

PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL EN UNA EMPRESA DE TEÑIDO DE PANTALONES

MARÍA JOSÉ VALDIVIESO HERNÁNDEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2019

PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL EN UNA EMPRESA DE TEÑIDO DE PANTALONES

MARÍA JOSÉ VALDIVIESO HERNÁNDEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2019

Nota de aceptación:

Jurado 1
Ing. Claudio Moreno

Jurado 2
Ing. David Triviño

Bogotá D.C. Mayo de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Ingeniería química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad América los jurados calificadores y el cuerpo de docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Dios por darme la sabiduría para lograr el proyecto y de esta manera alcanzar el título de ingeniera química

Mis papás por el apoyo, comprensión y correcciones amorosas a lo largo de mi camino para convertirme en una profesional.

A la Ingeniera Diana Cuesta por su ayuda constante, brindarme su tiempo para la solución de dudas y correcciones a lo largo del proyecto.

Al ingeniero Fernando Moreno por su ayuda en las sesiones de *proyecto de grado", en las cuales tuvo un acompañamiento constante y preciso para la realización del proyecto.

Al Químico Carlos Oviedo por su acompañamiento, ayuda y orientación durante la realización experimental del proyecto

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han dado su apoyo incondicional para el cumplimiento de este sueño.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	22
OBJETIVOS	23
1.GENERALIDADES	24
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	24
1.2 DATOS HISTÓRICOS	25
1.3 GENERACIÓN DE RESIDUOS	26
1.4 NORMATIVIDAD	26
2. DIAGNÓSTICO	27
2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN	27
2.2 BALANCE HÍDRICO	31
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	33
2.4 DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA	34
2.5 LÍMITES DE VOLUMEN	36
2.6 RECOPIACIÓN	37
3. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS Y REACTIVOS	38
3.1 ELIMINACION DE COLOR	38
3.2 DISMINUCIÓN DE DQO	51
3.3 ELIMINACION DE SST	53
3.4 NEUTRALIZACIÓN DE PH	56
3.5 DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS EN EL LABORATORIO	57
3.5.1 Test de jarras 1.	58
3.5.2 Test de jarras 2.	59
3.5.3 Test de jarras 3.	60
3.5.4 Test de jarras 4.	61
3.6 RECOPIACIÓN	63
4 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	65
4.1 BOMBAS	65
4.1.1 Bomba centrífuga tipo ANSI.	66
4.1.2 Bomba centrífuga tipo caracol.	69
4.2 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	70
4.2.1 Tanque recolector.	71
4.2.2 Tanque sedimentador con agitación.	73
4.2.3 Filtrador.	79
4.3 DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS	80
4.4 DISEÑO FINAL	82
5 COSTOS DEL PROYECTO	84
5.1 CÁLCULO DE LA POSIBLE MULTA	84
5.1.1 Cálculo del beneficio ilícito.	85
5.1.2 Grado de afectación ambiental	85

5.1.3 Factor de temporalidad.	85
5.1.4 Agravantes.	86
5.1.5 Costos asociados.	86
5.1.6. Capacidad socioeconómica.	86
5.2 COSTOS DE INVERSIÓN	87
5.3 PERSONAL	87
5.4 VALOR REACTIVOS	89
5.5 FLUJO DE CAJA	89
6. CONCLUSIONES	92
7. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFIA	94
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Balance hídrico del proceso productivo	32
Tabla 2: Caracterización del agua residual de la empresa.	34
Tabla 3. Medición de temperatura.	35
Tabla 4. Límites de volumen de agua.	37
Tabla 5. Diagnóstico de la empresa	37
Tabla 6. Rango de pH de coagulantes.	47
Tabla 7. Tipos de filtraciones	54
Tabla 8. Peligrosidad de ácidos fuertes	57
Tabla 9. Turbidez - dosificación de coagulante con floculante aniónico.	59
Tabla 10. Turbidez - dosificación de coagulante con floculante catiónico	60
Tabla 11. Turbidez - dosificación de floculante aniónico y catiónico con el coagulante seleccionado.	60
Tabla 12. Reactivos y dosis seleccionadas	62
Tabla 13. Resultados del tratamiento Analquim S.A.	64
Tabla 14. Características de la bomba sumergible.	69
Tabla 15. Características bomba centrifuga.	70
Tabla 16. Factor de capacidad socioeconómica	86
Tabla 17. Costos equipos	87
Tabla 18. Salario empleado	88
Tabla 19. Mantenimiento de equipos	89
Tabla 20. Costos de reactivos por proceso	89
Tabla 21. Flujo de caja	90

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Ubicación de la empresa	24
Ilustración 2. Tamiz recolector de residuos solidos	27
Ilustración 3. Tipos de desgastes en los pantalones.	28
Ilustración 4. Lavadora industrial	29
Ilustración 5. Secadora industrial.	30
Ilustración 6. Toma de temperatura.	35
Ilustración 7. Floculador test de jarras.	58
Ilustración 8. Turbidímetro	58
Ilustración 9. Comparación visual del tratamiento final utilizando el hidróxido de hidrogeno y el tratamiento final utilizando el hipoclorito de sodio	61
Ilustración 10. Diseño de tanque sedimentador con agitación.	79
Ilustración 11. Filtro de arena	80

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación general de la energía.	66
Ecuación 2. pérdidas totales	66
Ecuación 3. Número de Reynols	67
Ecuación 4. Flujo turbulento para el coeficiente de fricción	67
Ecuación 5. perdidas primarias	67
Ecuación 6. perdidas secundarias	68
Ecuación 7. Coeficiente de perdidas	68
Ecuación 8. perdidas de la bomba 2	69
Ecuación 9. Volumen tanque receptor	72
Ecuación 10: Porcentaje margen de error	72
Ecuación 11. Diámetro tanque recolector	73
Ecuación 12. Velocidad de sedimentación	74
Ecuación 13. Área superficial de espesamiento	75
Ecuación 14. Flujo de la clarificación.	75
Ecuación 15. Área superficial de sedimentación	76
Ecuación 16. Volumen segmento cónico del tanque sedimentador con agitación	76
Ecuación 17. Radio sección cónica. del tanque sedimentador con agitación	76
Ecuación 18. Altura sección cónica del tanque sedimentador con agitación	77
Ecuación 19. Volumen sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación	78
Ecuación 20. Altura sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación	78
Ecuación 21. Altura final del tanque sedimentador con agitación	78
Ecuación 22. Multa resolución 2086 del 2016	84
Ecuación 23. Beneficio ilícito según la resolución 2086 de 2010.	85
Ecuación 24. Grado de afectación ambiental	85
Ecuación 25. Valor máximo de la multa	86

