

2020

Propuesta para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado
Universidad de La Salle, Bogotá

Paula Andrea Falla Ramírez
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Goyeneche Alvarado, R. D., & Falla Ramírez, P. A. (2020). Propuesta para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1873

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN
EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA DEL SECTOR DE PRODUCTOS
AUTOMOTRICES.**

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado

Paula Andrea Falla Ramírez

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Facultad de Ingeniería

Universidad de La Salle

Bogotá D.C.

2020

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL
GENERADA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA DEL SECTOR
DE PRODUCTOS AUTOMOTRICES.**

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado

Paula Andrea Falla Ramírez

Director:

Julio César Ramírez

Ing. Químico – Magister en Ingeniería Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Facultad de Ingeniería

Universidad de La Salle

Bogotá D.C.

2020

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi mamá Sulay Amparo Alvarado y a mi papá Emiro Goyeneche quienes me apoyaron y me brindaron todas las oportunidades para culminar esta meta, también a quienes en este camino me brindaron una ayuda para poder seguir con mis estudios, gracias.

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado

Este logro se lo dedico primeramente a Dios quien fue mi guía y me ayudó a enfocarme en esta meta, a mis padres los cuales con dedicación, amor y mucho trabajo me apoyaron y ayudaron a culminar esta meta.

Al ingeniero Julio César por acompañarnos hasta el último momento y a mis compañeros por todas las vivencias y enseñanzas que nos dejan estos años de aprendizaje.

Paula Andrea Falla Ramírez

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias que con su apoyo y acompañamiento cada día en todo el proceso de nuestra vida hemos podido llegar a terminar la carrera de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Ha sido un largo camino en el transcurso de la carrera y son muchos los docentes a quienes agradecer por la formación que nos han brinda, pero en especial al ingeniero Julio César Ramírez, quien es la persona que nos orientó en todo momento y sacó siempre un tiempo para aconsejarnos, apoyarnos y ayudarnos a culminar esta meta.

Nuestros amigos quienes nos han motivado constantemente durante estos arduos años de trabajo en equipo y trasnochadas.

CONTENIDO

1.	GLOSARIO	12
2.	RESUMEN	15
3.	ABSTRACT	16
4.	INTRODUCCIÓN	17
5.	JUSTIFICACIÓN	18
6.	OBJETIVOS	19
6.1.	Objetivo general	19
6.2.	Objetivos específicos	19
7.	MARCO TEORICO	20
8.	METODOLOGÍA	26
8.1.	Fase 1: Diagnóstico del agua residual generada en el proceso productivo.	26
8.1.1.	Monitoreo de la calidad del agua	26
8.1.2.	Procedimiento del monitoreo	29
8.1.3.	Resolución 0631 del 2015	34
8.2.	Fase 2: Propuestas de tratamiento y selección de la más viable.	34
8.2.1.	Selección de la alternativa	34
8.3.	Fase 3: Ingeniería conceptual	35
8.3.1.	Diseño	35
8.3.2.	Costos	35

9.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
9.1.	Fase 1: Diagnóstico del agua residual generada en el proceso productivo.	36
9.1.1.	Caudal	37
9.1.2.	Monitoreo de la calidad del agua	39
9.1.3.	Contaminantes criterio.	46
9.2.	Fase 2: Propuestas de tratamiento y selección de la más viable.	47
9.2.1.	Propuesta 1.	49
9.2.2.	Propuesta 2	51
9.2.3.	Balance de cargas.	53
9.2.4.	Matriz de evaluación y selección del tratamiento	54
9.2.5.	Calificación de Alternativas	56
10.	FASE 3: DISEÑO	57
10.1.	Sistema de Coagulación	57
10.1.1.	Tanque de Coagulación	58
10.1.2.	Sistema de agitación	60
10.2.	Sistema de floculación	60
10.2.1.	Dimensiones del floculador	61
10.3.	Sedimentador	64
10.3.1.	Dimensiones del tanque sedimentador	64
11.	Costos	66

12.	CONCLUSIONES	70
13.	RECOMENDACIONES	71
14.	BIBLIOGRAFIA	72
15.	ANEXOS	76
15.1.	Anexo 1: Caja de inspección.....	76
15.2.	Anexo 2: Tanque de coagulación	76
15.3.	Anexo 3: Tanque de floculación.....	76
15.4.	Anexo 4: Sedimentador.....	76

Índice de tablas

Tabla 1 Métodos de medición de parámetros z.....	28
Tabla 2 Conservación de las muestras	29
Tabla 3: Análisis de laboratorio y comparación con la resolución 0631 del 2015	39
Tabla 4: Valor de los parámetros DBO y DQO para el diseño.....	44
Tabla 5: Contaminantes criterio.....	46
Tabla 6: Procesos aplicables para el tratamiento de aguas residuales	49
Tabla 7: Rango de porcentaje de remoción.....	50
Tabla 8: Porcentaje de remoción	53
Tabla 9: Balance de cargas contaminantes propuesta 1	53
Tabla 10: Balance de cargas contaminantes propuesta 2.....	54
Tabla 11: Confrontación de factores.....	55
Tabla 12: Puntaje de selección.....	56
Tabla 13: Puntaje obtenido de las propuestas	56
Tabla 14: Costos de la propuesta seleccionada.....	67

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Monitoreo de la calidad del agua	26
Ilustración 2 e Ilustración 3: Toma de muestras por los autores.....	33
Ilustración 4 e Ilustración 5: Caja de inspección	33
Ilustración 6: Diagrama de flujo del proceso productivo	37
Ilustración 7: Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	48
Ilustración 8: Relaciones de diseño para tanque de coagulación	58
Ilustración 9: Agitador de eje horizontal con paletas paralelas	63

Índice de gráficas

Gráfica 1: Relación DBO/DQO	42
Gráfica 2: Regresión de los valores de DBO y DQO	43
Gráfica 3: Regresión de los valores de DBO y DQO sin el valor del primer muestreo	44

1. GLOSARIO

Refrigerante: Uno de los principales productos químicos se producen en la empresa son los refrigerantes y estos se definen generalmente como “un líquido que ayuda al motor de combustión interna a mantener la temperatura adecuada del sistema de refrigeración evitando la corrosión, el congelamiento en lugares donde la temperatura es baja” (Barros, 2012) por lo tanto es de gran interés el proceso de elaboración

Aguas residuales. Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. En general, se consideran aguas residuales domésticas los líquidos provenientes de las viviendas y edificios comerciales e instituciones dentro de este gran grupo de aguas residuales se denominan aguas residuales industriales que provienen de las descargas de industrias manufactureras (Romero R, 2000)

Sólidos totales. Materia que queda como residuo a la evaporación a 103-105°C, Pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables. Dentro de la procedencia de esta Agua de suministro, Agua residuales domésticas e industriales, erosión del suelo infiltración y conexiones incontroladas. (Puentes, 2005)

DBO. El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO5). La determinación de este está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los

microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. (Gonzalez, 2003)

DQO. Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación. (Gonzalez, 2003)

pH. La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. (Adalberto Noyola, 2013)

Agentes tensoactivos. Disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aun en bajas concentraciones, cuando se acumulan en la interfaz aire – agua, disminuye la solubilidad del oxígeno. (García, García, Alba, 2005, p. 23)

Grasas y aceites. Causan iridiscencia, y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar generalmente provienen de hidrocarburos. (García, García, Alba, 2005, p. 25)

Vertimiento de aguas. Contaminación es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función

ecológica, es decir, verter elementos contaminantes. Principalmente existen tres posibles tipos de vertidos en las aguas continentales según su origen las cuales son vertidos industriales, vertidos urbanos y por último vertidos de ganadería y agricultura (Araque, 2012, p. 19).

Vertidos Industriales. La tipología de los vertimientos industriales es muy variada según el tipo de industria, ya que diferentes industrias provocan diferentes tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos, ya que es vital que se depuren antes de ser vertidos al colector urbano (Araque, 2012, p. 20).

Planta de tratamiento de agua residual. Conjunto de obras, instalaciones, procesos y operaciones para tratar las aguas residuales (Resolución 0330, 2017).

Tratamiento de aguas residuales. Evitar la contaminación del agua y del suelo es posible mediante técnicas apropiadas de tratamiento y una buena disposición de las aguas residuales. Las concentraciones de contaminantes y nutrientes hacen parte del objeto de regulación por parte de leyes o normas y de esta manera se establece la calidad apropiada del agua de acuerdo a su aplicabilidad (Lizarazo & Orjuela, 2013, p. 42)

2. RESUMEN

Este proyecto tuvo como base una empresa especializada en productos químicos automotrices la cual no cuenta con un sistema de tratamiento para sus aguas residuales industriales; por tanto, se hace indispensable investigar y presentar una propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Se realizó un muestreo de la calidad del agua con el propósito de obtener la caracterización del agua en donde se evidenció que los valores de DBO₅ y DQO medidos en el laboratorio se encuentran por encima de los valores suministrados por la empresa de muestreos realizados anteriormente y con valores teóricos, además se tuvo en cuenta que generalmente para las aguas residuales el valor de la DQO es más o menos el doble de la DBO (Pramparo, 2016) el cual no fue el caso para el primer muestreo ya que la DQO arrojó un resultado de 1'960.000 mg/L de O₂, este valor elevado puede atribuirse al momento de la toma de la muestra, mal preservada que pudo afectar la lectura en el laboratorio, se hizo una regresión y los valores desfasados no llegaban a acomodarse a ningún modelo matemático por tanto se procedió a utilizar los valores de los muestreos realizados por la empresa así como el valor teórico y se realizó el balance de cargas de dos propuestas para determinar si se puede llegar a cumplir la resolución 0631 del 2015.

Se seleccionó la propuesta teniendo en cuenta criterios como lo es la eficiencia, que sea tecnología que se pueda conseguir fácil, operación y mantenimiento entre otros y por último se procedió a diseñar cada una las unidades que conforman el tren de tratamiento con sus respectivas dimensiones con el fin de realizar una ilustración de las unidades y sus medidas en AutoCAD.

3. ABSTRACT

This project was based on a company specialized in automotive chemicals which does not have a treatment system for its industrial wastewater; therefore, it is essential to investigate and present a proposal for a wastewater treatment plant.

A water quality sampling was done with the purpose of obtaining the water characterization where it was evidenced that the BOD5 and COD values measured in the laboratory are above the values provided by the sampling company previously performed and with theoretical values, besides for the first sampling the implicit rule that the COD is more or less double the BOD is not fulfilled, This high value can be attributed to the moment of taking the sample, poorly preserved that could affect the reading in the laboratory, a regression was made and the outdated values did not fit any mathematical model so we proceeded to use the values of the samples taken by the company as well as the theoretical value and we made the balance of loads of two proposals to determine whether it can be achieved to comply with resolution 0631 of 2015.

The proposal was selected taking into account criteria such as efficiency, technology that can be achieved easily, operation and maintenance among others and finally proceeded to design each of the units that make up the treatment train with their respective dimensions in order to make an illustration of the units and their measurements in AutoCAD.

4. INTRODUCCIÓN

La superficie de la Tierra está compuesta aproximadamente de un 70% de agua, los océanos contiene alrededor del 96,5% de toda el agua del planeta. Se debe tener en cuenta que también hay agua en forma de vapor de agua, en ríos y lagos, casquetes polares y glaciares.

Aunque se debe tener en cuenta que la gran mayoría del agua en la superficie de la Tierra, más del 96% es agua salada que se encuentra en los océanos por lo que se hace indispensable reutilizar, ahorrar y promover el uso adecuado y responsable del agua. (Mauleon, 2015)

La eliminación de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales con diferentes factores, los cuales se ven reflejados de diferentes maneras y de forma adversas, causando un daño ambiental y efectos negativos en los cursos de agua receptores

La disposición de aguas residuales no tratadas en el suelo o cuerpos receptores naturales como lo son ríos, lagos, lagunas son alternativas que están en el pasado, hoy en día se hace necesario por normatividad un tratado de estas aguas en donde se disminuya su carga contaminante al máximo con el fin de mitigar al máximo la carga contaminante que llega al afluente.

Por tanto se hace necesario diseñar una planta de tratamiento la cual ayuda a optimizar los procesos físicos y químicos de las aguas no tratadas de la empresa, con el fin de disminuir los contaminantes que estas poseen. Esto se hace con un uso intensivo del área y procurando tener la mayor eficiencia posible, ayudando a que esta cumpla con los parámetros establecidos en la Norma 0631 de 2015 y que contribuyan a mejorar el medio ambiente de una manera eficiente y rápida.

5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la empresa de productos químicos automotrices no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, diferente a entregarlas a terceros para su adecuado tratamiento y disposición, por lo que se hace indispensable proponer un sistema de tratamiento con el fin de brindar una opción a la empresa ambiental a los vertimientos y que se adecue a la empresa.

El presente documento tiene como finalidad plantear un tratamiento al agua residual enfocado en disminuir la carga contaminante de parámetros que exceden la norma como lo son: BDO, DQO, SS, entre otros que afectan la calidad del agua en los cuerpos presentes en el sector industrial del municipio de Zipaquirá, teniendo en cuenta que la cantidad de agua residual generada en su proceso productivo.

Comparándolos con la resolución 0631 del 2015, art. 13. Actividades de fabricación de manufactura de bienes, fabricación de sustancias y productos químicos y que además la alternativa seleccionada sea económicamente aplicable para la empresa, obteniendo el permiso para realizar vertimientos al sistema de alcantarillado de la ciudad.

6. OBJETIVOS

6.1.Objetivo general

Realizar la ingeniería conceptual de la alternativa más viable, de acuerdo con la matriz de selección, de un sistema de tratamiento de agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector automotriz.

6.2.Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del agua residual por medio de un monitoreo con el fin de obtener la caracterización fisicoquímica del vertimiento y compararla con la resolución 0631 del 2015
- Proponer sistemas de tratamiento teniendo en cuenta la caracterización fisicoquímica del agua, para seleccionar la más viable para la empresa en términos técnicos de operación, mantenimiento, costos, entre otros.
- Realizar la ingeniería conceptual de la propuesta seleccionada para el sistema de tratamiento de las aguas residuales producidas en el proceso productivo de una empresa de productos químicos automotriz para revisión final con la empresa.

