = \frac{\underline{FXv}}{\underline{FXt}} = \frac{\text{kg}}{\text{day}}$$

	0
0	0.87
1	0.873
2	0.876
3	0.879
4	0.881
5	0.888
6	0.899
7	0.904
8	0.909
9	0.912

$$\underline{FXv} := (\underline{f_i} \cdot \underline{FXt}) = \frac{\text{kg}}{\text{day}}$$

	0
0	9.067
1	8.14
2	7.446
3	6.907
4	6.477
5	5.585
6	4.547
7	4.162
8	3.906
9	3.723



11.- Calcular el volumen del tanque. $\frac{\text{TRS}}{\text{day}}$

Concentración específica de SST a la que operará el sistema

$$\underline{X_t} := 4000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

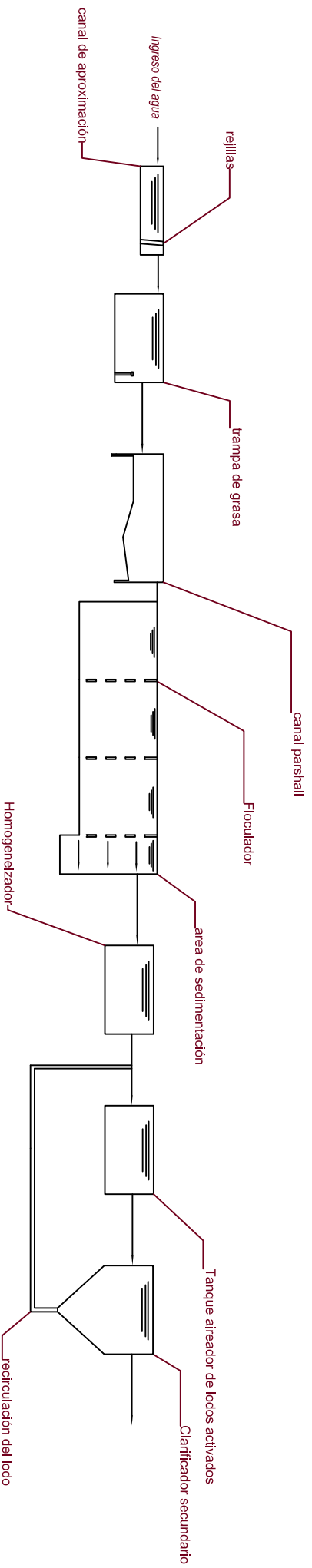
$$\underline{V_p} := \left(\overline{\frac{MX_t}{X_t}} \right) = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 2.607 \\ \hline 1 & 4.663 \\ \hline 2 & 6.376 \\ \hline 3 & 7.862 \\ \hline 4 & 9.189 \\ \hline 5 & 12.583 \\ \hline 6 & 18.971 \\ \hline 7 & 23.01 \\ \hline 8 & 26.86 \\ \hline 9 & 30.603 \\ \hline \end{array} \cdot \text{m}^3$$

12.- Calcular el tiempo de residencia o tiempo de retención hidráulico.

$$\underline{\text{TRHnominal}} := \frac{\underline{V_p}}{Q_i} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 3.91 \\ \hline 1 & 6.994 \\ \hline 2 & 9.564 \\ \hline 3 & 11.793 \\ \hline 4 & 13.783 \\ \hline 5 & 18.875 \\ \hline 6 & 28.456 \\ \hline 7 & 34.515 \\ \hline 8 & 40.291 \\ \hline 9 & 45.905 \\ \hline \end{array} \cdot \text{hr}$$

$$\underline{\text{TRS}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 1 \\ \hline 1 & 2 \\ \hline 2 & 3 \\ \hline 3 & 4 \\ \hline 4 & 5 \\ \hline 5 & 8 \\ \hline 6 & 15 \\ \hline 7 & 20 \\ \hline 8 & 25 \\ \hline 9 & 30 \\ \hline \end{array} \cdot \text{day}$$