LISTA DE CÁLCULOS

	pág.
Cálculo 1. Número de Reynolds	67
Cálculo 2. Coeficiente de fricción.	67
Cálculo 3. Perdidas primarias	67
Cálculo 4. Coeficiente de perdidas	68
Cálculo 5. Perdidas secundarias	68
Cálculo 6. Perdidas totales	68
Cálculo 7. Perdidas primarias	69
Cálculo 8. Coeficiente de perdidas	70
Cálculo 9. perdidas secundarias	70
Cálculo 10. pérdidas totales	70
Cálculo 11. Volumen tanque receptor	72
Cálculo 12: Porcentaje margen de error	72
Cálculo 13. Diámetro tanque recolector	73
Cálculo 14. Velocidad de sedimentación	74
Cálculo 15. Área superficial de espesamiento	75
Cálculo 16. Flujo de la clarificación.	75
Cálculo 17. Área superficial de sedimentación	76
Cálculo 18. Radio sección cónica. del tanque sedimentador con agitación	77
Cálculo 19. Volumen segmento cónico del tanque sedimentador con agitación	77
Cálculo 20. Altura sección cónica del tanque sedimentador con agitación	77
Cálculo 21: Volumen sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación	78
Cálculo 22. Altura sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación	78
Cálculo 23. Altura final del tanque sedimentador con agitación	78
Cálculo 24. Dosificación de coagulante en el tanque sedimentador con agitación	81
Cálculo 25. Dosificación de floculante en el tanque sedimentador con agitación	81
Cálculo 26. Dosificación de coagulante en el tanque sedimentador con agitación	81
Cálculo 27. Factor temporalidad	85
Cálculo 28. Valor máximo de la multa	87
Cálculo 29. Salario anual de un empleado.	88

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Proceso productivo de la empresa	31
Diagrama 2. Balance hídrico del proceso productivo	32
Diagrama 3. Proceso de Teste de jarras	43
Diagrama 4. Desarrollo de alternativas seleccionadas en el laboratorio	63
Diagrama 6 Diseño final	82

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Temperatura del proceso	36
Gráfica 2. Velocidad de sedimentación.	74

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los métodos para la eliminación del color	39
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los coagulantes	44
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los floculantes	48
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de métodos para la neutralización de DQO	51
Cuadro 5. Propiedades de filtradores	55

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Metodología test de jarras	103
Anexo B. Bomba sumergible	106
Anexo C. Bomba centrifuga tipo caracol	107
Anexo D. Tanque receptor	108
Anexo E. Filtrador	109
Anexo F. Diagrama tanque sedimentador con agitación	110

GLOSARIO

ACIDEZ TOTAL: la acidez total es la capacidad que tiene el agua para llegar a un pH designado, que puede llegar a ser hasta 8,3 por medio de la reacción con una base fuerte. Este parámetro se debe a la presencia que existen de diferentes compuestos como lo son los minerales, ácidos fuertes. este parámetro se determina promedio del cambio de color que tiene la sustancia al ser titulada, y la cuantificación del CaCO₃ utilizada. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L CaCO₃.¹

ALCALINIDAD TOTAL: la alcalinidad total es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos, por medio de un ácido fuerte. La alcalinidad total se puede expresar por medio del contenido de hidróxido o por medio de los carbonatos que se encuentren en la muestra, este parámetro se determina promedio del cambio de color que tiene la sustancia al ser titulada, y la cuantificación del CaCO₃ utilizada. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L CaCO₃.²

CLORUROS: son partículas inorgánicas que se presentan en el agua que generalmente poseen una característica salada. Esta característica se usa para determinar un nivel de oxidación en el agua después de llevar a cabo una actividad industrial o un uso específico del agua, estas partículas son en su mayoría procedentes por la orina del hombre y de los animales. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.³

COLOR REAL: el color se da debido a la disolución de diferentes componentes que pasan por el agua, es uno de los factores que más puede llegar a afectar la vida acuática, debido a su interferencia con la luz y la baja biodegradabilidad que tiene. color abarca el color aparente y el color verdadero en donde el color aparente es el color que se registra sin la eliminación de la turbidez y el color verdadero es el color que se registra una vez realizada la eliminación de la turbidez. Este proceso de medición se realiza por medio de un espectrofotómetro.⁴

DBO: La demanda biológica de oxígeno (DBO) Es un parámetro utilizado para conocer la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos (procesos

¹ SEVERICHE SIERRA, Carlos Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique y ACEVEDO BARRIOS, Rosa Leonor. Acidez total. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 33 – 35. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

² INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. PSO determinación de alcalinidad por potenciometría. TP0211. 2005.8 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa+..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>

³ GARCÍA VARGAS, Alfonso, *et al.* Cloruros Totales en el agua de abastecimiento. 2010 Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf>

⁴ Severiche Sierra, Carlos Alberto; Castillo Bertel, Marlon Enrique y Acevedo Barrios, Rosa Leonor. Color real. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 14 – 17. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

metabólicos) orgánicos biodegradables afectado por el aire, es necesario suministrar prueba bajo condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, los resultados de este parámetro están dados en mg/LO₂. Este parámetro está relacionado de forma empírica con el DQO.⁵

DQO: La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro utilizado para conocer la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica que se encuentra en un medio acuático, a determinadas condiciones como lo son el agente oxidante y la temperatura. La materia orgánica existente en el agua se debe dar en unidades de Mg/LO₂.⁶

FENOLES TOTALES: son un compuesto orgánico que son altamente dañinos para los seres vivos, sin embargo, también se encuentra en gran cantidad en las aguas residuales, debido a su uso para la desinfección. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.⁷

FLUORUROS: forma del elemento flúor que se pueden encontrar en el agua, los fluoruros en su mayoría son compuestos incoloros. Los fluoruros se generan a partir de la base correspondiente y el ácido fluorhídrico. Los fluoruros en grandes cantidades pueden llegar a ser nocivos para el ser humano ya que su consumo repercute en las enzimas de la digestión. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.⁸

GRASAS Y ACEITES: las grasas y aceites son compuestos orgánicos que se encuentran conformados por ácidos grasos, los cuales pueden provenir ya sea de origen vegetal o de origen animal, estas sustancias son inmiscibles con el agua, afectando el medio acuático impidiendo el paso oxígeno y luz, que se puede ver reflejada por medio de la aparición de espumas. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.⁹

HIDROCARBUROS TOTALES: los hidrocarburos pueden ser hidrocarburos alifáticos o hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos alifáticos son aquellas

⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. TP0087. 2007.13 p. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. TP0086. 2007.11 p. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