7. MARCO TEORICO

Contaminación del recurso hídrico

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida humana y el sostenimiento del medio ambiente, que, como consecuencia del rápido desarrollo humano y económico y del uso inadecuado que se ha hecho de ella como medio de eliminación, ha sufrido un alarmante deterioro. Durante décadas, toneladas de sustancias biológicamente activas, sintetizadas para su uso en la agricultura, la industria, la medicina, etc., han sido vertidas al medio ambiente sin reparar en las posibles consecuencias. Al problema de la contaminación, que comenzó a hacerse notable ya a principios del siglo XIX, cabe añadir el problema de la escasez, aspecto éste que está adquiriendo proporciones alarmantes a causa del cambio climático y la creciente desertización que está sufriendo el planeta. (Barceló & López, 2010)

Aguas residuales

Las aguas residuales son un producto inevitable generado a partir de las diferentes actividades humanas, para llevar a cabo un adecuado tratamiento y disposición es necesario tener conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas, así mismo, de sus efectos principales sobre la fuente receptora. (Romero R, 2000)

Dentro de las aguas residuales podemos encontrar cuatro fuentes fundamentales las cuales son:

- Agua Residual Doméstica (ARD)
- Agua Residual Municipal o Urbana (ARU)
- Agua Residual Industrial (ARI)
- Aguas lluvias (ALL)

- Residuos Líquidos Industriales (RLI)
- Aguas Residuales Agrícolas (ARA) (Pulido, Miranda, Guzman, & Molano, 2014)

En este documento se basó en las aguas residuales industriales, las cuales cada una tiene diferentes características propias, teniendo en cuenta procesos de producción, insumos, contacto con demás contaminantes y demás.

Aguas residuales industriales

El sector industrial utiliza alrededor de un 25% del total de agua consumida por el ser humano. Las necesidades de agua en la industria son diversas dependiendo de los sistemas o procesos existentes en la factoría. En ciertos tipos de industria como papeleras, de textil y de curtidos, alimentarias, cerveceras, lácteas, de automóviles, de producción de energía eléctrica, etc., el agua representa un papel esencial para la producción. (Sanz E, 2007)

En ciertos casos el agua de vertido no difiere significativamente del agua de partida. Sin embargo, en la mayoría de los casos los efluentes industriales presentan una elevada carga contaminante. Dicha contaminación puede cuantificarse a través de diversos parámetros de composición como demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno o sólidos en suspensión, y a su vez mediante el análisis de composición en sustancias específicas tanto orgánicas como inorgánicas. Estos compuestos, a diferencia de aquellos presentes en las aguas residuales domésticas, no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química (Sanz E, 2007)

De este modo, muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su

toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo y se han considerado límites de concentración para las siguientes sustancias.

- Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno (computables mediante parámetros agregados tales como DBO, DQO, COT).
- Compuestos órgano-halogenados y sustancias que puedan generarlos en el medio acuático.
- Sustancias y preparados cuyas propiedades cancerígenas o mutagénicas puedan afectar a la reproducción en el medio acuático.
- Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes y bioacumulables.
- Biocidas y productos fitosanitarios.
- Cianuros.

(Sanz E, 2007)

Etilenglicol

El etilenglicol es ampliamente utilizado en industrias dedicadas a la síntesis de productos farmacéuticos, cosméticos, polímeros, coadyuvantes agrícolas, plásticos, pinturas y recubrimientos, además, es usado en grandes cantidades como anticongelante y en los aeropuertos como agente de deshielo. Dados los usos y aplicaciones de este disolvente, no es difícil deducir que grandes cantidades de él formarán parte de las descargas de los efluentes acuosos y orgánicos producidos por dichas empresas. (Alba Ardila, 2015)

Coagulación

Este proceso tiene como objetivo principal, desestabilizar de manera química, mediante la anulación de cargas superficiales, las partículas coloidales presentes en el recurso a tratar por medio de la adición de coagulantes químicos y la aplicación de energía de mezclado. Las reacciones que ocurren durante el proceso de coagulación son muy rápidas, duran fracciones de segundo desde que se ponen en contacto las partículas coloidales con el químico coagulante.

Floculación

La floculación es el siguiente proceso que se realiza en el tratamiento de aguas, es posterior al proceso de coagulación, y consiste en la agitación de la masa coagulada; este método se emplea para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso de los mismos para que la sedimentación y posterior remoción de los flóculos presentes en el recurso sea más fácil y efectiva.

Alternativas de gestión

Para reducir la cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales industriales, así como que la carga contaminante residual que está presente en los diferentes efluentes, son tres las opciones de actuación:

- Control en el punto de generación de la corriente de agua residual.
- Pre-tratamiento y/o tratamiento primario para descarga al colector de aguas municipales y posterior tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales.

- Tratamiento integral en la propia planta industrial para reutilización directa en la empresa o vertido directo al medio. Si es el caso deberá cumplir con los límites de vertido impuestos por la normativa de aplicación.

(Bermeo D & Salazar F, 2013)

Tipos de tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales integra procesos biológicos, químicos y físicos, los cuales tienen como objetivo remover o disminuir la carga de contaminantes; para hacer un correcto tratamiento se debe de hacer una caracterización previa del estado del agua, esto incluye evaluar parámetros como: pH, temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos en suspensión y sólidos sedimentables, aceites y grasas, concentración de metales, entre otros. Los tratamientos de aguas cuentan con varias etapas para que sea efectiva su implementación, los cuales se explican a continuación:

Tratamiento primario

Este implica el acondicionamiento de las aguas residuales o la reducción de sólidos en suspensión para mejorar la eficiencia en la descarga por los receptores o al pasar por un tratamiento secundario. Algunos de los más reconocidos son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación, floculación y filtración. En estos tratamientos es común que la eliminación de las materias dependa de la diferencia de peso específico de las partículas sólidas y el líquido en donde se encuentran este generalmente se hace mediante el proceso físico más conocido como sedimentación, cuyo principio es la disminución de la velocidad del flujo. En este paso, se espera retirar entre el 40 y 60% de los sólidos y entre el 25 y 35% de la DBO presente en el agua residual a tratar. (Fetecua J & Barragán Natalia, 2017)

Tratamiento secundario

En este tratamiento el objetivo principal es remover la DBO soluble proveniente del tratamiento anterior y los sólidos suspendidos, este procedimiento se logra llevar a cabo por procesos biológicos aerobios y anaerobios, dentro de los mecanismos más utilizados se encuentran:

- Lodos activados
- Filtros percoladores
- Lagunas de estabilización

(Patiño V. & Fernández M, 2015)

Tratamiento terciario

Se encarga de eliminar la carga orgánica residual y aquellas sustancias que no fueron eliminadas en su totalidad en tratamientos secundarios como nutrientes, fosforo y nitrógeno. Este es un proceso biológico o físico químico, pero generalmente se emplea más el físico químico que consta de una coagulación- floculación y una decantación. Algunos de los contaminantes industriales presentan una composición muy variable dependiendo del uso industrial al que hayan sido destinadas las aguas. Sin embargo, las aguas residuales industriales no deben sobrepasar las concentraciones máximas admitidas. De manera que dependiendo de la naturaleza del agua residual cada tratamiento tendrá un porcentaje de importancia más relevante que el otro. (Orozco J, 2005)

8. METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para la realización de este proyecto se dividió en 3 fases y en cada fase tiene sus respectivas actividades con el fin de tener una solución para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa de productos químicos automotrices, las cuales fueron:

8.1.Fase 1: Diagnóstico del agua residual generada en el proceso productivo.

La fase de diagnóstico inició por medio de una visita a la planta física ubicada en el barrio La Paz, sector industrial del municipio de Zipaquirá.

8.1.1. Monitoreo de la calidad del agua

Se realiza la visita a la planta física identificando la red por donde se conduce el agua residual producida por la línea de producción y se determinaron los parámetros a analizar se procedió a realizar el procedimiento del monitoreo del agua residual

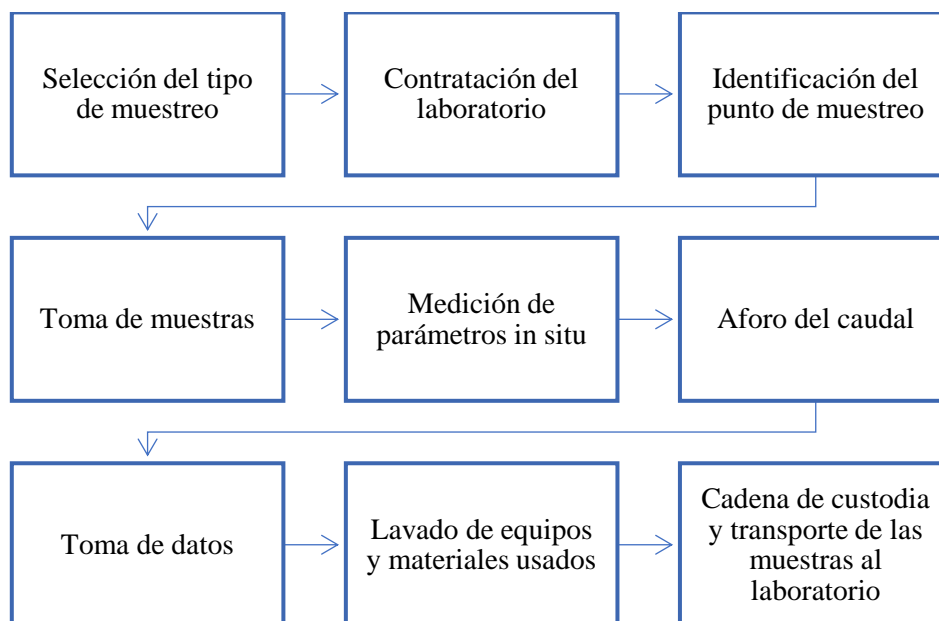


Ilustración 1: Monitoreo de la calidad del agua

Fuente. Autores, 2020

El monitoreo se planteó en tomar 4 muestras las cuales se realizarán en diferentes días ya que la empresa no fabrica a diario los mismos productos automotrices, cambiando la carga contaminante dependiendo del proceso a elaborar en la planta, la determinación se dividió en dos parámetros: *in situ* y *ex situ*.

Los parámetros *in situ* se tomaron por medio de un Multiparametro HANNA el cual fue suministrado por la empresa previamente calibrada y se procedió a medir:

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto

Para los parámetros *ex situ* se tuvo en cuenta el muestreo realizado por la empresa y los parámetros se dividieron en dos fijos para los 4 muestreos:

- DBO₅
- DQO

Y se muestrearon dos veces los siguientes parámetros:

- Grasas y aceites
- Manganeseo
- Nitratos
- Nitritos
- Nitrógeno
- Sólidos sedimentables
- Amoniacal
- Nitrógeno total
- Nitrógeno total KJELDAHL
- Tensoactivos
- Sólidos suspendidos

Estos parámetros se realizaron dos veces debido a que no representan una mayor carga contaminante diferente a los dos principales los cuales son DBO₅ y DQO, cabe destacar que varios en la resolución 0631 del 2015 no cuentan con un valor máximo, y sólo se le pide a la empresa el análisis y el reporte.

Los métodos para la determinación de los parámetros se presentan en la guía técnica “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23d Edition 2017” en donde se definen las metodologías para cada uno de los parámetros los cuales son:

Tabla 1 Métodos de medición de parámetros z

Parámetros	Método
BDO	Incubación 5 días y electrodo de membrana
DQO	reflujo abierto y titulación
Grasas y Aceites	extracción soxhlet
Manganeso	Espectrofotometría de A.A.
Nitratos	Espectrofotométrico U.V.
Nitritos	Colorimétrico
Nitrógeno amoniacal	Volumétrico
Nitrógeno total	Cálculo
Nitrógeno total KJELDAHL	Volumétrico
Tensoactivos aniónicos	Colorimétrico

Fuente: *Standrd Methods for tthe Examination of Water and Wastewater 23d Edition 2017, 2017*

Para la preservación de las muestras se tuvo en cuenta el “Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales” los cuales tienen la forma de preservar y el tiempo en el que se debe medir cada uno de los parámetros

Tabla 2 Conservación de las muestras

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento recomendado / regulatorio
DBO	Refrigeración	6 h/ 48 h
DQO	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	7 d/ 28 d
Conductividad	Refrigeración	28 d/ 28 d
pH	Analizar inmediatamente	0,25 h/ 0,25 h
Grasas y aceites	Adicionar HCL a pH<2, refrigerar	28 d/ 28 d
Amonio	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	7 d/ 28 d
Nitrato	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2,0 refrigerar	1-2 d/ 28 d
Nitrito	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2,0 refrigerar	1-2 d/ 28 d
Nitrógeno KJELDAHL	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2,0 refrigerar	7 d/ 28 d
Oxígeno disuelto	Analizar inmediatamente	0,25 h/ 0,25 h
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
Temperatura	Analizar inmediatamente	0,25 h/ 0,25

Fuente: IDEAM, 2007

Esto con el fin de que la muestra no presente cambios fisicoquímicos y/o biológicos que puedan afectar la lectura en el laboratorio arrojando valores erróneos, además de los reactivos para retardar el efecto se cuenta con botellas de vidrio tipo ámbar y la refrigeración.

8.1.2. Procedimiento del monitoreo

Basados en el Protocolo de monitoreo del agua por IDEAM, se realizaron muestras puntuales teniendo en cuenta el proceso productivo de la empresa y que las aguas residuales generadas llegan a un mismo sitio con un caudal constante desde que se inician las actividades dentro de la planta física de la empresa y que la línea de producción durante el día no tiene ningún cambio ya que los productos están divididos por días, la carga contaminante es relativamente constante a través del tiempo en el que se está trabajando, los productos que se

fabrican están divididos en los días de la semana, por eso se resalta que los muestreos se realicen en diferentes días de la semana.

La identificación del punto de muestreo se escogió teniendo en cuenta que el agua residual generada en los diferentes procesos de la línea de producción llegan a un mismo punto el cual es una caja de inspección que se encuentra ubicado fuera de la línea de fabricación, y es desde ese punto en donde se distribuye el agua a los tanques de almacenamiento para su entrega a la empresa externa encargada de disposición final, además porque en este punto se homogenizan las cargas contaminantes lo cual es parte crucial para el análisis de los parámetros con el fin de buscar una solución para la carga contaminante.