$$\sqrt[3]{18.98} = 2.667$$



Escala 1:100

Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

Revisó: Santiago Piedra

Fecha: 2020/01/18

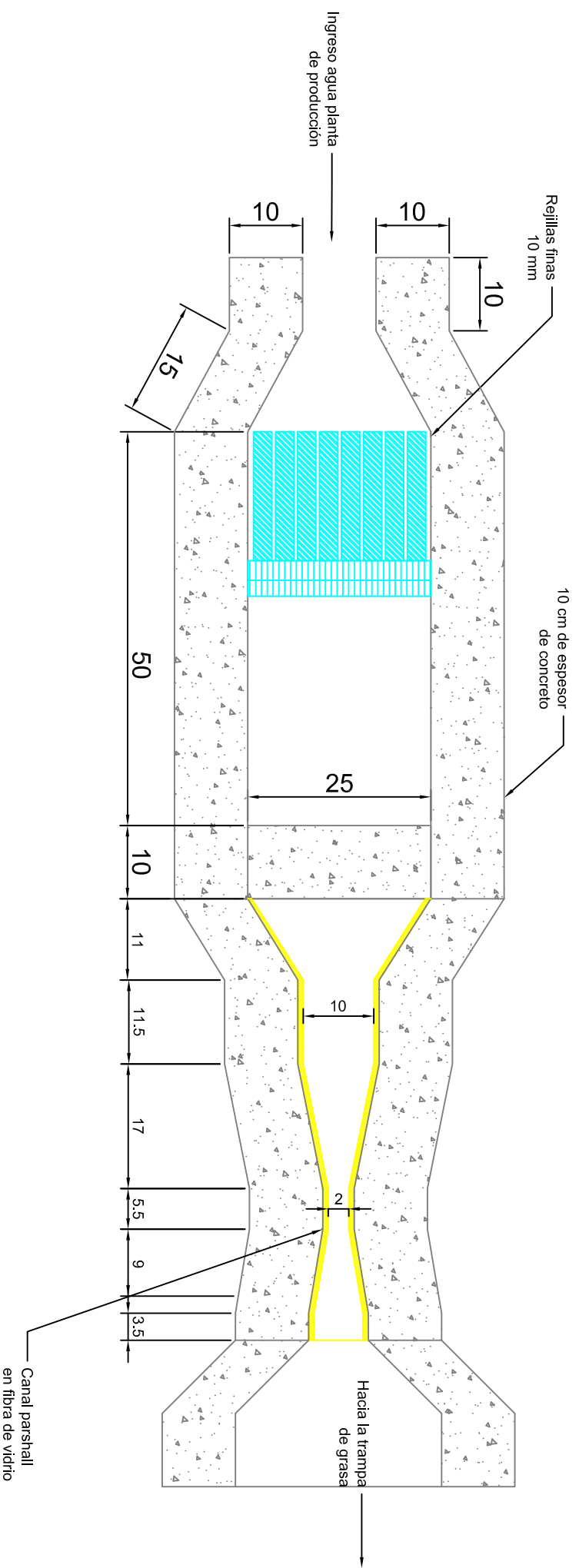
Lamina 1



Escala 1:100

UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA APLICADAS
 INGENIERIA AMBIENTAL
 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PTAR DE AGUA RESIDUAL LÁCTEA.