⁷ REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES. Fenoles. [Sitio web]. España: Ministerio para la transición ecológica [Consulta el: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Fenoles,15658,11,2007.html>

⁸ AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES REGISTRY. [Sitio web]. Fluoruros, fluoruro de hidrogeno y flururos. [Consulta: 15 de febrero 2019] Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts11.html

⁹ TOAPANTA VERA, María Isabel. Calidad del agua: Grasas y aceites. 2010. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>

cadena carbonadas que no tienen estructuras cíclicas, mientras que los hidrocarburos aromáticos si contienen estructuras cíclicas en la cadena carbonada, para la realización de esta medida, se debe llevar primero a cabo la cantidad de aceites y grasas que hay en el agua, para de esta manera realizar posteriormente la separación y el análisis de los hidrocarburos. Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.¹⁰

PH: el pH es un parámetro que se utiliza para expresar la intensidad de la acidez o alcalinidad en una sustancia, para la medición de esta variable existen 2 métodos muy conocidos, el primero consiste en uso de un papel que cambia de color dependiendo la concentración de hidrógeno presente o el otro método para la medición del pH consiste en el uso de un instrumento conocido como pH metro, dando un valor exacto entre 0 a 14, donde valores entre 0 y 6 indica una sustancia ácida, un valor entre 6 y 8 indica una sustancia neutral y finalmente valores entre 8 y 14 indican una sustancia básica.¹¹

SSED: Los sólidos sedimentables son un parámetro que, determinada la materia en forma solida que se encuentran en el agua, por lo general con un tamaño superior a 0,01 mm, de manera tal que estos solidos se sedimentan en determinado tiempo, este parámetro al tomarse de esta manera, debe tener resultados en términos de volumen, por lo que sus unidades son mL/L.¹²

SST: Los sólidos suspendidos son un parámetro que determinan la materia en forma sólida que se encuentran en el agua, por lo general con un tamaño inferior 0,01mm, de manera tal que no son sedimentables, tales como las bacterias, partículas causantes de color, entre otras. Para la medición de este parámetro se utiliza un método para la retención de los sólidos en un filtro de fibra, pasando el agua de manera homogénea, Los resultados de este parámetro están dados en Mg/L.¹³

¹⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Hidrocarburos (HC) en aguas por extracción Soxhlet o líquido – líquido y gravimetría. TP0155. 2007.8 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Hidrocarburos+en+agua+por+extracci%C3%B3n.pdf/14b3ae83-4c72-446c-ab33-a91978c04f5a>

¹¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. pH en agua por electrometría. TP0080. 2007.7 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>

¹² SEVERICHE SIERRA, Carlos Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique y ACEVEDO BARRIOS, Rosa Leonor. Sólidos sedimentables. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 52 – 53. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

¹³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C.. TP0088. 2007.7 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño conceptual de un sistema de tratamiento de agua residual de una empresa que se dedica al teñido y acabado de pantalones, esto con el fin de dar cumplimiento a la Resolución 0631 de 2015.

En la realización de este sistema se ejecutó un diagnóstico del agua y de la empresa, con el fin de conocer los parámetros que no cumplen con la norma previamente mencionada (DQO, pH, SST y color). Con estos datos se procedió a la elección de los métodos, teniendo en cuenta las posibles opciones para la disminución de cada uno de los parámetros; donde finalmente se seleccionaron coagulación, floculación, adición de agente oxidante, adición de ácido fuerte y filtración, debido a las ventajas presentadas para el proceso.

Ya con los métodos seleccionados y sus posibles reactivos se procedió a realizar la experimentación en el laboratorio de la Fundación Universidad de América con sus respectivas técnicas, para la elección del mejor coagulante, floculante, agente oxidante y ácido, según la turbidez que fue tomada como el parámetro de control.

Con los reactivos elegidos se realizó el procedimiento completo, tal como se haría en el sistema de tratamiento de agua residual en la empresa para la verificación del cumplimiento de los parámetros tratados, por medio de un análisis en el laboratorio ANALQUIM S.A.

Conociendo los métodos, los reactivos y las características del agua se eligieron los equipos y sus especificaciones para obtener el diseño conceptual final y de esta manera, realizar la cotización de equipos y reactivos, verificando la viabilidad del proyecto.

PALABRAS CLAVES: DQO, pH, SST, color, coagulación, filtración, floculación oxidación y ácido fuerte.

INTRODUCCIÓN

En un estudio realizado por la ONU en el 2018¹⁴ se establece que la industria textil es el segundo mayor generador de contaminación, después del sector petrolero, esto se debe a que esta industria es la responsable del 10% de las emisiones de carbono totales, contribuyendo con el efecto invernadero, y el 20% de las aguas residuales, afectando los cuerpos marítimos y su flora y fauna.

Este proyecto se realizó en una empresa que se encarga del teñido y acabados de pantalones desde año 1999, ubicada en la localidad de Puente Aranda en Bogotá. En la realización de sus procesos productivo existe un consumo de 200 m³ en promedio mensuales, cuyo tratamiento en el agua residual se realiza por medio de un tamiz recolector de residuos que es utilizado para la remoción de sólidos

Durante el proceso tanto de teñido, como de acabados se realizan diferentes procedimientos, en los que se hace uso de reactivos tales como peróxido de hidrógeno, soda caustica, colorantes, fijadores, detergentes, permanganato de potación, hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio, que al entrar en contacto con el agua alteran sus características, haciendo que el agua residual no cumpla con los límites establecidos por la Resolución 0631 de 2015.

Al incumplir la norma anteriormente mencionada la empresa se ve expuesta a ser sancionada mediante la Ley 1333 de 2009 que puede tener medidas que van desde el decomiso preventivo de productos, suspensión de obra, hasta de 5.000 salarios mínimos que a 2018 equivale a Tres mil novecientos seis millones doscientos diez mil pesos (\$ 3.906.210.000).¹⁵

Debido a lo mencionado anteriormente se propuso un sistema de tratamiento de aguas residuales, con el fin de dar cumplimiento a la normatividad establecida, esta propuesta se realiza de manera conceptual, debido al tiempo y los recursos con los que se cuenta, sin embargo, se realizan una serie de análisis en los que se observa la efectividad que tienen los métodos y reactivos seleccionados.

¹⁴ Severiche Sierra, Carlos Alberto; Castillo Bertel, Marlon Enrique y Acevedo Barrios, Rosa Leonor. Color real. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 14 – 17. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

¹⁵Ministerio de ambiente. Ley 1333. 2009. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/ley_1333_210709.pdf

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de un diseño conceptual para un sistema de tratamiento del agua residual generada en una empresa de teñido de pantalones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado del agua residual proveniente de los procesos químicos realizados en la empresa de teñido de pantalones.
- Establecer los tratamientos y condiciones adecuados para el tratamiento de los contaminantes.
- Determinar las especificaciones del sistema de tratamiento de agua.
- Realizar un análisis de costos del proyecto.