La toma de muestras se realizó cerca de la hora del medio día, la empresa funciona 8 horas días, las cuales están divididas en la jornada diurna, por lo que se decidió tomar la muestra cerca de la mitad de la jornada laboral dado que la caja de inspección se tardaría en llenar para poder recolectar la cantidad volumétrica necesaria para los recipientes llevados.

El análisis de laboratorio la realizó una empresa especializada en el tema, la cual suministró los elementos necesarios los cuales constaron de:

- Nevera portátil
- 1 botella ámbar con H_2SO_4 como conservante
- 1 botella ámbar con HCl como conservante
- 1 botella plástico
- Gel refrigerante

Dentro de la toma de muestras se procedió a llenar un formato en el cual quedaban consignados datos como lugar de la toma, punto de captación, fecha de toma muestra y la hora

en que fue recolectada, esto con el fin de tener un control de la información de la caracterización y tipo de muestra.

Una vez tomadas las muestras dentro de la caja de inspección se procedió a realizar el aforo del caudal el cual basados en el “instructivo para la toma de muestras de aguas residuales” del IDEAM, teniendo en cuenta que el agua residual llega por tubería se optó por realizar el método volumétrico.

Para la determinación del caudal se tuvo en cuenta la forma cuadrada de la caja de inspección, ya que la tubería no sobresale de las paredes de la caja, parte del agua residual es vertida al ras de la pared haciendo que la medición tenga un margen de error bajo, y que la tubería se encuentra a la misma altura, por lo tanto se revisó una caja de inspección de afluente y efluente al mismo nivel y se determinó el incremento de la lámina de agua, de tal manera que se pueda realizar una curva de crecimiento con el tiempo; teniendo en cuenta las dimensiones de la caja son conocidas se pudo determinar un volumen y mediante un cronometro se tomó el tiempo, en el transcurso de este se evidenció cuando la lámina de agua sube a una determinada altura. Es importante verificar que la salida del tubo ha sido perfectamente sellada, para evitar fugas del vertimiento que puedan alterar la lectura del aforo y posterior muestreo. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

Para determinar el volumen se utilizó la fórmula:

$$V = a * b * h$$

Donde:

A y b = los lados diferentes de la base

h= Altura

Pero debido a que la empresa no genera la misma cantidad de agua residual, se optó por tomar los datos que se tienen de la entrega a la empresa encargada del tratamiento del agua.

La toma de datos de parámetros *in situ* se realizó de acuerdo con lo establecido en los métodos de ensayo y error, estos fueron consignados en una hoja de campo por cada uno de los muestreos.

El lavado de los equipos y materiales se realizó con agua destilada con el fin de mantener su buen estado y prolongar su vida útil. Esto también se realizó con el fin de descontaminar los equipos para evitar una alteración en próximas tomas de mediciones.

Por último, en el transporte de las muestras se tuvo en cuenta los requerimientos de preservación que se especifican en la cadena custodia esto con el fin de evitar al máximo los cambios químicos y biológicos hasta que lleguen al laboratorio. Para tal fin las muestras fueron refrigeradas de inmediato en una nevera la cual tenía gel frío para mantener una temperatura de 4°C la cual está establecida en el protocolo del IDEAM, luego fueron llevadas de manera rápido en un automóvil y antes de 3 horas al laboratorio donde se entregaron al grupo técnico del laboratorio.



Ilustración 2 e Ilustración 3: Toma de muestras por los autores.

Ilustración 4 e Ilustración 5: Caja de inspección

Fuente: Autores, 2020

8.1.3. Resolución 0631 del 2015

Se tuvo en cuenta esta resolución debido a que se busca que la empresa de productos químicos automotrices pueda realizar vertimientos al sistema del servicio de alcantarillado; basados en su proceso productivo se encontró que la sección que se aplica para este caso es la del sector de actividades de fabricación y manufactura, establecido en el artículo 13 los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas, específicamente en la tabla de fabricación de sustancias y productos químicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

8.2. Fase 2: Propuestas de tratamiento y selección de la más viable.

En esta fase y con el análisis de los datos obtenidos en la primera fase se realiza una revisión e investigación sobre las posibles alternativas además de las tutorías por parte del director de la tesis.

En cada alternativa se tuvo en cuenta los diferentes procesos y operaciones unitarias que puedan llegar a disminuir los valores de los parámetros criterio y que estos cumplan los valores máximos permisibles por la resolución 0631 del 2015, por medio de un balance de cargas contaminantes con valores teóricos de remoción con los que se espera funcione el sistema de tratamiento del agua residual y además se tuvo en cuenta los criterios de cada proceso con respecto a la caracterización del agua residual generada por la empresa con el fin de que su funcionamiento sea óptimo

8.2.1. Selección de la alternativa

Para la selección de la alternativa que mejor se adecua al tratamiento del agua residual, se realizó una matriz de evaluación con los parámetros más relevantes para la elección, se tuvo

en cuenta también que cada una de las alternativas planteadas presentan ventajas y desventajas en diferentes aspectos como tecnológico, económico, ambiental y social, en donde se evaluó en cada uno criterios como eficiencia de remoción, área requerida, costo, mantenimiento, entre otros.

8.3.Fase 3: Ingeniería conceptual

Con la alternativa seleccionada se realizó una nueva visita a la empresa con el fin de poder ubicarla en el espacio área de la empresa que cumpla con lo establecido y la ubicación de cada unidad con su respectiva secuencia.

Para los cálculos de las unidades del sistema de tratamiento se utilizaron hojas de Excel tabuladas en clase, así mismo se realizó una consulta sobre diseño de unidades para los tratamientos de agua residual, obteniendo los procesos y operaciones unitarias, dimensionamiento de unidades y el porcentaje teórico de eficiencia, entre otros.

8.3.1. Diseño

Para el diseño se tuvo en cuenta los parámetros con los cuales se diseñan las unidades de la propuesta seleccionada, estos parámetros de diseño tiene como base toda la información obtenida durante del proyecto como el caudal del diseño.

8.3.2. Costos

Para los costos se tuvo en cuenta el costo de las unidades que se proponen en el tren de tratamiento con el fin de mirar cual sería económicamente más viable para la empresa.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Aquí se recopila la información la información obtenida, además del análisis de los datos obtenidos durante las actividades desarrolladas en le metodología.

9.1. Fase 1: Diagnóstico del agua residual generada en el proceso productivo.

Se realizó una visita inicial, donde se revisó la planta en general y sus diferentes procesos, en los cuales se realizan los siguientes productos:

- Refrigerantes
- Anticorrosivos
- Líquido para frenos
- Agua para batería
- Líquido limpia parabrisas
- Desengrasante

En donde la línea principal de productos es la de los refrigerantes, la visita fue guiada por el ingeniero a cargo en donde se explicó las etapas, químicos, procesos y operaciones que se tienen para terminar sus productos, también los manejos de lavado de tanques y el agua residual generada.

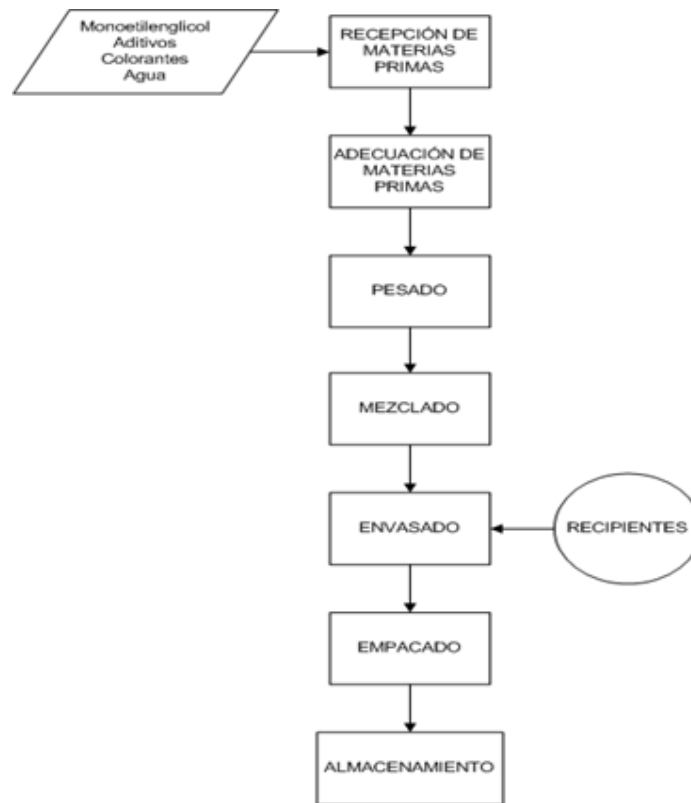


Ilustración 6: Diagrama de flujo del proceso productivo

Fuente: Propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental en la empresa QOOL-Engine S.A. basado en la norma ISO 14001; Rojas y Urbina; 2008

El agua residual es conducida por medio de tuberías la cual todas llegan a un mismo punto en donde se llega a una caja de inspección, de ahí pasa a los tanques de almacenamiento en donde se entregan a terceros para su adecuado manejo y disposición.

Como parte de la visita se recopiló información sobre muestreos realizados anteriormente de la calidad del agua residual, teniendo ya una base se inició la primera actividad de la fase 1 la cual fue realizar un muestreo de la calidad del agua residual.

9.1.1. Caudal

En la primera visita realizada se midió el caudal teniendo en cuenta la metodología planteada anteriormente obteniendo un valor de 1,2 litros por minuto y en la segunda visita un

caudal de 2 litros por minuto, pero como se mencionó anteriormente esto depende del producto que se esté elaborando, debido a esto día a día puede variar el caudal debido que no se utiliza la misma cantidad de agua.

Teniendo en cuenta la variación del caudal se procedió a tener en cuenta los datos obtenidos por la empresa a la hora de la entrega del volumen de agua residual mensual al tercero encargado del tratamiento y disposición de la misma, la cual en promedio son aproximadamente 1,000 litros los cuales son almacenados en unos tanques con una capacidad de 2,000 mil litros, estos tanques cuentan con un sistema de bomba de la caja de inspección, el cual cuenta con un flotador que activa la bomba para iniciar el llenado de los tanques de almacenamiento.



Ilustración 7: Tanques de almacenamiento

Fuente: Autores, 2020

9.1.2. Monitoreo de la calidad del agua

En este ítem se presentan los datos obtenidos de la recopilación de la información brindada por la empresa, así como la de los muestreos realizados con el fin de tener una mejor caracterización del agua residual generada en la empresa.

Tabla 3: Análisis de laboratorio y comparación con la resolución 0631 del 2015

Parámetros	suministrados por la empresa 1	suministrados por la empresa 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Resolución 0631	Unidad de medición
DBO 5	3650	4335	78350	52200	600	mg/L O2
DQO	5268	5080	1960000	83533	800	mg/L O2
GRASAS Y ACEITES	24	23	45	52	25	mg/L
NITRATOS	69,53	30	<0,1	<0,1	10*	mg/L -N
NITRITOS	-	233,6	223,027	1,44	10*	mg/L -N
NITROGENO AMONIAICAL	10,08		133	112	1*	mg/L N
NITROGENO TOTAL	-		396,6	151,2	10	mg/L N
NITROGENO TOTAL KJEL	13,16		173,6	149,8	10	mg/L N
TENSOACTIVOS ANIÓNIC	0,57		19,22	30,03	0,5*	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	437	300	-	-	200	mg/L
TENSOACTIVOS	30,03	13,08	-	-	0,5*	mg/L
FENOLES	<0,07		-	-	0,2	mg/L
HIDROCARBUROS TOTALES	11		-	-	10	mg/L
COBRE	0,07		-	-	1	mg/L
CADMIO	<0,0048		-	-	0,5	mg/L
ARSENICO	0,0008		-	-	0,1	mg/L
SELENIO	<0,0005		-	-	0,2	mg/L
PLOMO	0,3		-	-	0,3	mg/L
NIQUEL	0,09		-	-	0,5	mg/L
MERCURIO	<0,082		-	-	0,01	mg/L

Fuente. Autores, 2020

*Teniendo en cuenta que en la resolución 0631 del 2015 no se tiene valores de referencia para estos parámetros, por tanto, se tomaron los del acuerdo 43 del 17 de octubre del 2006 de la CAR, el cual es la autoridad ambiental del municipio de Zipaquirá, estos valores corresponden para Clase 1 que corresponde para usos de consumo humano y domésticos y Clase 2 con restricciones para el consumo humano y doméstico además para el uso agrícola.

El producto que se elabora con mayor frecuencia en la empresa son los diferentes tipos de refrigerantes, como se dijo en el documento la empresa elabora un producto por día y los refrigerantes con sus variaciones pueden ser de hasta 3 o 5 veces a la semana (este depende de la temporada ya que en temporadas de vacaciones se aumentan los viajes por carretera y se necesita fabricar más).

Teniendo en cuenta los resultados, el alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática, entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas. (Lecca & Lizama, 2014).