CANAL DE APROXIMACIÓN SISTEMA DE CRIBADO



Escala 1:100

Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

Revisó: Santiago Piedra

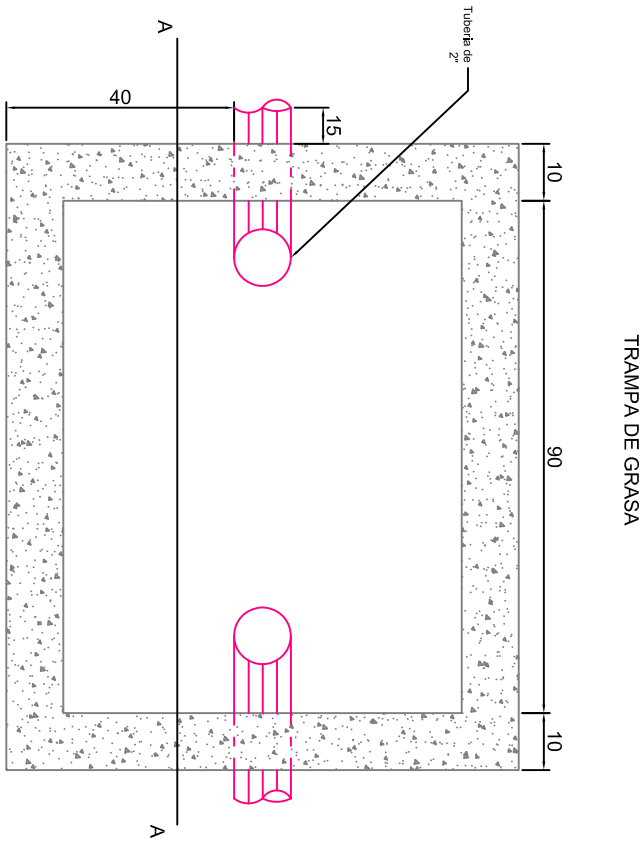
Fecha: 2020/01/18 Lamina 2



Escala 1:100

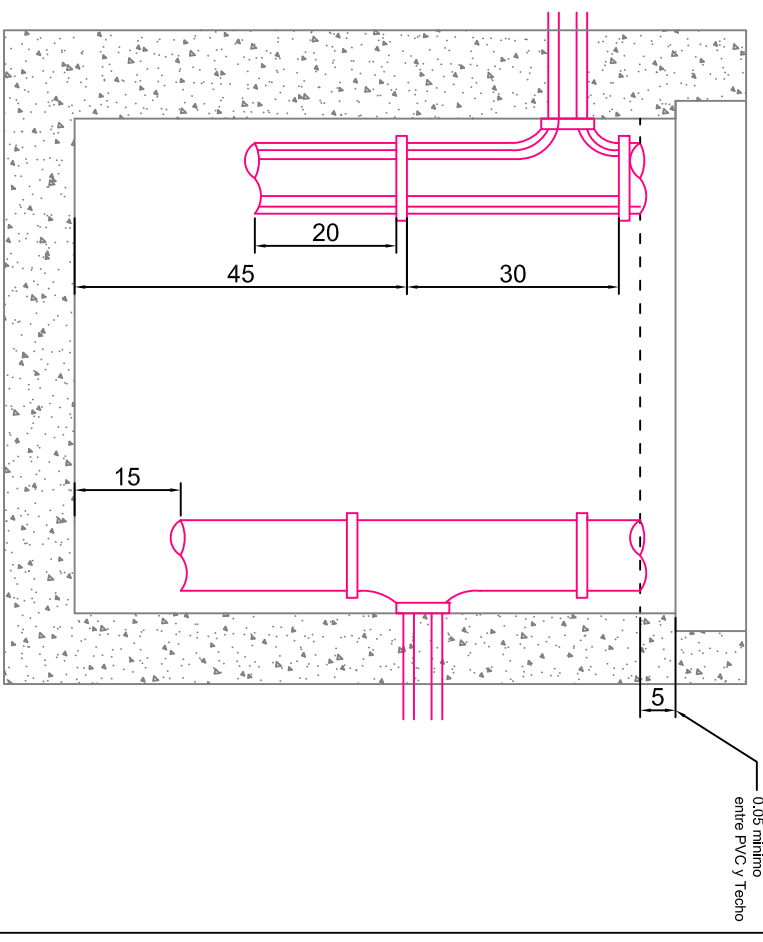
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA APLICADAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
CANAL DE APROXIMACIÓN Y SISTEMA DE CRIBAS