1. GENERALIDADES

Con el objetivo de plantear y construir una propuesta de mejoramiento al proceso de tratamiento de aguas residuales en la empresa encargada del teñido de los pantalones, en este capítulo se señalan las principales características y descripción varios aspectos de la empresa, procedimientos llevados a cabo, entre otros.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Esta es una empresa cuya actividad comercial es tintura de telas para pantalones, que se encuentra ubicada en la localidad de puente Aranda de Bogotá (calle 10 # 40 – 07) desde el año 1999.

Ilustración 1. Ubicación de la empresa



Fuente: GOOGLE EARTH, 2019 Bogotá (calle 10 # 40 – 07), el línea. [Consulta: 8 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@4.6175804,-74.1033933,2560.31665067a,1052.70379832d,35y,0h,45t,0r/data=ClEaTxJHCiUweDhIM2Y5OTVjZDdiZTkxN2I6MHhjZDlmZGU5YTdhNjY5MjFmGTaaEv9meBJAIQiI7v6dhllAKgxDbC4gMTAgIzQwLTcYAiABKAloAg>

Esta empresa posee una infraestructura apta para el teñido de telas con distintos colorantes. Al tener una producción significativa el acumulado diario de aguas residuales están generando un impacto ambiental cada vez mayor.

1.2 DATOS HISTÓRICOS

Se tiene un estimado que cerca de 280.000 toneladas de colorantes textiles son vertidas de forma directa alrededor del mundo, generando de manera indirecta riesgos para la salud humana,¹⁶ Esta agua residual generada en los procesos textiles debe tener un tratamiento previo para eliminar o disminuir la cantidad de sales, colorantes y otras sustancias químicas generadas las técnicas que se utilizan en estos métodos.¹⁷

Inicialmente se vio la posibilidad del tratamiento de aguas residuales obteniendo una baja eficiencia y estudiar únicamente el evento de ser utilizada en la jardinería, agricultura y lavado de inodoros¹⁸, sin embargo, con el tiempo el mejoramiento del agua se volvió indispensable, razón por la cual se inicia la construcción en 1933 de la primera planta de tratamiento de agua en Colombia, planta de tratamiento de Vielma. Esta planta se encuentra en el barrio San Cristóbal, en la ciudad de Bogotá, tuvo funcionamiento durante 65 años y cerró debido al crecimiento que tuvo la ciudad, incumpliendo con la demanda necesaria¹⁹.

En una empresa dedicada a el proceso particular de teñir telas se pueden gastar cerca de 150 a 200 L de agua por cada Kg de producto a teñir²⁰, esta cantidad de agua es utilizada en los diferentes procesos como son específicamente el

¹⁶ XIAN CHUN, Jin; GAO QIANG, Liu y ZHENG-HONG, Xu. Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.507.9552&rep=rep1&type=pdf>

¹⁷ BUSCIO, V; MARÍN, M J y CRESPI, M. Reuse of textile wastewater after homogenization–decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes. [En línea]. 2015. Chemical Engineering Journal. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714016714>

¹⁸ LARA BORRERO, Jaime Andrés. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis de magister en ingeniería y gestión ambiental. Barcelona. Universidad politécnica de Cataluña. 1999. 122p. Disponible en: <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>

¹⁹ LÓPEZ MARTÍNEZ, Claudia Natalia y POLO CAMPOS, Gerlin Andrea. Análisis del sistema actual de abastecimiento de Bogotá. agua subterránea como fuente alterna o de contingencia. Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá. Universidad de la Salle. 2009. 138p. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15469/T40.09%20L881a.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

²⁰ ARBELÁEZ CASTAÑO, Paula Eliana; MEDINA ARROYAVE, José David y GÓMEZ ATEHORTUA, Carlos Mario. Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos frentón intensificados con ultrasonido de baja frecuencia [En línea]. Gilpavas. Medellín. Revista internacional de contaminación ambiental. Junio 2017. [Consulta: 2 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n1/0188-4999-rica-34-01-157.pdf>

desencrude, el teñido, la fijación, el neutralizado, desengomado y el desgaste²¹, generando así un gasto de este insumo que puede llegar a ser de 3,6 m³ en un proceso, además del gasto financiero debido a las normatividad colombiana, haciendo a un tercero el encargado de estas aguas residuales.

1.3 GENERACIÓN DE RESIDUOS

Los residuos líquidos en la industria de la producción y tintura de prendas de vestir se generan a través de varios procesos de la cadena de producción; estos procesos comienzan desde la primera capa de tintura que deja cierta acumulación en las máquinas, equipos e instrumentos dejando así un impacto ambiental muy grande lo cual si no se tiene una forma de disminuirlo puede causar penalizaciones y en muchos casos sobre costos de producción.

1.4 NORMATIVIDAD

El día 17 de marzo de 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió la Resolución 0631 por medio de la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Según dicha normativa para “Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.” se usan los siguientes parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas.

²¹Ibid., p 25

2. DIAGNÓSTICO

Actualmente la tintorería cuenta con un tratamiento para la eliminación de sólidos con un tamaño superior a 4 mm, por medio de un tamiz recolector de residuos sólidos, como se muestra en la ilustración 2 sin embargo, para los otros parámetros no existe un tratamiento previo al vertimiento. En la empresa los procesos que se realizan contienen reactivos, como colorantes, fijadores, soda caustica y demás, que afectan la calidad del agua.

Para la realización del diagnóstico se tuvieron en cuenta diferentes parámetros como la calidad del agua, los reactivos utilizados, las condiciones de uso, el consumo máximo y mínimo de agua en el proceso de producción, La frecuencia del proceso productivo al mes y el tiempo que toma la realización del mismo.

Ilustración 2. Tamiz recolector de residuos solidos



Fuente: elaboración propia

2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Las tintorerías que trabajan prendas de vestir como los pantalones poseen procesos productivos que se realizan para la elaboración adecuada de los mismo, Previo a iniciar con el proceso, la tintorería recibe del cliente los jeans confeccionados de una forma básica, es decir ellos son dotados de la materia prima para trabajar, una vez se tengan las prendas se procede a empezar con el proceso que consta de:

- Desengomado: este procedimiento se realiza a altas temperaturas con la ayuda de detergentes (desengomados), para la eliminación de la goma y de esta

manera lograr una mejor humectación, con el fin de obtener un mejor acabado.
22

- **Desgaste:** este es un proceso muy utilizado actualmente al que se someten los pantalones para lograr un efecto de desgaste, por lo general en los pantalones básicos (azules, sin procesos adicionales), por medio de permanganato de potasio o en algunas ocasiones hipoclorito de sodio y de esta manera lograr un efecto como el que se ve en la ilustración 3.²³

Ilustración 3. Tipos de desgastes en los pantalones.