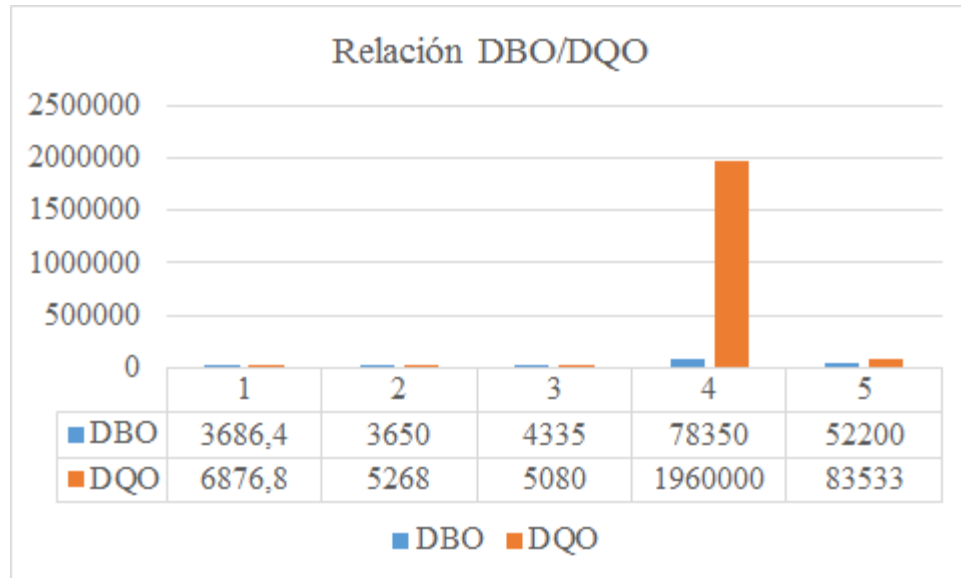
· DBO₅ y DQO

Los vertimientos generados por la elaboración de refrigerantes son quienes más aportan carga orgánica en el agua residual esto debido a que uno de los principales insumos y el que se presenta en mayor cantidad en la empresa es el Etilenglicol, este producto es soluble en agua y debido a su degradación en el agua aumenta los valores de DBO₅ y DQO y es utilizado para aumentar el punto de ebullición del agua común como refrigerante.

Un valor típico de una DBO para un agua residual industrial del sector químico puede ir de 5000 a 10000 (Agua, 2007) teniendo estos valores como referencia, la carga contaminante obtenidos para la DBO son altos y con esto se podría llegar a decir que el oxígeno disuelto en el agua es muy bajo, ya que estos parámetros tienen una relación inversa, es decir donde la DBO es alta, el OD es baja, y así mismo puede establecerse lo contrario. (Ramahlo, 1994)

Cabe aclarar que se tenía contemplado la realización de 4 muestreos pero solo se pudieron realizar 2 de los 4 debido a que se registraron los primeros pacientes en la ciudad de Bogotá con COVID-19 por tanto la empresa en miras de cuidar a su personal de trabajo dentro de la planta optó por tener un cese de actividades antes de que iniciara la cuarentena preventiva establecida por la alcaldía mayor de Bogotá, por tanto solo se pudo llevar a cabo 2 muestreos y con el fin de complementar la información obtenida se buscó valores típicos y muestreos realizados en industrias similares para poder tener una mayor muestra de los parámetros DBO_5 y DQO ya que en los primeros resultados obtenidos por el laboratorio contratado se evidenció que los valores para estos parámetros estaban muy por encima y/o tenían valores similares a otro tipo de agua residual.

Como se observa en la tabla, los parámetros DBO_5 y DQO están muy por encima de la resolución, además la relación entre los muestreos realizados por los autores con los realizados por la empresa se ve un aumento desproporcionado de estos valores, cabe resaltar que para el muestreo 1 que la relación entre DBO_5/DQO no se cumple, ya que la DQO generalmente es aproximadamente el doble de la DBO_5 y el valor de la DQO está muy por encima del doble.



Gráfica 1: Relación DBO/DQO

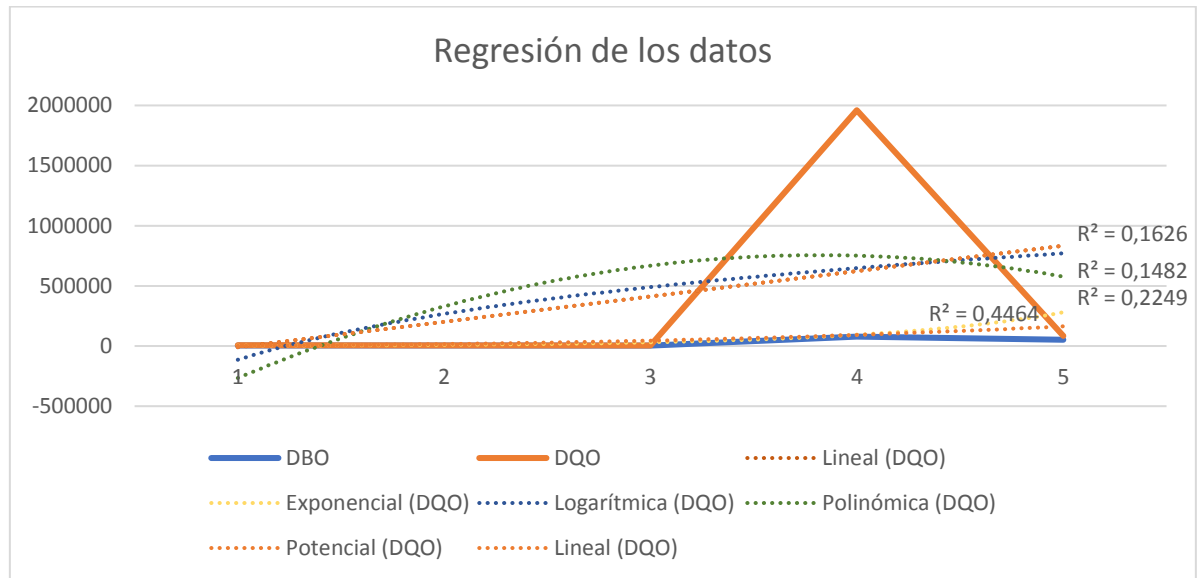
Fuente: Autores, 2020

Teniendo en cuenta la gráfica anterior para el punto 1 son los valores relacionados a un lavado de automóviles. Es preciso anotar que una actividad como el lavado y mantenimiento de vehículos genera vertimientos líquidos con desechos de aceites de motor, solventes, refrigerantes, anticorrosivos, aditivos, grasas, sólidos suspendidos, jabones y detergentes. (Carrilo & Gómez, 2008)

El punto dos es el muestreo suministrado por la empresa el cual se realizó para en el año 2017 con el fin de iniciar el proceso para verter sus aguas residuales

El punto 3 fue el primer muestreo realizado este año en el cual vemos que el valor de DQO es mayor con respecto a los demás valores que se tiene sobre la misma industria o similares, si bien puede presentarse casos en los cuales el valor de DQO puede ser muy alto para este caso no se presenta una correlación lógica con la DBO y con los demás valores esto

pudo deberse a una mala toma de la muestra, almacenamiento, transporte o en la lectura del mismo en el laboratorio

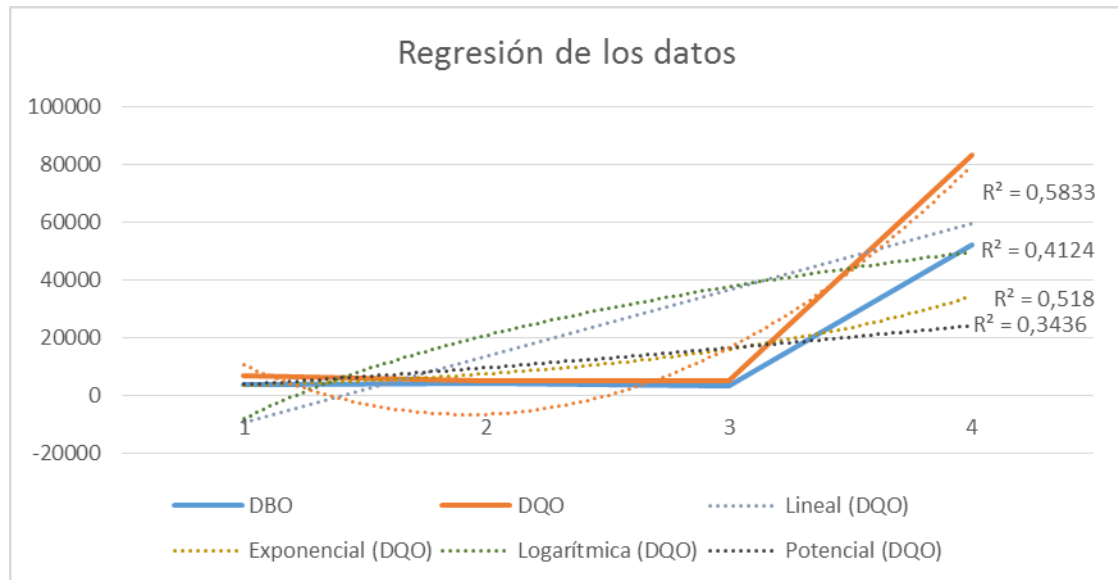


Gráfica 2: Regresión de los valores de DBO y DQO

Fuente: Autores, 2020

Teniendo en cuenta los modelos matemáticos que evidencia la gráfica 2 y con ayuda de Excel se aplicaron las diferentes regresiones para saber cuál se adaptaba mejor dentro de los datos obtenidos para la DQO y se observó que ninguno de los modelos es aplicable para este tipo de datos, por tanto se procedió a rechazar el dato número 3 debido a que se pudo presentar un error humano en alguna de las fases que se mencionaron anteriormente

El punto 4 es el segundo muestreo realizado por los autores en donde los datos obtenidos por el laboratorio son muy altos con respecto al teórico y al primer muestreo realizado, el valor de la DQO tiene valores similares a los que se podría encontrar en una caracterización típica de aguas lixiviadas en rellenos sanitarios (dentro de los rellenos sanitarios podemos encontrar valores de DQO como 84634,54 mg/L O₂ (Torrez, Tejada, García, & Padilla, 2018)).



Gráfica 3: Regresión de los valores de DBO y DQO sin el valor del primer muestreo

Fuente: Autores, 2020

Para la gráfica 3 el valor numero 4 corresponde al segundo muestreo realizado en donde los modelos matemáticos no se ajustan a los datos obtenidos en especial los realizados por los autores, esto pudo tener causa bien sea al momento de realizar la toma de la muestra, transporte que pudo verse afectado al realizar la lectura en el laboratorio, por tanto se procedió despreciar el valor del segundo muestreo.

Teniendo en cuenta lo anterior se utilizó 3 valores dentro de los datos obtenidos para los parámetros de DBO₅ y DQO y con el fin de utilizar un solo valor para las propuestas de tratamiento se realizó la siguiente tabla:

Tabla 4: Valor de los parámetros DBO y DQO para el diseño.

	SUMINISTRADOS POR LA EMPRESA	SUMINISTRADOS POR LA EMPRESA	TEORICO 1	PROMEDIO
DBO	3650	4335	3686,4	3890,47
DQO	5268	5080	6876,8	5741,6
Relación DBO/DQO	0,69	0,85	0,54	0,68

Fuente: Autores, 2020

Teniendo en cuenta la tabla anterior se obtuvo que para la DBO un valor de 3890,74 mg/L O₂ y para la DQO un valor de 5741,6 mg/L de O₂ con una relación entre ambos parámetros de 0,68 que con el esperado de 0,5.

- Color

El color del agua principalmente es de un color fluorescente esto debido a que en el proceso producto se utilizan para la identificación de fugas del producto, bien puede ser verde como se puede evidenciar en la imagen 4 para los refrigerantes con contenidos de glicol inferiores al 40% y naranja o violeta para refrigerantes con contenidos superiores.

- Grasas y aceites

Con respecto a las grasas y aceites procedentes de la industria se deben principalmente a que por ser menos densos que el agua, se extienden sobre la superficie, creando películas que alteran los procesos biológicos de las aguas, ya que al crearse una película impide el intercambio aire-agua y que absorbe la radiación solar, se afecta la actividad fotosintética, impidiendo la producción de oxígeno disuelto. (Jiménez Morales, 2012)

- Hidrocarburos

A lo que corresponde a los efectos de la contaminación del agua por hidrocarburos se puede presentar en la asfixia con efectos en las funciones fisiológicas, toxicidad química que genere efectos letales y subletales o provoque el deterioro de funciones celulares, efectos indirectos, como por ejemplo la pérdida de hábitat o refugio y la eliminación de especies con importancia ecológica, entre otros. (ITOPF, 2005)

9.1.3. Contaminantes criterio.

Para los contaminantes criterios se tuvo en cuenta el análisis realizado en el ítem 9.1.2. en donde para los parámetros DBO₅ y DQO se tomó el promedio de los valores obtenidos por los muestreos y el teórico debido a que no se pudo realizar la totalidad de las muestras y para los demás parámetros los valores obtenidos dentro del muestreo realizado por la empresa

Tabla 5: Contaminantes criterio

Parámetro	Valor	Valor Resolución	Unidad de medición
DBO	3890,47	600	mg/L O ₂
DQO	5741,6	800	mg/L O ₂
Grasas y aceites	52	25	mg/L
Sólidos Suspendidos	437	200	mg/L
Hidrocarburos totales	11	10	mg/L
Nitritos	223	10	mg/L
Nitrógeno Total	133	1	mg/L
Tensoactivos	30,03	0,5	mg/L

Fuente: Autores, 2020

Estos contaminantes nos brinda la información necesaria con el fin de plantear un tren de tratamiento que ayuden a disminuir la carga contaminante y que las aguas residuales puedan ser tratadas y vertidas dentro del sistema de alcantarillado del municipio de Zipaquirá

9.2. Fase 2: Propuestas de tratamiento y selección de la más viable.

En esta fase se propusieron los procesos para el tratamiento del agua residual generada por la empresa, teniendo como base el análisis realizado anteriormente de la caracterización del agua residual y sus parámetros criterio a tratar por medio de la revisión bibliográfica del tema con el fin de encontrar alternativas y poder realizar el vertimiento al sistema de alcantarillado de la ciudad de Zipaquirá

Se tuvo en cuenta los principios básicos para el tratamiento de un agua, los cuales están divididos en 4 grandes grupos los cuales son: pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario y cada uno con sus respectivas opciones de procesos y operaciones unitarias.