Vista superior



Escala 1:100

Corte A-A



Escala 1:100

Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

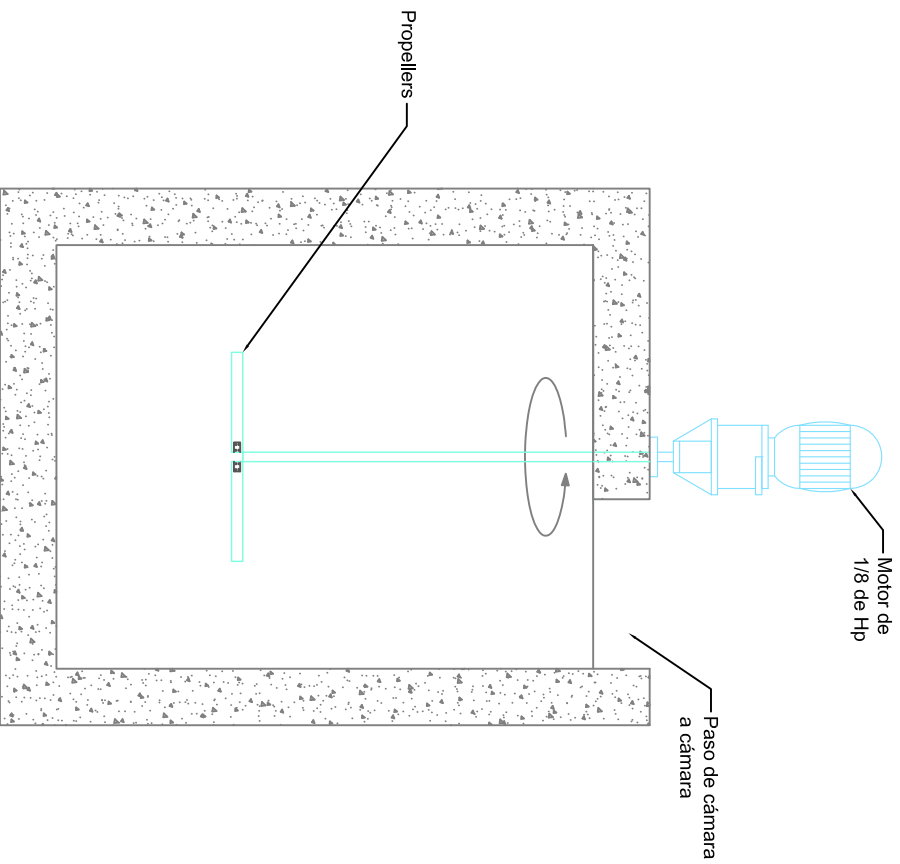
Revisó: Santiago Piedra

Fecha: 2020/01/18 Lamina 3

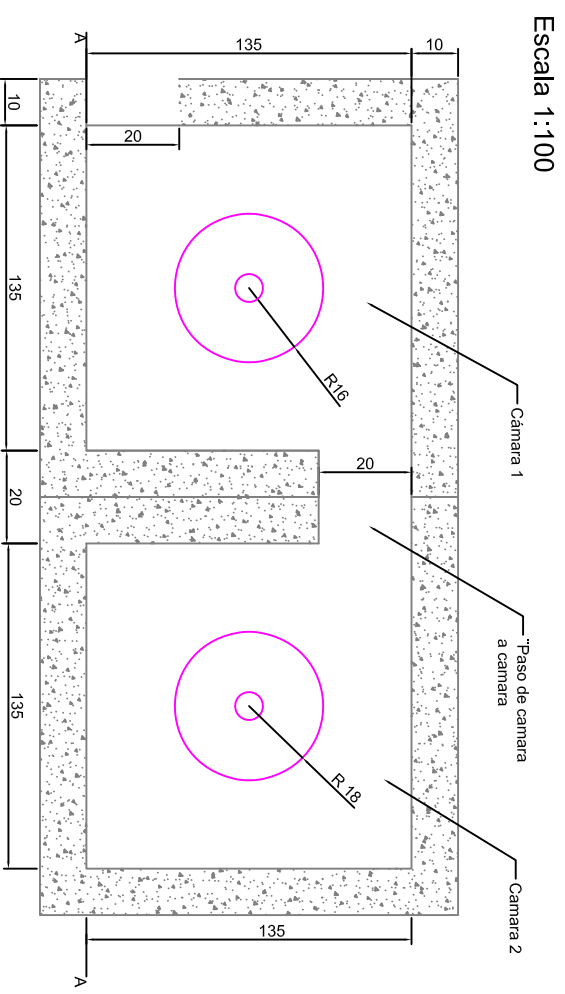


Escala 1:100

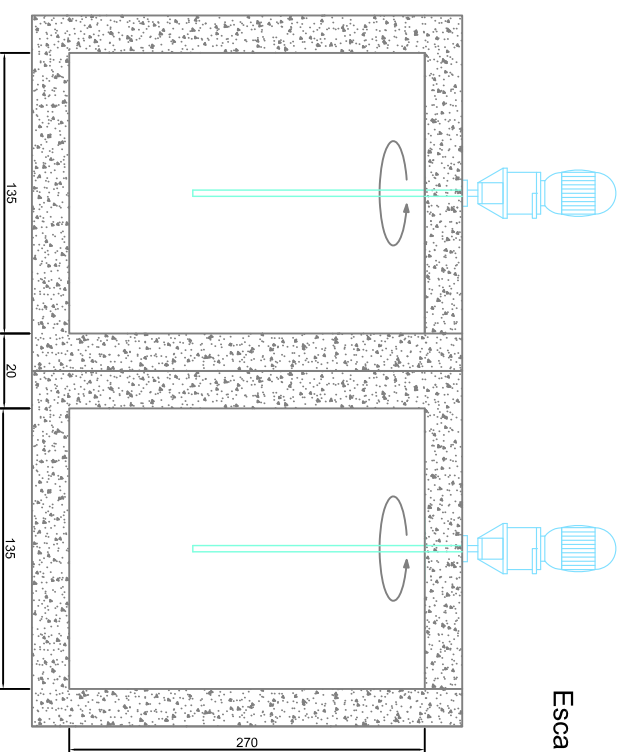
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIA APLICADAS