Fuente: LA ALAMEDA. Jeans que matan: Las marcas de moda siguen utilizando el Sandblasting. [imagen digital]. 2011. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en:
<https://laalameda.wordpress.com/?s=jeans+que+matan>

- **Desencruce:** este procedimiento se realiza en la fábrica con el fin de eliminar las impurezas que tiene el algodón o la tela, como ceras, alcoholes y pectinas, así como impurezas provenientes de su procesamiento tales como el material del aceite y suciedad, para la eliminación de los compuestos soda caustica y peróxido de hidrogeno. Este proceso además ayuda a que las fibras del algodón

²² GUAPO SUAREZ, Juan Camilo. Diagnostico Ambiental tintorería y lavandería GAMATEX S.A.S. Administración ambiental. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá. 2016. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5025/15/GuapoSu%C3%A1rezJuanCamiloAnexo-3.pdf>

²³ Ibid., p 28

se vean más blancas, lo que a su vez ayuda a que sean más absorbentes en las etapas en los procesos que le siguen.²⁴

- Teñido: el teñido es el procedimiento en el cual las moléculas del colorante son fijadas a las fibras textiles de la tela que se utiliza, generando vertimientos con temperaturas de 40 a 45 °C, debido a que la tela es un algodón, por tal razón se hace un teñido directo, en donde se realiza un lavado con altas temperaturas.²⁵
- Fijación: en esta etapa se realiza la aplicación de auxiliares de teñido, que se encargan de fijar la tinta en el algodón y así lograr una mayor resistencia en los lavados posteriores y el deterioro que sufre por el sol. Este procedimiento se realiza en lavadoras industriales, como se observa la ilustración 4.²⁶

Ilustración 4. Lavadora industrial



Fuente: elaboración propia

- Neutralizado: este proceso se realiza después de la etapa de desgaste o de teñido y se usa para la eliminación de residuos químicos en los pantalones, si se realiza después del desgaste se ejecuta con ayuda de $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5)$, que es el encargado de remover el permanganato de potasio o el hipoclorito de sodio, si el proceso se realiza después del teñido se ejecuta con ayuda de detergentes y no tiene un tiempo determinado, pues este depende del color final que se requiera.²⁷

²⁴ Ibid., p 28

²⁵ Ibid., p 28

²⁶ Ibid., p 28

²⁷ Ibid., p 28

- Secado: este proceso se realiza por medio de la centrifugación de las prendas al igual que se haría con una lavadora doméstica, para posteriormente pasar a una maquina secadora, tal como se muestra en la ilustración 5.²⁸

Ilustración 5. Secadora industrial.



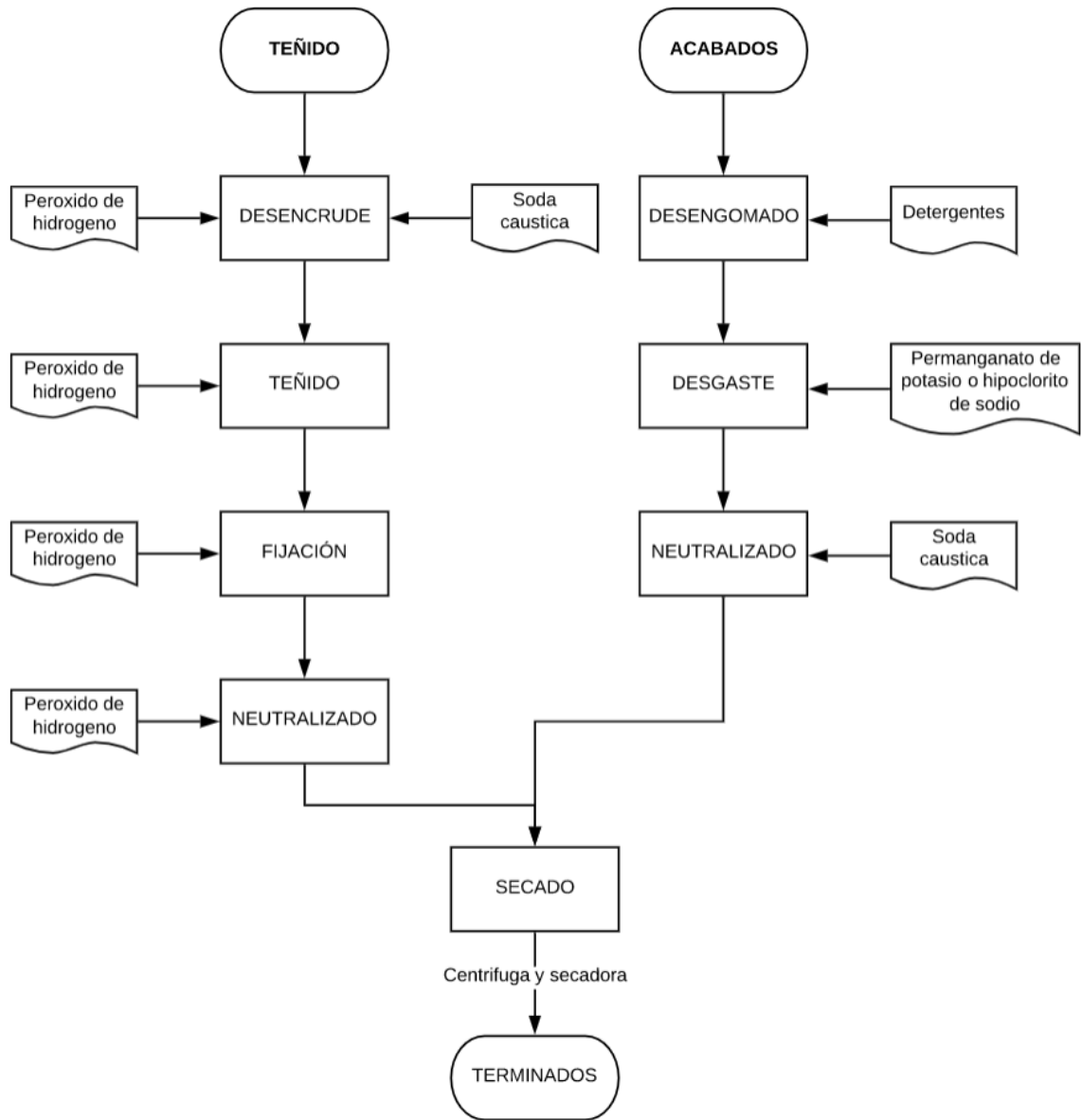
Fuente: elaboración propia

- Terminados: en esta etapa se realizan los procesos de perfeccionamiento, ya sea de bolsillos, ojales o cualquier aplique que requiera para su posterior control de calidad.