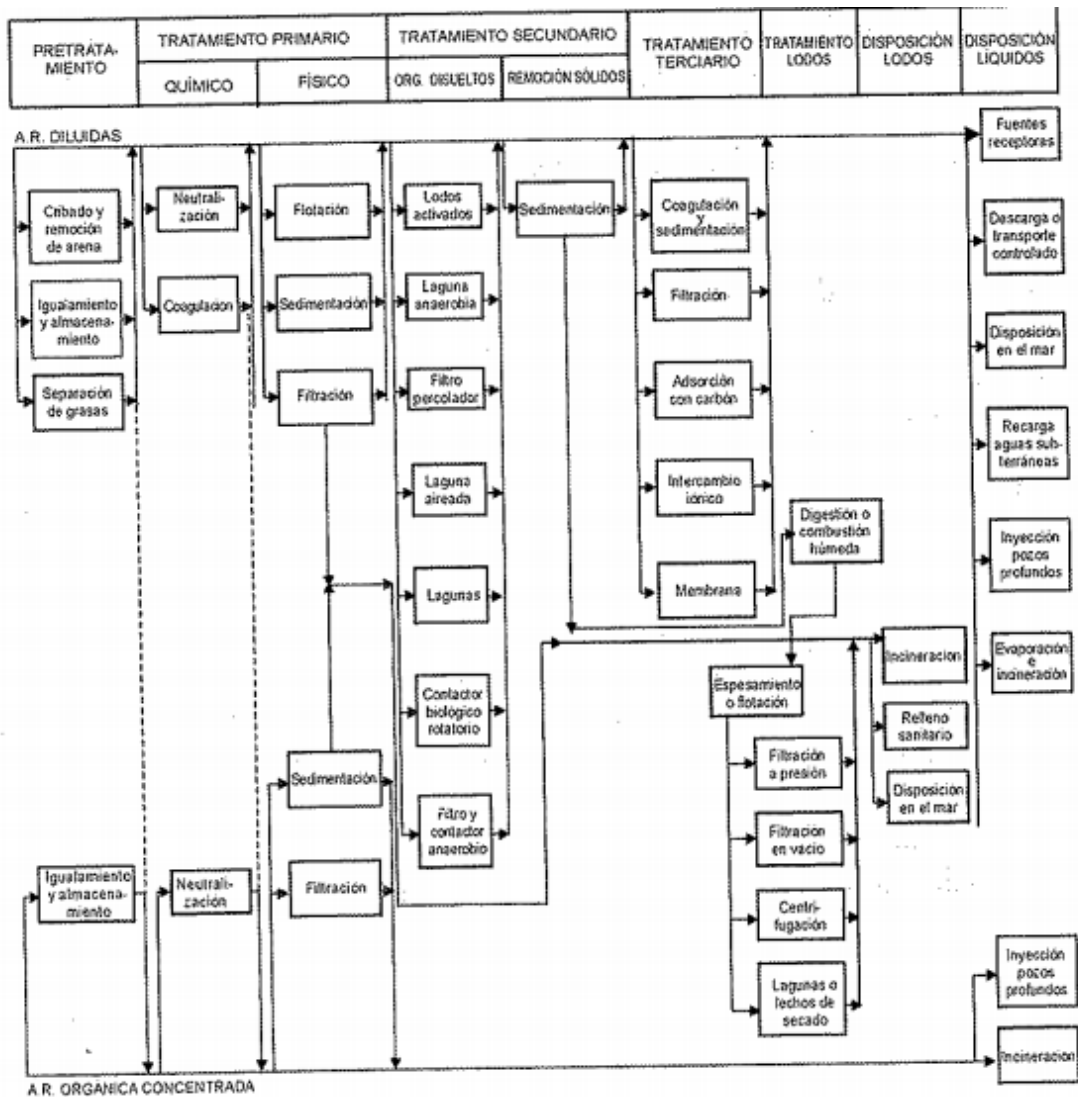


Ilustración 7: Procesos de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Romero, 2000

La principal problemática que se tiene con el agua residual generada en el proceso productivo de la empresa es la gran carga contaminante de materia orgánica que se ve reflejada en los parámetros de DBO y DQO, por lo tanto, se buscaron aquellos tratamientos que ayuden a disminuir y los valores obtenidos para poder cumplir la norma.

Tabla 6: *Procesos aplicables para el tratamiento de aguas residuales*

Contaminante	Proceso
DBO	Lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, unidades de contacto biológico rotatorio o biodiscos, lagunas facultativas aireadas o fotosíntesis, lagunas anaeróbicas, filtros anaeróbicos, proceso anaeróbico de contacto, reactores anaeróbicos de flujo ascensional (PAMLA o UASB).
Sólidos suspendidos	Sedimentación, flotación, cribado, filtración.
Compuestos orgánicos refractarios	Adsorción con carbón, intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.
Nitrógeno	Nitrificación – desnitrificación, intercambio iónico.
Fósforo	Precipitación química, precipitación biológica, intercambio iónico.
Metales pesados	Intercambio iónico, precipitación química
Sólidos disueltos inorgánicos	Intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.

Fuente: Romero, 2000

Como se mencionó anteriormente, el agua residual generada en el proceso productivo llega a una caja de inspección (Anexo. 1) y se parte de aquí para realizar el sistema de tratamiento.

9.2.1. Propuesta 1.

En esta propuesta se presenta un proceso físico químico para tratar el agua residual de la empresa, este se da teniendo en cuenta que estos procesos se encuentran dentro de un tratamiento primario con el cual se busca eliminar sólidos suspendidos, que al ser muy finos no son eliminados fácilmente dentro de este tratamiento se puede encontrar diferentes procesos como la decantación o sedimentación, neutralización cuya función es retener la mayor cantidad de sólidos sedimentables, evitando así la colmatación de lodos en los posteriores sistemas, problemas operacionales y bajas eficiencias (Pabón & Gélvez, 2009), coagulación – floculación, para este caso se decide tomar el proceso de coagulación – floculación debido en

este se desestabilizan químicamente las partículas coloidales que se encuentran en suspensión y por tanto se favorece su aglomeración generando flocúlos ayudando a cambiar la composición del agua tratada.

Con esta propuesta se busca

- Lograr la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Eliminación de sustancias productoras de olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos.
- Disminución de DBO₅ y DQO en un porcentaje elevado.

Dentro de las ventajas de este tratamiento se encuentran la alta disponibilidad, bajo costo, flexibilidad de uso, generación de lodos, el rendimiento depende de la agitación, requiere energía constante, Costo regular por los químicos, alta velocidad de decoloración, alta eficiencia en eliminación de sólidos, y elevado costo para el tratamiento de lodos.

Por otro lado cabe destacar que este proceso genera una remoción de:

Tabla 7: Rango de porcentaje de remoción

Parámetros	Porcentaje de remoción
DBO ₅	50 – 85%
DQO	60 %
SST	70 – 90%

Fuente: (Puentes, 2005)

Este sistema de coagulación floculación va ir acompañado de un sedimentador primario el cual diseñados y operados pacientemente pueden remover entre 50% y 70% de sólidos suspendidos y para los parámetros de DQO y DBO un porcentaje mayor del 50% teniendo en cuenta la cantidad de solidos disueltos en el agua residual generada en el proceso productivo de la empresa favorece la formación del floc por tanto su porcentaje rondaría entre el 80-90%

La remoción de las partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideran como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tiene una densidad muy cercana a la del agua o que han sido suspendidas y que no pudieron ser removidas en el proceso anterior. La sedimentación es un proceso netamente físico y es uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para que pueda ser clarificada (Ramalho, 2013).

Con el fin de efectuar que tan viable es este tratamiento se realiza un balance de carga donde analizara si se llega o no a cumplir con el propósito que es no exceder la resolución 0631 de 2015.

9.2.2. Propuesta 2

En segundo lugar se propone un sistema de tratamiento de floculación flotación ya que este al ser compacto permite un alto rendimiento. En el tratamiento de aguas residuales, la flotación está diseñada para eliminar todas las partículas que en general se encuentran en forma de emulsiones muy finas, sólidos suspendidos, microorganismos y dispersiones coloidales. Por lo tanto, los procesos se optimizan por la máxima recuperación de agua limpia con la concentración más baja de contaminantes (Cano, 2015)

Dentro de las variables del proceso de floculación-flotación se caracterizan el tipo de mezcla y eficiencia química, las características catiónica y aniónica de los floculantes y coagulante, las características del tipo de contaminante, la mezcla y carga contaminante, los niveles de flujo ajustables o constantes, el tamaño de los equipos, el porcentaje de aire disuelto en el agua, la formación de flocs, tipo de instalación de equipos, mantenimiento, capacidad de tratamiento y entre otros los costos de operación (Cano, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior se propone un tratamiento con el método o la unidad DAF o flotación por aire disuelto, en este proceso se logra introducción el agua residual en un tanque de retención cerrado, a este se le va agregar aire presurizado el cual va saliendo a presión atmosférica liberando el gas en exceso; como la corriente del agua residual que pasa por los tubos está saturada se generan presiones elevadas lo que conlleva a la formación de pequeñas burbujas las cuales hacen contacto con las partículas presentes en el flujo dando un floc en el cual van a estar los contaminantes que se extraen del flujo de agua que entra al sistema.

Dentro de las ventajas de este sistema encontramos que:

- Es un sistema compacto y energéticamente más eficiente que otros sistemas de decantación tradicionales.
- Los requerimientos de obras civiles son mínimos y la puesta en marcha del sistema es rápida y sencilla.
- Se utiliza como tratamiento previo a los Sistema Biológicos y posterior al Sistema MBBR.
- Se utiliza también como tratamiento único de separación para bajar cargas contaminantes antes de verter al alcantarillado y como tratamiento físico-químico para obtener remociones del 90% de la carga contaminante.

Por otro lado, los porcentajes de remoción que genera este sistema son:

Tabla 8: Porcentaje de remoción

Parámetros	Porcentaje de remoción
DBO ₅	58 %
DQO	60 %
SST	70 %

Fuente: (Marin, 2015)

9.2.3. Balance de cargas.

Para realizar el cálculo del balance de la carga contaminante se tuvo en cuenta los valores teóricos de % de remoción de cada proceso de tratamiento con el agua, así mismo dentro del rango se tomó el valor medio con el que se espera que la planta pueda llegar a funcionar.

Tabla 9: Balance de cargas contaminantes propuesta 1

Propuesta 1						
Parámetros	Sedimentador			Coagulación - Flocculación		
	entrada	% remoción	salida	entrada	% remoción	salida
DBO	3890,47	30%	2723,329	2723,329	85%	408,49935
DQO	5741,6	35%	3732,04	3732,04	80%	746,408
Grasas y ace	52	50%	26	26	80%	5,2
Sólidos susp	122,36	30%	85,652	85,652	90%	8,5652

Fuente: Autores, 2020

Propuesta 2						
Parámetros	DAF			MBR		
	entrada	% remoción	salida	Entrada	% Remoción	Salida
DBO ₅	19845,47	58%	8335,1	8335,1	92%	666,81
DQO	31892	59%	13075,7	13075,7	96%	523,029

Sólidos suspendidos	122,36	72%	34,2608	34,2608	72%	9,59
---------------------	--------	-----	---------	---------	-----	------

Tabla 10: Balance de cargas contaminantes propuesta 2

Fuente: Autores, 2020

9.2.4. Matriz de evaluación y selección del tratamiento

Para determinar una evaluación idónea se tuvo en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas propuestas con sus respectivas unidades, con el fin de determinar cuál es el sistema de tratamiento adecuado, para ello se consideraron los siguientes factores:

- A. **Eficiencia de remoción de contaminantes:** Este es uno de los factores más importantes debido a que se define en función de la degradación de cada uno de los contaminantes criterios para nuestro caso la DBO₅, DQO Y SST que son los parámetros que exceden de manera considerable la norma.
- B. **Área requerida:** Este factor para nosotros es sumamente importante debido a que en la empresa cuenta con un área determinada de para la adecuación del sistema de tratamiento.
- C. **Disponibilidad de la tecnología:** Para este se tuvo en cuenta la accesibilidad a la tecnología, insumos y equipos necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema.
- D. **Costos de tecnología:** Dentro de estos costos se tuvo en cuenta la inversión, mantenimiento y tecnología, este es difícil de definir ya que cada uno de las propuestas tiene consideraciones diferentes y el proceso e insumos no son los mismos.
- E. **Producto acto para verter:** Este factor es muy importante ya que la tecnología implementada debe tener una remoción de los parámetros adecuada que cumpla con la resolución 0631 de 2015.
- F. **Disponibilidad de mano de obra:** Se comparó la mano de obra que necesitan los distintos tratamientos, la búsqueda de personal capacitado y el costo que esto genera.

G. **El entorno:** En este ítem se tuvo en cuenta la generación de malos olores, ruido, espacio, reutilización y beneficio.

Luego de haber analizado cada factor se procedió a confrontar los factores, donde se asignó una letra para facilitar la ponderación de cada uno y elegir de acuerdo a la mayor puntuación los factores que son más importantes.

A = Eficiencia de remoción.

B = Área requerida

C = Disponibilidad de la tecnología.

D = Costo de tecnología.

E = Producto Acto para verter

F = Disponibilidad de mano de obra

G = Entorno.

Para el análisis y resultado de la confrontación de los distintos factores se aplicó el criterio de relación, esto con el fin determinar qué factores son los más relevantes de acuerdo a la conexión entre ellos, donde el valor 1 es si existe relación, y cero si no hay relación alguna.

Tabla 11: Confrontación de factores

FACTORES	A	B	C	D	E	F	G	CONTEO	PONDERADO
A		1	1	1	1	1	1	6	19,4 %
B	1		0	0	1	0	1	3	9,7 %
C	1	1		1	1	1	1	6	19,4 %
D	1	1	1		1	0	0	4	13 %
E	1	1	1	1		1	1	6	19,4 %
F	1	0	1	0	1		0	3	9,7%
G	1	0	1	0	1	0		3	9,7 %
TOTAL								31	100 %

Fuente: Autores 2020

Para finalizar teniendo la ponderación de casa uno de los factores se procedió con la evaluación de las alternativas, se calificó en una escala de 4 a 10 como se puede ver en la tabla 11, permitiendo determinar el tratamiento más adecuado de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Tabla 12: Puntaje de selección

ESCALA	PUNTAJE
Muy buena	10
Buena	8
Regular	6
Mala	4

Fuente: Autores, 2020

9.2.5. Calificación de Alternativas

Los factores ponderados se calificaron de acuerdo a la escala y el puntaje dado en la tabla 12 Esto teniendo en cuenta cada uno de los factores y las diferentes unidades que se propusieron en cada alternativa.