INGENIERIA AMBIENTAL
TRAMPA DE GRASA



Escala 1:100



Escala 1:100



Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

Revisó: Santiago Piedra

Fecha: 2020/01/18

Lamina 4

Escala 1:100

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

INGENIERIA AMBIENTAL

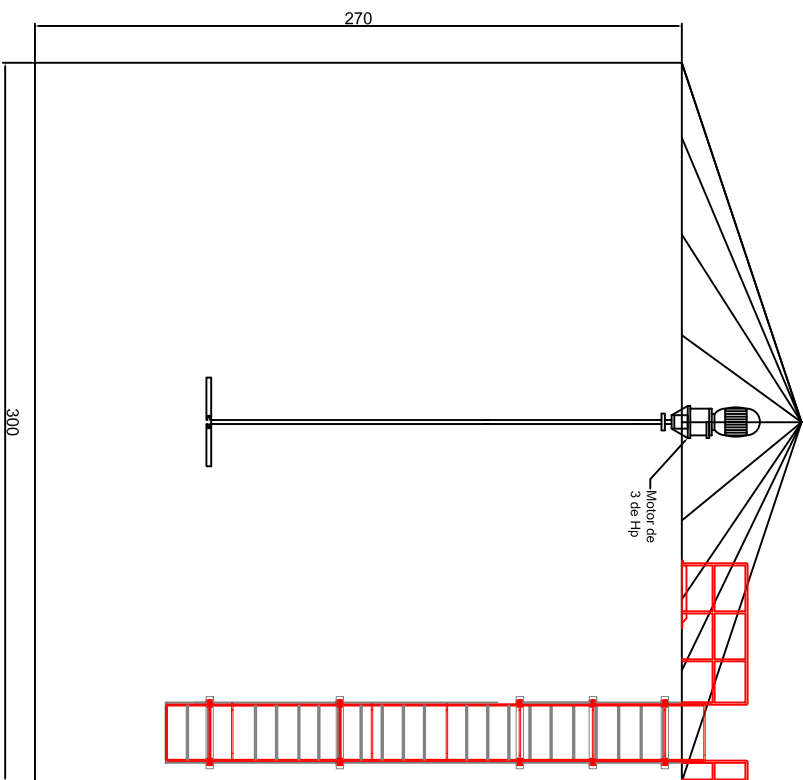
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA APLICADAS