En el siguiente diagrama se puede apreciar el orden en el que ocurre el proceso productivo de la empresa, con sus respectivos reactivos.

²⁸ Ibid., p 28

Diagrama 1. Proceso productivo de la empresa

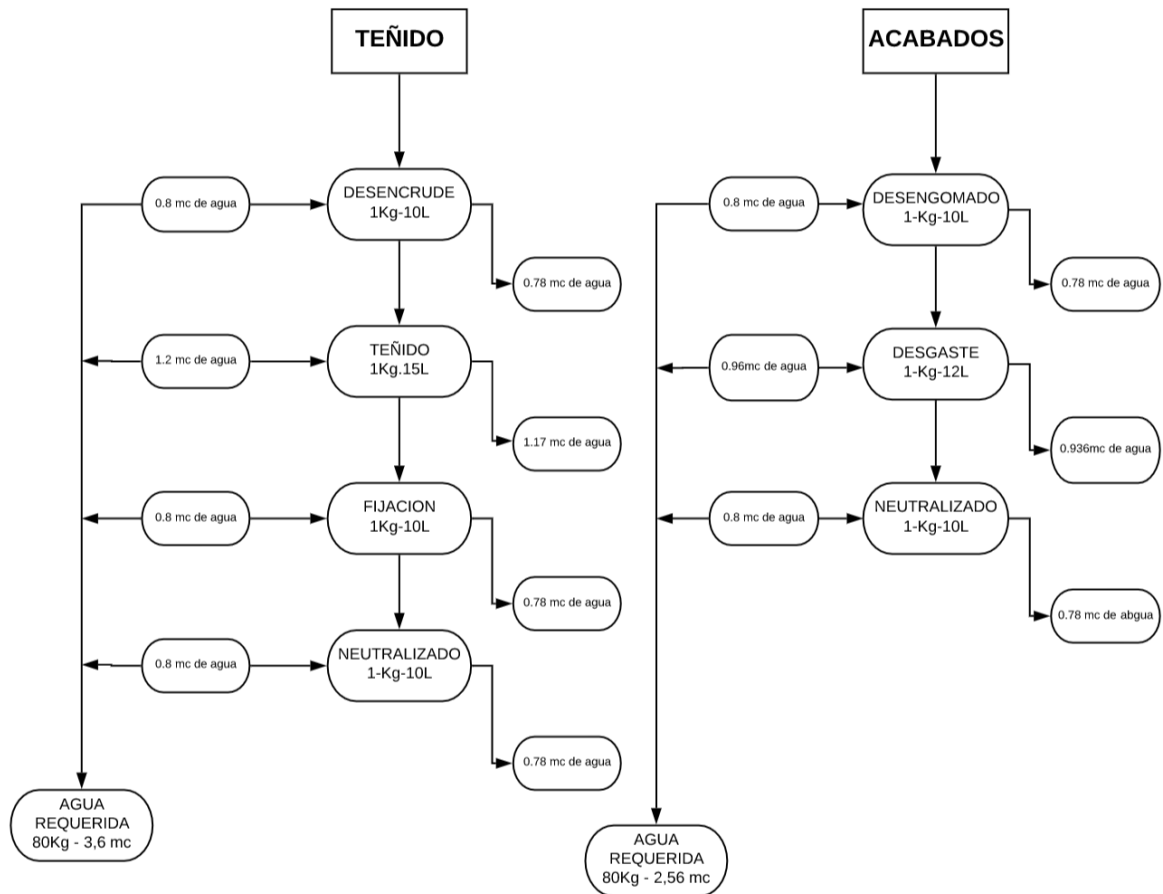


Fuente: elaboración propia

2.2 BALANCE HÍDRICO

En el diagrama 1 se observa el balance hídrico de la compañía, con su mayor capacidad en el proceso, general del volumen de agua residual que se genera en la empresa.

Diagrama 2. Balance hídrico del proceso productivo



Fuente: elaboración propia

Tabla 1. Balance hídrico del proceso productivo

Proceso	Entrada	Salida
Desencruce	0,8 m ³	0,78 m ³
Teñido	1,2 m ³	1,17 m ³
Fijación	0,8 m ³	0,78 m ³
Neutralización	0,8 m ³	0,78 m ³
Agua total proceso de teñido	3,6 m ³	3,51 m ³
Desengomado	0,8 m ³	0,78 m ³
Desgaste	0,96 m ³	0,936 m ³

Tabla 1. (Continuación)

Proceso	Entrada	Salida
Neutralizado	0,8 m ³	0,78 m ³
Agua total proceso de acabados	2,56 m ³	2,496 m ³

Fuente: elaboración propia.

En el diagrama anterior se puede apreciar la cantidad de agua que se utiliza en el proceso, por cada kilogramo de agua, tanto en el proceso de teñido, como en el proceso de acabados; de la misma manera se observa que la empresa utiliza 45L de agua por cada kg de tela, en pantalones que pasan por un proceso de teñido y 32 L de agua por cada Kg de tela en donde el pantalón pasa por un proceso de acabados. De la misma manera se puede observar que existen unas pérdidas, que se dan debido a posibles fugas, o por el uso del agua en los pantalones²⁹. De la misma manera se puede ver que el volumen que se ve registrado en el esquema que la capacidad máxima de carga en las lavadoras industriales, son 80 Kg de tela según la información suministrada por la empresa.

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

AL finalizar con este proceso se obtiene un agua contaminada por el contacto que tuvo con las sustancias utilizadas que se mencionan en el capítulo 2.1. Debido a que no se tiene conocimiento previo del estado del agua en la empresa se realiza una caracterización del agua residual; sin embargo tomando en cuenta los reactivos utilizados en el proceso se pueden descartar algunos parámetros de la norma, como los metales, sulfatos, fluoruros, cianuros, compuestos con nitrógeno o fosforo e hidrocarburos, por tal razón los parámetros que se toman para el análisis son pH, DBO, DQO, SST, grasas y aceites, fenoles totales, cloruros, sulfuros y color real. haciendo de esta manera un análisis para la selección de los mismos.

La caracterización de los análisis se realizó en Analquim S.A., arrojando los datos que se muestran a continuación.