Tabla 13: Puntaje obtenido de las propuestas

Tratamientos		Propuesta 1		Propuesta 2	
Factor	Peso	Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje
A	19,4 %	10	1,94	10	1,94
B	9,7 %	10	0,97	8	0,77
C	19,4 %	8	1,55	6	1,16
D	13 %	6	0,78	6	0,78
E	19,4 %	8	1,55	8	1,55
F	9,7%	8	0,77	8	0,77
G	9,7%	10	0,97	10	0,97
TOTAL			8,53		7,94

Fuente: Autores, 2020

Por lo anterior se encuentra factible la propuesta numero 1 obteniendo el mayor puntaje, de acuerdo a las necesidades de la empresa, por lo que se procede a la realización del diseño de la propuesta.

10. FASE 3: DISEÑO

Para el desarrollo del diseño se inició primero por utilizar la actual caja de inspección como un sistema de tanque de igualación, la cual está conformada por 3 secciones iguales, con el fin de que esta caja pueda recibir las aguas residuales homogenizando las cargas, se procedió a vaciar la caja de inspección con el fin de poder medir la profundidad y también sus lados obteniendo las siguientes dimensiones:

Profundidad: 0,6 m

Largo: 0,74 m

Ancho: 0,6 m

El volumen sería $V = P*L*A$ arrojando un valor de $0,27m^3$ de cada sección (Ver anexo

1)

10.1. Sistema de Coagulación

Teniendo en cuenta las características del caudal se optó por un sistema de mezcla mecánica.

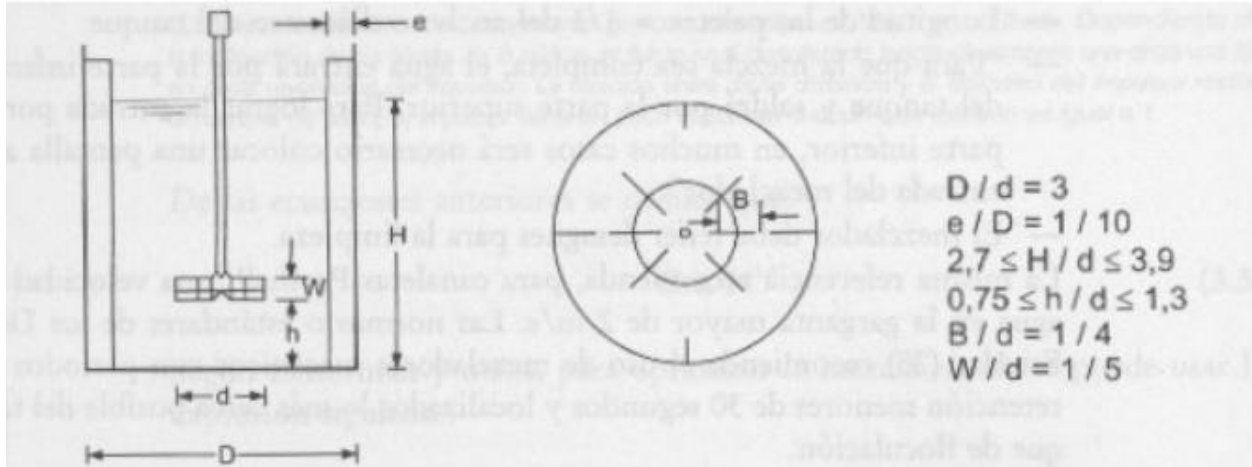


Ilustración 8: Relaciones de diseño para tanque de coagulación

Tomado de: Purificación del agua (2000)

10.1.1. Tanque de Coagulación

Para calcular el volumen del tanque se utilizó el caudal de diseño así mismo el tiempo de retención 1,75 minutos utilizando la fórmula:

$$\text{Volumen} = Q * T_r = 1,6 \frac{\text{litros}}{\text{minutos}} * 1,75 \text{ minutos} = 2,8 \text{ litros}$$

(Garzón, 2005)

Añadiendo un factor de seguridad de 1,25 el cual representa la pérdida de volumen a causa del agitador y bafle el volumen del tanque queda:

$$2,8 \text{ litros} * 1,25 = 3,5 \text{ litros} * \frac{1000\text{cm}^3}{1\text{litro}} = 35000\text{cm}^3$$

Teniendo en cuenta que la mayoría de los sistemas de coagulación de mezcla mecánica son de forma cilíndrica debido a que se genera una mejor mezcla, además se tiene estandarizado las relaciones que facilitan los cálculos para el diseño, por tanto para el dimensionamiento tenemos que:

$$\frac{D}{d} = 3$$

$$\frac{H}{h} = 3$$

E igualando estas dos ecuaciones se tiene

$$H = D$$

Donde:

D: Diámetro del tanque

d: Diámetro de la paleta

H: Altura del tanque

Teniendo el volumen de la unidad hallamos el diámetro y la altura del tanque, por medio de la ecuación del volumen de un cilindro

$$v = \pi * D^2 * \frac{H}{4} \rightarrow v = \frac{\pi D^3}{4} \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4v}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 35000}{\pi}} = 35,45cm$$

$$D = H = 40cm$$

(Garzón, 2005)

Como la altura (H) corresponde a la cota del agua se multiplica por un factor de seguridad de 1,35 para evitar que por la agitación se desborde, por tanto la altura final del tanque es:

$$H_{tanque} = H * 1,4 = 50,4cm \approx 50 cm$$

(Garzón, 2005)

Ver Anexo 2.

10.1.2. Sistema de agitación

El diámetro y ancho de las paletas del agitador también está estandarizado, se tiene la fórmula:

$$d = \frac{36cm}{3} = 12cm$$

El ancho de las paletas se obtiene de la relación

$$\frac{W}{d} = \frac{1}{5} \rightarrow W = \frac{d}{5} \rightarrow W = \frac{12cm}{5} = 2,4cm \approx 3 cm$$

(Garzón, 2005)

10.2. Sistema de floculación

Al igual que el sistema de coagulación se optó por un sistema de agitación mecánico con un eje de rotación horizontal, debido al bajo caudal el cual no permite un sistema de mezcla hidráulico.

Para el diseño del sistema se define los valores de gradiente de velocidad y tiempo de retención que se muestran a continuación los cuales son:

- $G_1 = 50s^{-1}$
- $G_2 = 25s^{-1}$
- $HRT = t = 40 \text{ minutos} = 2400 \text{ segundos}$

Con lo cual obtenemos el valor de GT_{promedio} de:

$$GT_{promedio} = \frac{(10 + 20)}{2} * 2400 = 36000$$

(Garzón, 2005)

10.2.1. Tanque de floculación

El volumen de los compartimientos del sistema de agitación se halla de la siguiente forma:

$$v_1 = Q * t = 0,027 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} * 2400 \text{segundos} = 64,8 \text{litros}$$

Ahora se calcula el volumen de cada cámara

$$v_{comp} = \frac{v_t}{2} = \frac{64,8 \text{ litros}}{2} = 32,4 \text{ litros}$$

(Garzón, 2005)

10.2.2. Dimensiones del floculador

Cada compartimiento será un cubo, debido a que la altura del agua y el ancho debe ser el mismo ($L_{lado} = H_{agua}$) para que el mezclador pueda girar libremente tenemos que:

$$H_{agua} = L_{Ancho} = \sqrt[3]{v_{comp}} = \sqrt[3]{324000 \text{cm}^3} = 68,68 \text{cm} \approx 70 \text{cm}$$

(Garzón, 2005)

Las cámaras estarán divididas por una placa de un grosos de 1 cm además de unas aberturas en sentido horizontal para que estén conectadas entre los comportamientos, entonces la longitud total de las recamaras de agitación lenta es la siguiente

$$L_{Largo} = (70 * 2) + 1 = 141 \text{ cm}$$

La sub cámara se ubicará después del segundo compartimiento y se encontrara dividida por una placa de 1 cm, además contará con aberturas de 2 cm para el paso del fluido y de los flocs, la distancia entre la placa de separación y el otro borde es de 20 cm y la salida para evacuar el agua estará ubicada en la placa inferior (piso).

Por lo tanto la medida del tanque de floculación son las siguientes: un ancho de 70 cm de longitud efectiva y el largo se halla con la siguiente ecuación

$$L_{Floculador} = L_{comp} + L_{placas} = (70cm * 2) + 20 + (1cm * 2) = 162 cm$$

(Garzón 2005)

La altura del tanque está dada por el nivel del agua y se tiene un factor de seguridad de 1,25 obteniendo un valor de:

$$H_{Tanque} = H_{agua} * 1,25 = 70cm * 1,25 = 87,5 \approx 90cm$$

(Garzón, 2005)

Estas medidas corresponden la distancia entre las paredes internas de la unidad

Sistema de agitación

Está conformado por un motor el cual transmite la potencia a un eje rotor horizontal metálico a través de na banda, la vara estará ajustada a los extremos del tanque del floculador a una altura la cual está determinada por el nivel del agua la cual es la mitad de la distancia del fondo y la cota del agua:

$$H_{Anclaje} = \frac{H_{agua}}{2} = \frac{70cm}{2} = 30 cm$$

(Garzón, 2005)

El diámetro de la cara es de 2 cm para evitar que se fracture o se distorsione a causa del esfuerzo a la que va a ser sometida la configuración de las paletas, es paralela al eje rotor como se muestra en la figura:

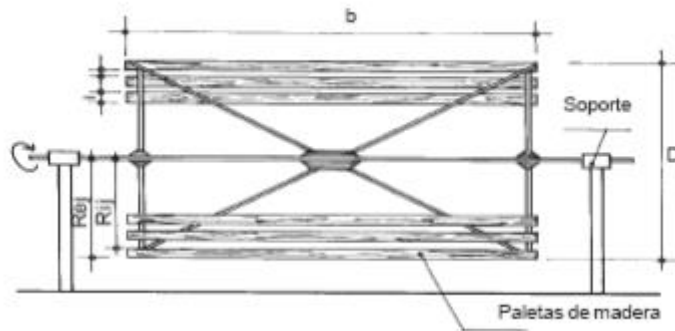


Ilustración 9: Agitador de eje horizontal con paletas paralelas

Tomada de: Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida

Entonces para el primer compartimiento tenemos que para definir el número y las dimensiones de las cuchillas, se tiene en cuenta que debe estar entre un 15-20 % del área de la cara lateral de cada compartimiento, respecto a la cota del agua

$$A_{cuchillas} = A_{cara} * 20\% = 70cm * 70cm * 0,2 = 980cm^2$$

(Garzón, 2005)

Para este compartimiento se decide tomar 4 cuchillas, dos en cada “aleta” por lo cual se obtiene las siguientes dimensiones para cada una

$$L_{cuchilla} = \frac{A_{cuchilla}}{4} = \frac{980cm^2}{4} = 240 cm^2$$

(Garzón, 2005)

10.3. Sedimentador

Se optó por un sedimentador de flujo ascendente ya que el caudal es pequeño, este tipo de tanques tienen comodidad de operación, las características generales del sedimentador consisten en un tanque de forma circular de fondo cónico.

10.3.1. Dimensiones del tanque sedimentador

De acuerdo al RAS el tiempo de detención para un sedimentador de flujo ascendente con manto de lodos es de 1 a 1,5 horas

$$Volumen = Q * t_R = 1,6 \frac{l}{min} * 1,25 \text{ horas} * 60 \frac{min}{hora} = 120 \text{ litros}$$

(Garzón, 2005)

Para la parte cónica se hallaron las áreas superior e inferior, teniendo en cuenta que la velocidad del agua no supere la velocidad mínima propuesta por arboleda de 2-8 cm/min, para evitar una agitación o turbulencia.

$$A_{cono} = \frac{Q}{V_c} = \frac{1600 \frac{cm^3}{min}}{8 \frac{cm}{min}} = 200 \text{ cm}^2$$

$$A_{cono} = \frac{Q}{V_c} = \frac{1600 \frac{cm^3}{min}}{2 \frac{cm}{min}} = 533,33 \approx 500 \text{ cm}^2$$

(Garzón, 2005)

Aplicando una carga superficial de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ el área inferior del cono es:

$$A_{cono} = \frac{Q_{diario}}{C_s} = \frac{1600 \frac{cm^3}{min} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3}}{30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}} = 0,0256 \text{ m}^2 = 256 \text{ cm}^2$$

(Garzón, 2005)

Se procede a hallar el diámetro de cada una de las áreas con la ecuación del área de un círculo

$$A_c = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D_{SUP} = \sqrt{\frac{4 * 200cm^2}{\pi}} = 15,95cm \approx 15cm$$

$$D_{INF} = \sqrt{\frac{4 * 500cm^2}{\pi}} = 25,23cm \approx 25 cm$$

(Garzón, 2005)

Para hallar el diámetro del tanque se tiene en cuenta la velocidad máxima de ascensión tiene que ser igual con la que sale en la parte inferior del cono, por tanto debe tener el mismo momento de ascensión es la misma que se calculó anteriormente

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1000cm^2}{\pi}} = 35,68cm \approx 40cm$$

La parte inferior del sedimentador tiene una pendiente de 45° para permitir la caída del floc al fondo de la unidad en donde hay una abertura de 2 pulgadas (5cm) por donde se retiran el sedimento, por lo cual la altura mínima que debe tener la zona cónica del sedimentador es de:

$$h = (20cm - 2,5)tan45^\circ = 17,5cm$$

(Garzón, 2005)

Para el diseño, la altura del cono será el doble del valor hallado anteriormente, dejando un radio de 37,5 cm, teniendo en cuenta esto, el volumen contenido se calcula por medio de la diferencia del volumen de dos conos

$$V = \frac{1}{3} * \pi * [(r_1^2 * h_1) - (r_2^2 * h_2)]$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * [(75^2 * 35) - (2,5^2 * 2,5)] = 206150,65cm^3$$

Para determinar la altura del cilindro

$$H_{cilindro} = \frac{V}{\pi * r^2} = \frac{206150,65cm^3}{\pi * (37,5cm)^2} = 46,66cm \approx 50cm$$

Las dimensiones del cono son:

$$D_{SUP} = 20 cm$$

$$D_{INF} = 15 cm$$

$$H_{CONO} = (50cm + 20cm - 17,5) = 52,5cm$$

(Garzón, 2005)

11. Costos

Para los costos se investigó cual sería el material idóneo para cada una de las unidades teniendo en cuenta las dimensiones de las mismas, resistencia a la presión y agentes químicos y por último la manipulación para que el mantenimiento sea fácil, rápido y se haga de forma manual.