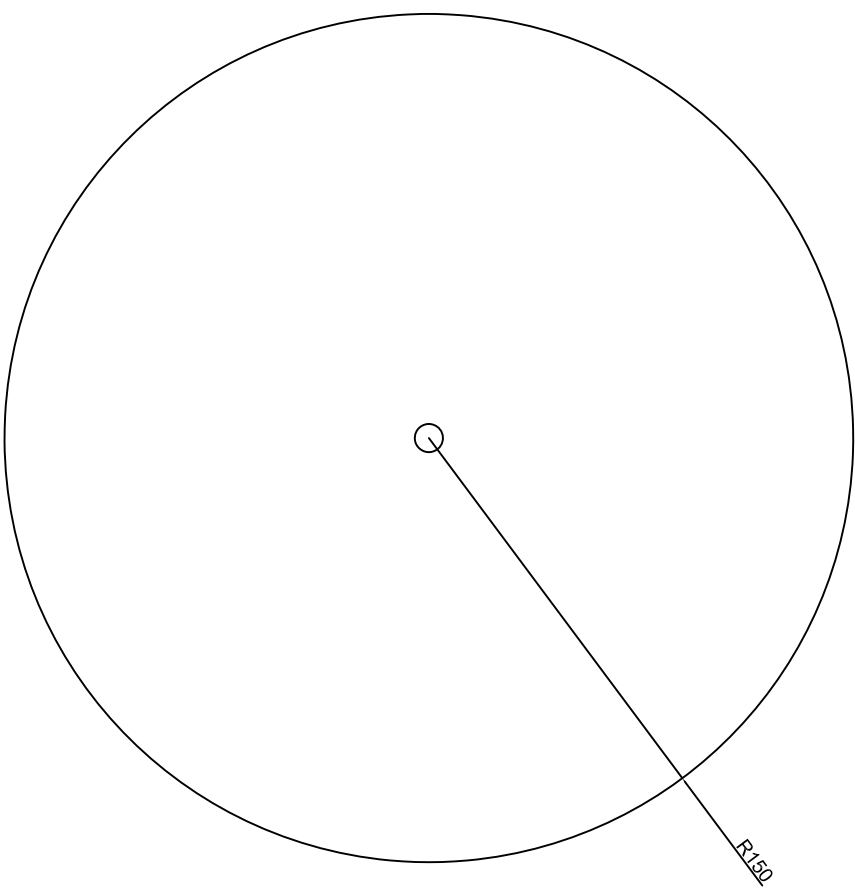
INGENIERIA AMBIENTAL

FLOCULADOR MECÁNICO VERTICAL

Escala 1:100



Escala 1:100



Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