²⁹ BEDOYA VÁSQUEZ, Juan; Propuesta de un sistema para la reutilización del agua proveniente de las ultimas etapas del lavado industrial de textiles hoteleros y hospitalarios. Trabajo de grado ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá. Universidad de la Salle. 2005. P 118. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14693/00798064.pdf?s>

Tabla 2: Caracterización del agua residual de la empresa.

N°	Parámetro	Unidades	Valor límite permisible artículo 15 de la Resolución 0631 de 2015	Valor	Cumple
1	pH	UNIDADES DE pH	6.00 -9.00	10,28	NO
2	DQO	mg/L O ₂	150.00	793	NO
4	SST	mg/L	50.00	62	NO
6	GRASAS Y ACEITES	mg/L	10,00	9	SI
8	FENOLES TOTALES	mg/L	0.20	< 0,07	SI
22	CLORUROS	mg/L	250.00	200	SI
25	SULFUROS	mg/L	1,00	< 0,8	SI
53	COLOR REAL	m ⁻¹	-	436-0,376 525-0,649 620-0,737	NO

Fuente: elaboracion propia basada en resultados de Laboratorios ANALQUIM S.A.

Como se muestra en la tabla 2, se debe realizar una serie de tratamientos en el agua residual de la empresa, para que el pH, la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos totales y el color real cumplan con la Resolución 0631 de 2015, artículo 15.

Además de la caracterización del agua se toman otros parámetros como la temperatura, el caudal, el volumen, el tiempo que toma la realización del proceso y partículas en el agua.

2.4 DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA

Se realiza esta medición, con el fin de buscar los materiales y reactivos que se pueden utilizar en el sistema de tratamiento Esta medida se realiza in situ, por medio de un pirómetro, tal como se muestra en la ilustración 6, para que no se vea afectada por un desplazamiento.

Ilustración 6. Toma de temperatura.



Fuente: elaboración propia

El procedimiento de la toma de temperatura se realizó 10 veces, donde se tomaron dos mediciones diarias, obteniendo una toma en cada culminación del proceso; esta prueba no se podía realizar en un mismo día, puesto que diariamente no se realizan los 10 procesos.

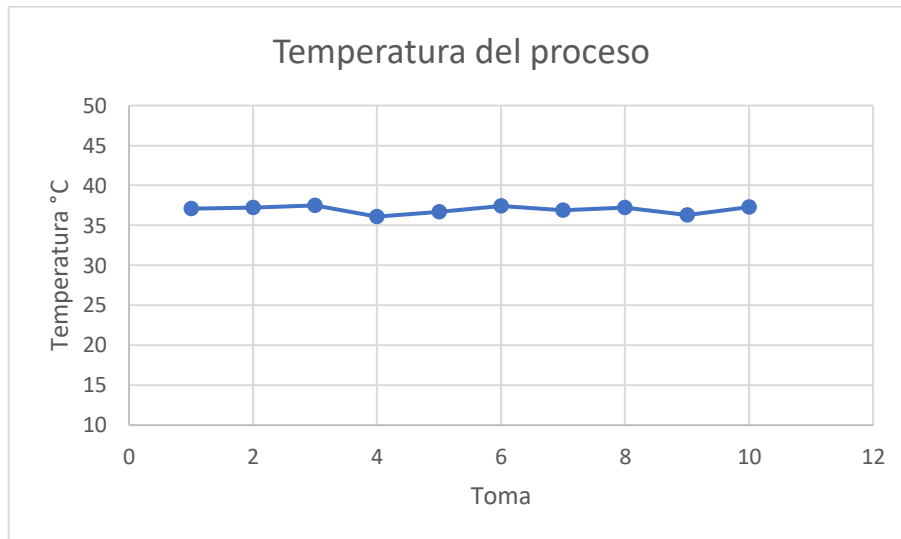
Tabla 3. Medición de temperatura.

Toma	Temperatura	Unidades
1	37,1	°C
2	37,2	°C
3	37,5	°C
4	36,1	°C
5	36,7	°C
6	37,4	°C
7	36,9	°C
8	37,2	°C
9	36,3	°C
10	37,3	°C

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3 no hay alguna variación significativa, pues la diferenciación en las tomas es de 1,4° C, razón por la cual no es un parámetro de estudio, pues no se está incumpliendo con la normatividad.

Gráfica 1. Temperatura del proceso



Fuente: elaboración propia.

2.5 LÍMITES DE VOLUMEN

La siguiente tabla muestra los límites superior e inferior del consumo de agua en la empresa, en el mes de diciembre el consumo es mayor debido a la gran demanda de producto que existe en el mercado. Por tal razón el proceso se realiza una mayor cantidad de veces, sin embargo el menor volumen que la empresa consume es en el mes de diciembre, debido a la baja demanda que existe, además del cierre que se realiza en la fábrica, para los primeros días del mes. Estos resultados son proporcionados por la empresa y son considerados con el fin de conocer el volumen que deben tener los equipos que será utilizados en el sistema de tratamiento de agua residual.

Tabla 4. límites de volumen de agua.

	Mayor volumen	Menor volumen
Mes	DICIEMBRE	ENERO
Volumen	278	159
Unidad	m ³	m ³

Fuente: elaboración propia

2.6 RECOPIACIÓN

En este capítulo se encontró que los parámetros a corregir según la Resolución 0631 de 2015 son el pH, el DQO, los SST y el color, donde se realizará un diseño con los métodos y reactivos adecuados, para su neutralización.

Este diseño se realiza con ayuda de las características actuales del agua y la empresa, que de igual forma fueron contempladas en esta sección. En la tabla 5 se puede encontrar un breve resumen del capítulo, mostrando las características más relevantes de la empresa y el agua para el diseño del sistema de tratamiento de aguas.

Tabla 5. Diagnóstico de la empresa

Conceto	Valores
Uso total máximo de agua en el proceso de teñido	3,6 m ³
Uso total máximo de agua en el proceso de acabados	2,56 m ³
Parámetros que no cumplen con el valor límite permitido en la Resolución 0631	DQO – 793 SST – 62 mg/L COLOR 436-0,376 m ⁻¹ 525-0,649 m ⁻¹ 620-0,737 m ⁻¹ PH -10,28 mg/L O ₂
Temperatura promedio	36,95°C
Volumen máximo	278 m ³
Volumen mínimo	159 m ³

Fuente: elaboración propia

3. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS Y REACTIVOS

Una vez se tiene el diagnóstico del estado actual del agua, se procede a determinar los tratamientos que eliminen o reduzcan los contaminantes, según los parámetros que no cumplen con la Resolución 0631 de 2015, para de esta manera realizar la neutralización de los mismo y dar cumplimiento a la norma.

Para el tratamiento de agua residual como se observa en el numeral 2, la empresa ya contaba con un pre tratamiento, que es el tamizado, desde el cual se da inicio al diseño del sistema para la trata de la misma.