Dentro de la investigación el vidrio el cual forma parte del grupo de familiar de cerámicas. Este posee un conjunto de cualidades dentro de las cuales están la transparencia óptica, la resistencia, el aislamiento, modelable y la facilidad con que se encuentra el material.

Este material fue el escogido para el floculador y sedimentador, cabe aclarar que cada una de las unidades se refuerce con lámina de fibra de vidrio la cual tiene una resistencia igual al acero, permitiendo que las unidades estén seguras y que no hallan fugas en el sistema.

Para el coagulador se va utilizar un tanque de 50 litros ya que es la manera más fácil e idónea para cumplir con el propósito de la unidad, este no será laminado con fibra de vidrio ya que su material es resistente y no tiene probabilidad de romperse o averiarse de manera fácil.

Dentro de las tuberías y accesorios del sistema se van a trabajar con pvc que es un material con muchísima durabilidad y se pueden encontrar distintos accesorios que hacen fácil la construcción del sistema, al ser un sistema pequeño se omiten material como el acero y demás que son mucho más costosos y no tendrían ninguna ventaja con el de PVC para este caso en concreto.

Tabla 14: Costos de la propuesta seleccionada

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
ESTRUCTURA DE COSTOS				
COSTOS DIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<i>Estructura de llegada de tubería al alcantarillado</i>				
Lamina de acrílico transparente 120 x 90	cm	8	\$ 214.000	\$ 1.712.000
Cemento	kl	1	\$ 24.800	\$ 24.800
Reforzamiento en fibra de vidrio	m	2	\$ 36.000	\$ 72.000
Adhesivo UV transparente de curado rápido (20 ml)	ml	3	\$ 85.000	\$ 255.000
<i>Tanque de floculación</i>				
Lamina de acrílico transparente 120 x 90	cm	7	\$ 214.900	\$ 1.504.300
Reforzamiento en fibra de vidrio	m	2	\$ 36.000	\$ 72.000
Mezclador de aletas	und	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Sulfato de Aluminio 25 Kg	und	1	\$ 28.000	\$ 28.000
Motoreductor Vitriñas Giratorias 120vac 24rpm /60 Kg	und	1	\$ 160.000	\$ 160.000
<i>Coagulación</i>				
Tanque fibra de vidrio 50 litros	und	1	\$ 412.162	\$ 412.162
Mezclador de aletas	und	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Motoreductor Vitriñas Giratorias 120vac 24rpm /60 Kg	und	1	\$ 160.000	\$ 160.000
Bomba de dosificación	und	1	\$ 58.000	\$ 58.000
<i>Tubería</i>				
Tubo de PVC de 2"	m	4	\$ 6.700	\$ 26.800
Válvula bola rosca 1 "	und	2	\$ 40.900	\$ 81.800
Válvula bola, rosca. Hembra /Macho	und	2	\$ 29.900	\$ 59.800
Codo presión PVC de 2"	und	5	\$ 1.900	\$ 9.500
Pegante para PVC	und	1	\$ 134.000	\$ 134.000
COSTOS INDIRECTOS				
Movilización	und	1	\$ 600.000	\$ 600.000
Montaje	und	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Marcación	und	1	\$ 100.000	\$ 100.000
COSTOS PERSONAL				
Director del proyecto	mm	1	\$ 4.000.000	\$ 6.200.000
Jefe de ingeniería y diseño	mm	1	\$ 3.000.000	\$ 4.650.000
Mano de obra (2)	mm	2	\$ 254.000	\$ 787.400
Operario de la Planta de tratamiento	mm	1	\$ 1.200.000	\$ 1.860.000
Administración	mm	1	\$ 1.200.000	\$ 1.860.000
COSTOS FINANCIEROS				
Polizas de cumplimiento	und	1	\$ 110.000	\$ 110.000

Cotos directos	\$ 4.952.262
Costos indirectos	\$ 1.700.000
Costos personal	\$ 15.357.400
IVA	19%
	\$ 940.930
Total Costos	\$ 22.950.592

Fuente: Autores, 2020

Los valores de cada uno de los costos directos fueron tomados de Homecenter y Easy.

El valor de la mano de obra se calculó a partir del smnlgy dividido en 4 semana y se tuvo en cuenta que la semana es la jornada de trabajo por se le pago al personal x cantidad de tiempo.

Los costos indirectos fueron tomados de cotizaciones hechas en Fuscol y Galqui, se determinaron de acuerdo a peso dimensiones de las unidades.

12. CONCLUSIONES

El agua residual generada en el proceso productivo de la empresa proviene principalmente de los bloques de lavado de tanques y embazado. En donde se almacena los diferentes insumos que se necesitan en la producción de refrigerantes y demás. En el lavado se utiliza un sistema a presión, con el fin de minimizar la cantidad de agua, lo que implica tener un caudal bajo, provocando altas concentraciones en parámetros como DBO y DQO.

Dentro de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se pudo evidenciar que algunos parámetros no cumplen con la norma (DBO, DQO, SS, GYA e Hidrocarburos), sobrepasan los valores máximos permisibles de la resolución 0631 del 2015. Luego de realizar el balance de cargas se evidencio que con un sistema de coagulación floculación acompañado con un sedimentador es suficiente para bajar los niveles de los parámetros que sobrepasan la norma.

En el primer muestreo para el parámetros de DQO arrojó un valor de 1.960.000 mg/L O₂ el cual es un valor muy por encima de los valore teóricos y que mediante los modelos matemáticos aplicados en Excel no se ajustó a ningún modelo se procedió a despreciar este valor esto pudo ser causado a un mal procedimiento durante el monitoreo de la calidad del agua, por tanto se procedió a despreciar estos valores para el desarrollo de las propuesta del tratamiento del agua.

Se pudo evidenciar dentro de la matriz de selección que la propuesta uno es la más adecuada para el tratamiento de la industria que queremos debido al espacio que se requiere para la construcción de esta, las unidades son más completas y de fácil mantenimiento.

13. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los parámetros del agua residual se recomendó que las unidades sean en lámina de acrílico y que se le haga un revestimiento de fibra de vidrio esto debido a que el caudal es pequeño y estos materiales no se ven afectados por los químicos utilizados en coagulación y floculación, soportan grandes temperaturas y se acomodan a las especificaciones de las dimensiones.

Se recomienda a la empresa investigar insumos y procesos dentro de la línea de producción que se puedan cambiar que ayuden a disminuir la carga contaminante de materia orgánica dentro de la planta.

La empresa puede realizar análisis de laboratorio cada 6 meses con el fin de llevar un control de la carga contaminante, esto con el fin de monitorear el cambio en las concentraciones si las ahí y que la planta de tratamiento cumpla con lo establecido.

Si se llega a realizar un cambio de caudal en la empresa o la producción aumenta de manera significativa, se debe realizar un ajuste en el coagulante y floculante para que la empresa cumpla las expectativas.

Debido al cierre de actividades en el país a causa de la pandemia por el COVID-19 no se terminó de ejecutar el monitoreo de la calidad del agua en la empresa, por tanto, se recomienda realizar y/o complementar con muestreos, específicamente con los parámetros DBO y DQO ya que estos representan los mayores valores obtenidos dentro del análisis del laboratorio entregados por ANALQUIM.

14. BIBLIOGRAFIA

- Adalberto Noyola, J. M. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. En J. M. Adalberto Noyola, *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas* (pág. 14). MEXICO : Universidad Nacional Autónoma de México.
- Albarracín, E. (2009). *Sistema de tratamiento de agua residual autolavado samiwall*. (Trabajo de grado, Universidad distrital Francisco José de Caldas).
- Agua.org.mx. (2007). *Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos*.
- Araque, M. (2012). *Propuesta de diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá*. (Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana).
- Barceló, L. & López, M. (2010) *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Recuperado de: https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf_contaminacion.pdf
- Barros, J. (2012). *Estudio del impacto ambiental generado por un taller de mantenimiento automotriz de vehículos livianos*. (Tesis de pregrado, Universidad del Azuay).
- Bermeo D & Salazar F. (2013). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa textil*. (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador).
- Cardozo, J. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de agua, para lavado automotor, para la empresa Translogam S.A.S*. (Trabajo de grado, Fundación universidad de América)
- CAR. (2006). Acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada10b9602b4.pdf>
- Fetecua J & Barragan N. (2017). *Propuesta para el aprovechamiento del agua residual proveniente del proceso de elaboración de resinas alquídicas en la empresa pinturas super ltda*. (Tesis de grado, Fundación universitaria América).
- Cano, C. (sf de sf de 2015). *Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos agrícolas*. Obtenido de Universidad libre: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7965/EVALUACION%20DE%20UN%20TRATAMIENTO%20DE%20FLOCULACION%20PARA%20EL%20AGUA%20RESIDUAL%20GENERADA%20EN%20EL%20PROCES.pdf?sequence=1>

García, A. (2000). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Aravaca, España: Editorial McGraw-Hill Interamericana de España.

Garzón, J. A. (sf de Junio de 2005). *Planta de potabilización de tamaño prototipo como herramienta didáctica de aprendizaje en el curso de tratamiento físico-químico del agua*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/22458/u263747.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gonzalez, E. C.-A. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. En E. C.-A. Gonzalez, *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales* (págs. 22-25). Mexico : Fundación ICA .

Gómez, N. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia).

Hernández, Bejarano, Mena y Machuca. (2018). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de estaciones de gasolina mediante ozonización catalítica*. (Tesis de pregrado, Universidad del Valle).

Invima. (24 de Junio de 2018). *Invima*. Obtenido de <https://www.invima.gov.co/decretos-en...de.../decreto-1843-1991.../download.html>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428%5Cnfile:///C:/Users

ITOPF. (2005). Contaminación Por Hidrocarburos En El Medio Marino. *Documento De Información Técnica*, 13, 1–12.

Jimenez, S. (2012). *Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial. Doméstica y de servicios*. (Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional).

Lecca, R., & Lizama, R. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*.

Lizarazo y Orjuela. (2013). *Sistemas de plantas de tratamientos de aguas residuales en Colombia*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia).

Marin C.A. (2015), Evaluación de un tratamiento Floculación- Flotación Obtenido de : <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/7965/EVALUACION%20DE%20UN%20TRATAMIENTO%20DE%20FLOCULACION%20DE>

FLOTACION PARA EL AGUA RESIDUAL GENERADA EN EL PROCES.pdf?sequence=1

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631*. Bogotá: Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible.

Moeller, D. & Tomasini, A. (2004). Microbiología de lodos activados. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>

Noyola, A. Morgan, J. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*. México: Universidad nacional autónoma de México.

Sanz, E. (2007). *Estudio de viabilidad de la reutilización de las aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana*. (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia)

Osorio, P. C., & Peña, D. (s.f.). *Determinación de la relación DQO/DBO 5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. 0–18.

Orozco J, Á (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño*. ACODAL

Pramparo, L. (23 de 08 de 2016). *Triton Cyted - Tratamiento y reciclaje de aguas industriales*. Obtenido de Introducción a la problemática de las aguas residuales industriales y su tratamiento: <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2016/03/1-Introducci%C3%B3n.pdf>

Pabón, S. L., & Gélvez, J. H. S. (2009). *Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero*. *Revista Ingeniería e Investigación*, 29(2), 53–58.

Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación*. Manizales

Pulido, S., Miranda, V., Guzman, M., & Molano, E. (12 de 2014). *ptar uniminuto*. Obtenido de ptar uniminuto: <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/system/app/pages/recentChanges>

Ramahlo, R. S. (1994). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec: Editoria Reverté S.A.

Rojas y Urbina. (2008). *Propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental en la empresa QOOL-Engine S.A. basado en la norma ISO 14001*. (Tesis de grado, Fundación Universidad de América).

Romero R, J. A. (2000). *Purificación del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero R, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Valdez, E. Vázquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. Ciudad de México: Fundación ICA.

Vargas, A. & Martínez, Y. (2013). Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en la universidad libre sede bosque popular por medio del sistema de reactor anaerobio de flujo ascendente uasb a escala piloto. (Tesis de grado, Universidad Libre)

15. ANEXOS

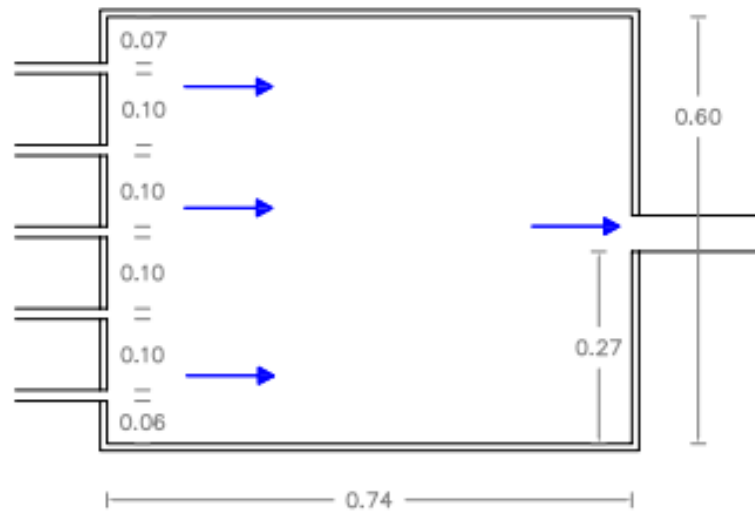
15.1. Anexo 1: Caja de inspección

15.2. Anexo 2: Tanque de coagulación

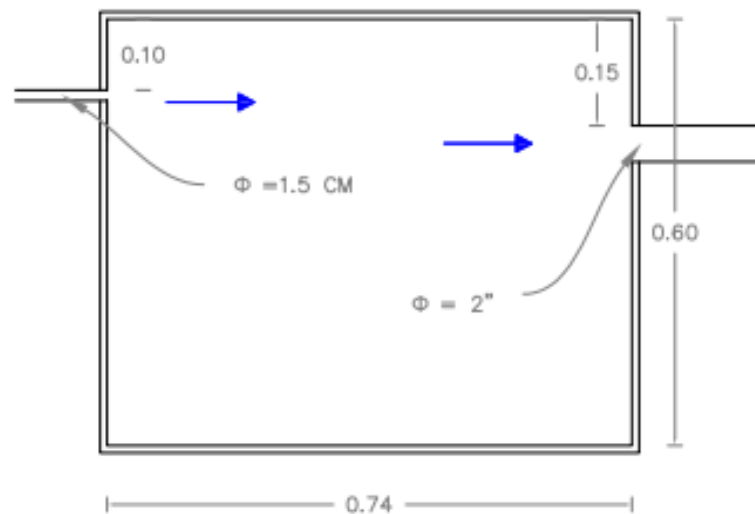
15.3. Anexo 3: Tanque de floculación

15.4. Anexo 4: Sedimentador

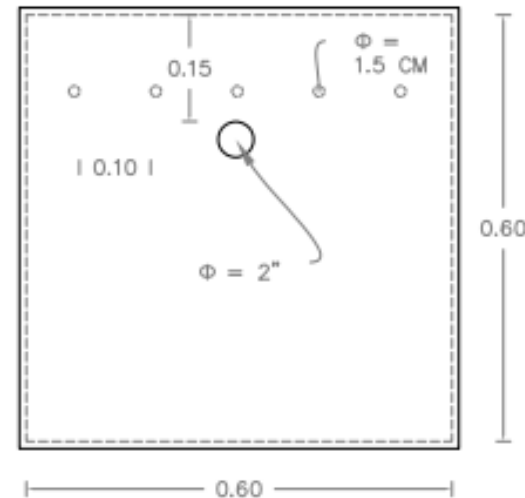
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL CORTE



VISTA LATERAL



UNIVERSIDAD DE
LA SALLE

PROGRAMA DE
INGENIERÍA AMBIENTAL
Y SANITARIA

Proyecto de tesis:

"Propuesta para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices."