Revisó: Santiago Piedra

Fecha: 2020/01/18 Lamina 5

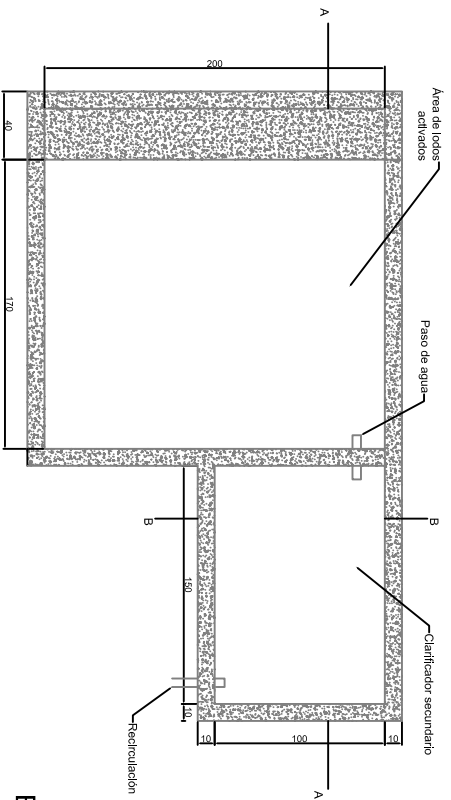
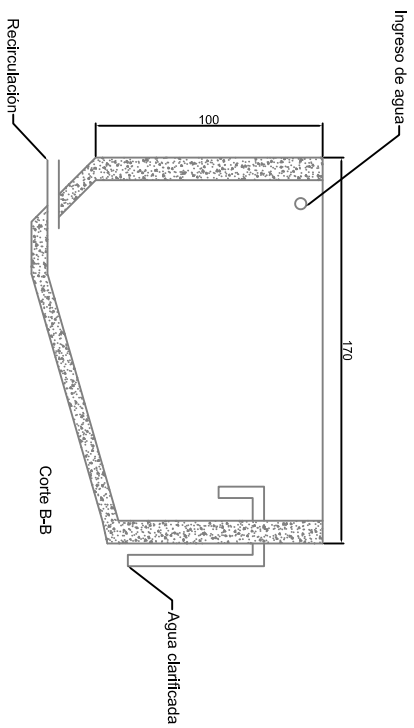
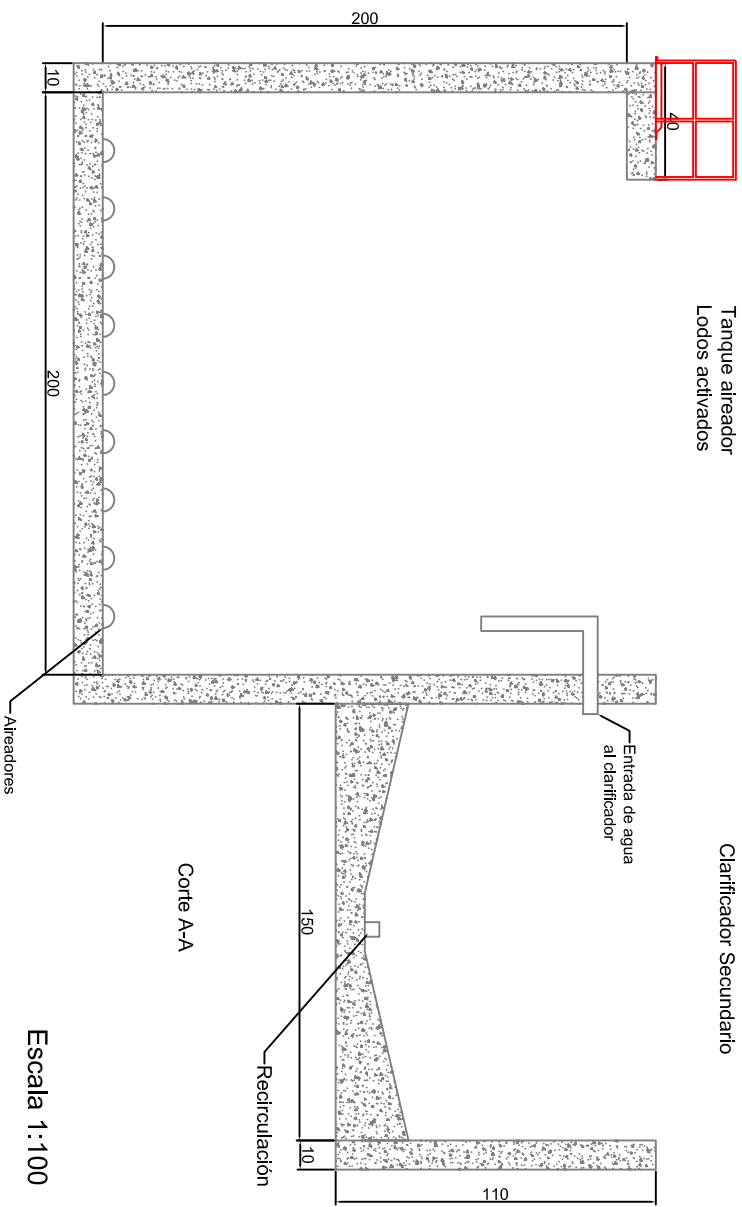

INGENIERÍA
AMBIENTAL

Escala 1:100

UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA APLICADAS
INGENIERIA AMBIENTAL
HOMOGENEIZADOR CIRCULAR

Tanque aireador
Lodos activados

Clarificador Secundario



Escala 1:100

Escala 1:100

Dibujó: Jefferson David Monar Ordoñez

Revisó: Santiago Piedra

Fecha: 2020/01/18 Lamina 6



Escala 1:100

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA APLICADAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
TANQUE AIREADOR DE LODOS ACTIVADOS Y CLARIFICADOR SECUNDARIO

CLARIFICADOR SECUNDARIO

Caudal del ingreso al clarificador

Caudal de diseño $Q_d := 16 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$

Tasa de recirculación $RR_m := 1$

$$Q_{cs} := Q_d \cdot (1 + RR_m) = 1.333 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Area del clarificador secundario

carga superficial $q_A := 0.80 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$

$$A_{st} := \frac{Q_{cs}}{q_A} = 1.667 \text{m}^2$$

Volumen del clarificado secundario

altura del clarificador $h_c := 3.5 \text{m}$

$$V_{ss} := A_{st} \cdot h_c = 5.833 \text{m}^3$$

Largo del clarificador secundario

base del clarificador $B_{ss} := 1.5 \text{m}$

$$L_{ss} := \frac{A_{st}}{B_{ss}} = 1.111 \text{m}$$

Concentración de solidos suspendidos

Índice de volumen de lodos $SV_1 := 100$

Tiempo de espesamiento $T_e := 1.5$

$$SSBs := \frac{1000 \cdot \text{kg}}{SV_1 \cdot \text{m}^3} \cdot \sqrt[3]{T_e} = 11.447 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Concentración de sólidos suspendidos del lodo de recirculación

$$S_{sr} := 0.8 \cdot S_{Bs} = 9.158 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Concentración de sólidos en el efluente del tratamiento biológico

$$S_{Sbb} := \frac{RR_m \cdot S_{sr}}{1 + RR_m} = 4.579 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tasa de exceso de lodo

$$q_{sv} := RR_m \cdot SV_1 \cdot S_{Sbb} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 457.886$$

Volumen de lodos comparativos

$$V_{sv} := \frac{q_{sv}}{0.80} = 572.357$$

Tiempo de retención hidráulica

$$T_s := \frac{V_{ss}}{Q_{cs}} = 4.375 \cdot \text{hr}$$

Capa de transición y zona de amortiguamiento

$$h_1 := 0.80 \cdot (1 + RR_m) \cdot \left(\frac{500}{1000 - V_{sv}} + \frac{V_{sv}}{1100} \right) \cdot \text{m} = 2.703 \text{ m}$$

Capa de almacenamiento y limpieza

$$h_2 := \frac{S_{Sbb} \cdot 0.80 \cdot (1 + RR_m) \cdot T_e \cdot \text{m}}{S_{Bs}} = 0.96 \text{ m}$$

Profundidad total del clarificador

Profundidad de seguridad $h_s := 0.4\text{m}$

$$H_f := h_1 + h_2 + h_s = 4.063 \text{ m}$$