Diseñadores:

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado
Paula Andrea Falla Ramírez

Contiene:

Caja de Inspección

Fecha:

Septiembre de 2020

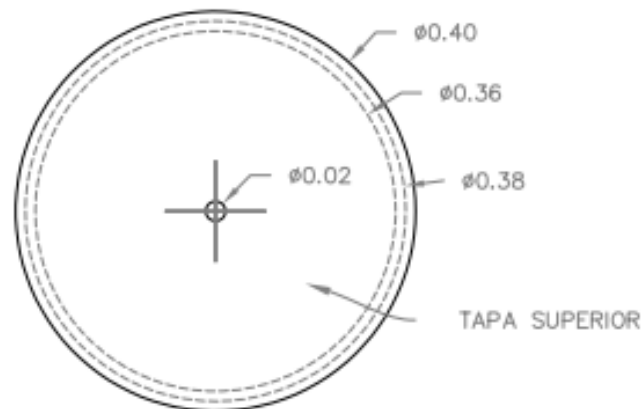
Escala:

1:10

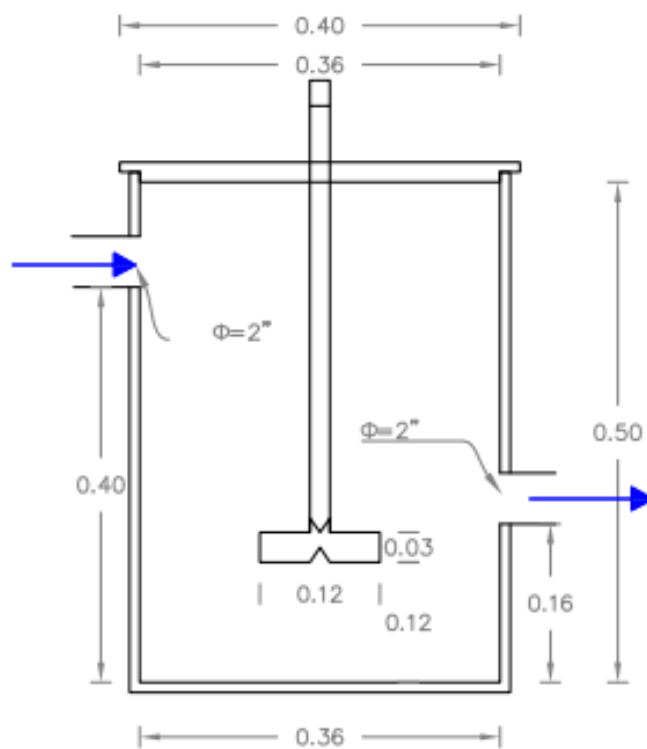
N° Plano:

1/4

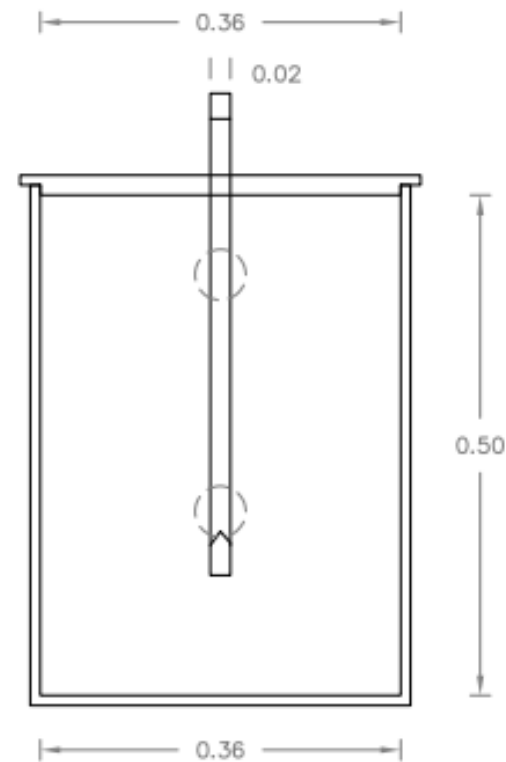
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL CORTE



VISTA LATERAL CORTE



Proyecto de tesis:

"Propuesta para el tratamiento de la agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices."

Diseñadores:

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado
Paula Andrea Falla Ramírez

Contiene:

TANQUE DE COAGULACIÓN

Fecha:

Septiembre de 2020

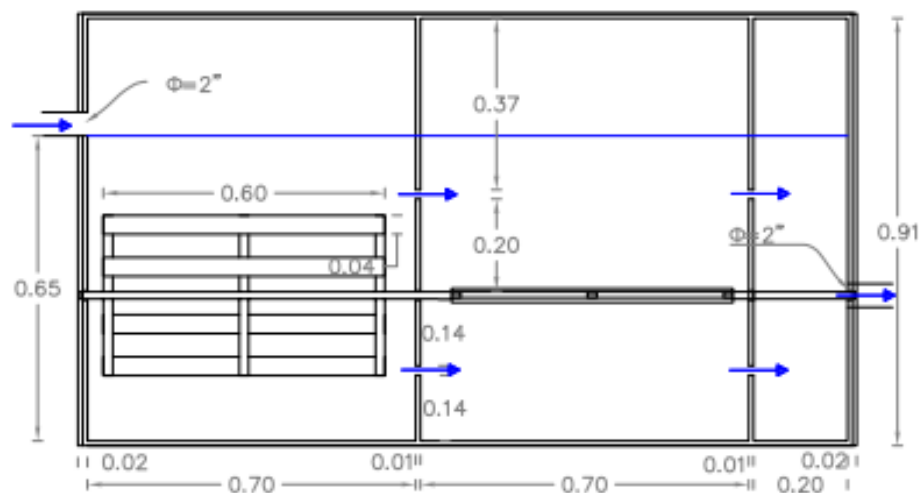
Escala:

1:7

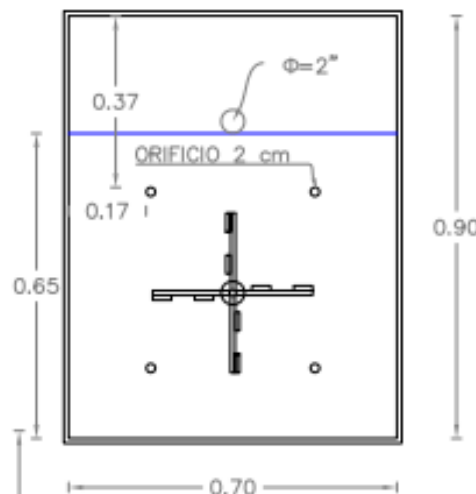
N° Plano:

2/4

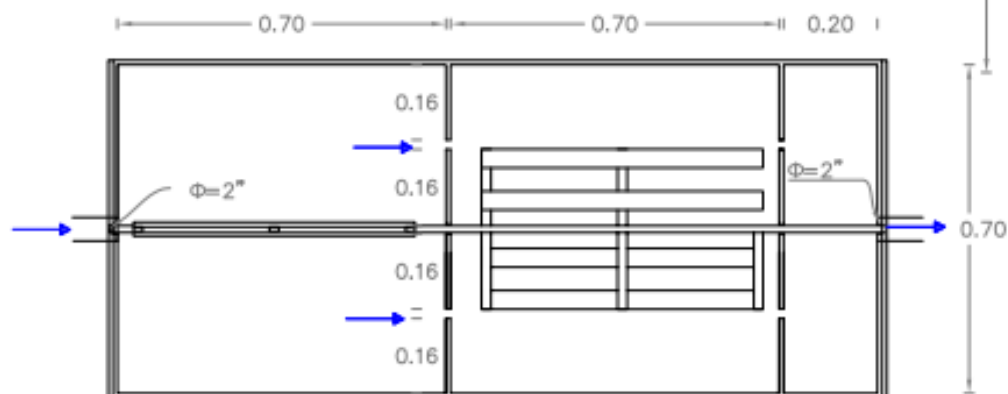
VISTA FRONTAL CORTE



VISTA LATERAL CORTE



VISTA SUPERIOR



Proyecto de tesis:

Propuesta para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices.

Diseñadores:

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado
Paula Andrea Falla Ramírez

Contiene:

TANQUE DE FLOCULACIÓN

Fecha:

Septiembre de 2020

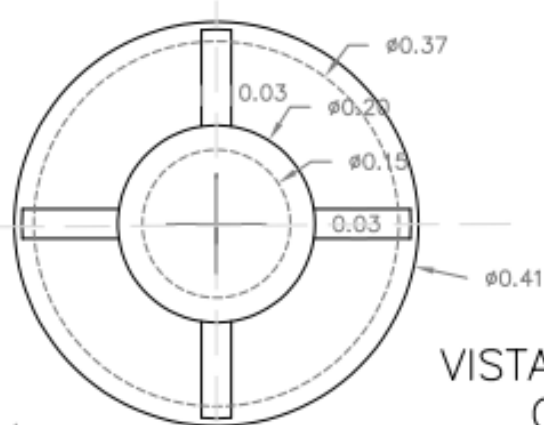
Escala:

1:15

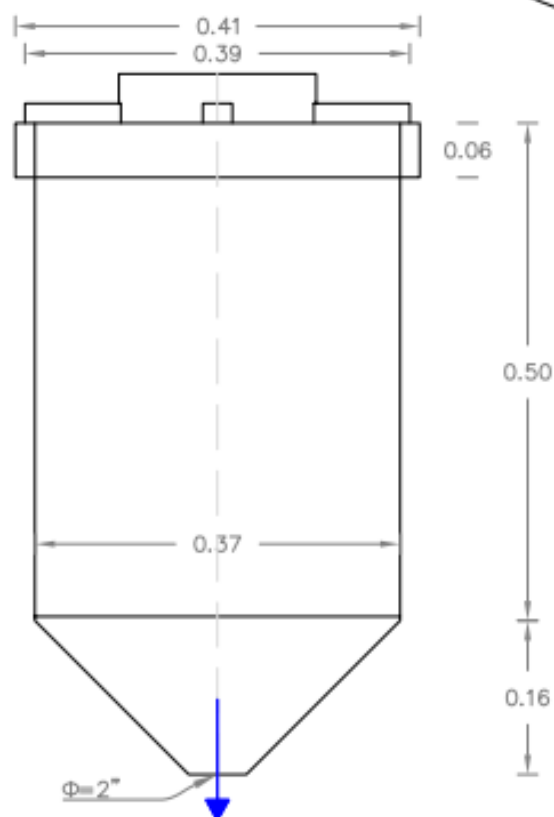
N° Plano:

3/4

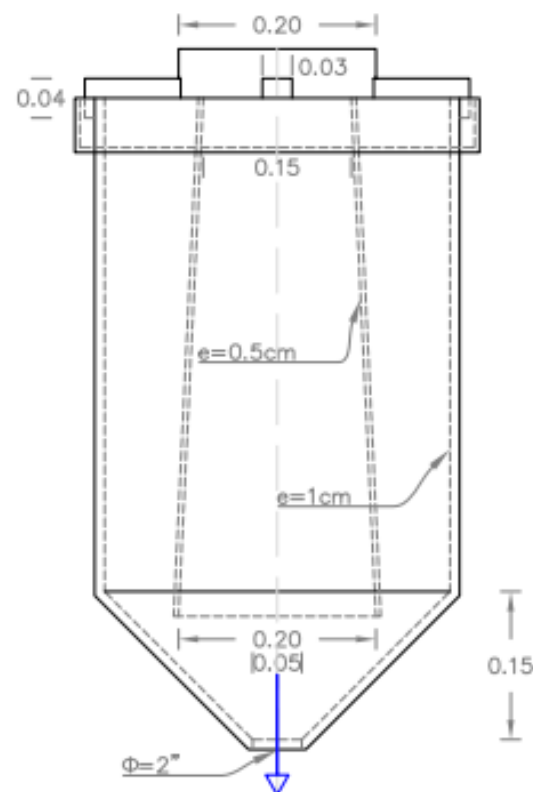
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL CORTE



UNIVERSIDAD DE
LA SALLE

PROGRAMA DE
INGENIERÍA AMBIENTAL
Y SANITARIA

Proyecto de tesis:

"Propuesta para el tratamiento del agua residual generada en el proceso productivo de una empresa del sector de productos automotrices."

Diseñadores:

Roberth Danilo Goyeneche Alvarado
Paula Andrea Falla Ramírez

Contiene:

SEDIMENTADOR

Fecha:

Septiembre de 2020

Escala:

1:7

N° Plano:

4/4