3.1 ELIMINACION DE COLOR

La característica del color en una muestra depende de varios factores, la exposición, el lugar o medio acuático del cual proviene, los tratamientos a los que se realizaron previamente, los compuestos a los que el agua ha sido expuesta.

En algunos casos el agua puede traspasar su característica de color por medio de contacto con otras sustancias o elementos, como es el caso del agua a tratar, que entra en contacto con colorantes, detergentes y reactivos como fueron explicados en el capítulo 2, sección 2,1

El color es una propiedad del agua residual que no solo afecta la apariencia de la misma, también impide el paso de la luz al agua, lo que frena el crecimiento de algunas plantas que necesitan la luz solar para el proceso de la fotosíntesis.³⁰ Al evitar el crecimiento de estas algas se ve afectada la alimentación de los seres vivos en el hábitat.³¹

Para la eliminación del color presente en el agua, actualmente se utilizan dos métodos muy efectivos y económicos en la industria, los cuales son: la adsorción, la floculación y coagulación, métodos con membranas, ozonización y técnicas electroquímicas. En el siguiente diagrama se pueden observar las ventajas y desventajas que tienen cada uno de estos métodos, para su respectiva selección.³²

³⁰ BARRIOS ZIOLO, Leonardo Fabio, et al. Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de Aburrá. [En línea]. Edición N° 26. Envigado. Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n26/n26a05.pdf>

³¹ Ibid., p 38

³² Ibid., p 38

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los métodos para la eliminación del color

Método	Ventajas	Desventajas
Coagulación y floculación	<p>Simplicidad: El proceso consta de adicionar determinados productos químicos, con ayuda de la agitación y sedimentar.</p> <p>Operativo: El proceso se puede realizar mediante dosificadores o con ayuda de personal capacitado</p> <p>Filtración: Ayuda a tener una filtración más efectiva, por la eliminación previa de los sólidos.</p> <p>Variedad: El proceso se puede realizar en distintos tipos de aguas.³³</p>	<p>Capacitación: En caso de no optar por un medio automático se requiere personal capacitado.</p> <p>Formación de lodo: Se forma un lodo en la parte de sedimentación, a la cual posteriormente se le debe realizar un tratamiento</p> <p>Tiempo: Es un proceso que requiere del tiempo suficiente para la completa sedimentación de los flocs.³⁴</p>
Adsorción	<p>Calidad: Los efluentes generan un efluente de gran calidad, con una efectividad superior al 95%.</p> <p>Adsorbente: El adsorbente puede ser reutilizado en el proceso³⁵</p>	<p>Selección: Es un método poco selectivo, donde la superficie del adsorbente puede seleccionados.</p> <p>Precio: los precios de los adsorbentes suelen ser costosos.</p> <p>Mantenimiento: Se debe realizar un mantenimiento continuo, debido a los adsorbentes elegidos.³⁶</p>

³³ Foto de internet. BID, GESTIÓN DE AGUA Y SANEAMIENTO SOSTENIBLE. Coagulación y floculación. [Consulta 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-2C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>

³⁴ Ibid., p 39

³⁵ Foro de internet. CONDORCHEM ENVITECH – SMART IDEAS FOR WASTEWATER & AIR TREATMENT. Tratamiento para la eliminación del color en aguas residuales de la industria textil. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tag/adsorcion/>

³⁶ Ibid., p 39

Cuadro 1. (Continuación)

Método	Ventajas	Desventajas
Ozonización	<p>Eliminación: Es capaz de eliminar de bacterias y virus.</p> <p>Eficacia: Puede llegar a ser hasta 3000 veces más efectivo que procesos como la oxidación</p> <p>Variedad: Este proceso es útil para la remisión de olor, color, carbono total y turbidez en el agua residual³⁷</p> <p>Tiempo: El tiempo de contacto que requiere es hasta 6 veces menor que el tiempo que requiere con la floculación y coagulación.</p> <p>Facilidad: El ozono es una materia prima que se puede generar desde el aire por medio de descargas eléctricas.³⁸</p>	<p>Corrosivo: El ozono es altamente corrosivo y toxico, por lo que los equipos que se manejan deben ser especiales.</p> <p>Inversión: se requiere una inversión alta, debido a los materiales de los equipos</p> <p>Almacenamiento: El ozono se debe generar en el lugar a tratar, por problemas con el transporte.</p> <p>Vida media: El ozono tiene una vida media en óptimas condiciones hasta de 25 minutos, por lo cual para grandes cantidades de agua a tratar se deben realizar tratamientos adicionales.³⁹</p>

³⁷ AQUAQUIMICA – WATER TECHNOLOGY. Ventajas y desventajas del tratamiento del agua con ozono. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://aquaquimica.net/ventajas-desventajas-agua-ozono/>

³⁸ Foro de internet. MADRIDMASD. Aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas: Descripción y funcionamiento. [Consulta 15 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>

³⁹ AQUAQUIMICA – wáter technology. P 39

Cuadro 1. (Continuación)

Método	Ventajas	Desventajas
Membrana	<p>Calidad. Tiene una alta efectividad, debido al tratamiento de la eliminación de compuestos orgánico, microorganismos y nutrientes. Eliminación de carbono total</p> <p>Tiene la posibilidad de aplicarse a los lodos generados</p> <p>Reutilización: Los efluentes tiene una calidad tan alta que pueden llegar a ser reutilizados.⁴⁰</p>	<p>Residuo: Genera un residuo con alto grado de contaminación, por lo cual posteriormente se debe realizar un tratamiento.</p> <p>Mantenimiento: Se debe realizar un mantenimiento periódico, debido a los coloides o lodos que se acumulan en la parte superior, puesto que esta técnica no es de eliminación, sino de acumulación de contaminantes⁴¹</p> <p>Pretratamientos: Se debe realizar un tratamiento previo al agua a tratar, para aumentar la durabilidad de la membrana.⁴²</p>

Fuente: elaboración propia

Por lo anterior, el primer método en ser descartado es la ozonificación, debido a que los valores de inversión iniciales en los que se incurre para su realización de este método requiere un equipo generador de ozono, cuyo valor supera los \$43'000.000⁴³ y los equipos deben ser de materiales resistentes debido a la corrosión, razón por la cual también incurre en un mantenimiento constante. Otro factor que ayudó a descartar este tratamiento fue la baja vida media que tiene el ozono generado, haciendo que en cantidades grandes de agua, como la que se

⁴⁰ Foro de internet. FILTRACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/>

⁴¹ Ibid., p41

⁴² AGUAS INDUSTRIALES. Ventajas y desventajas en la implantación de Biorreactor de membranas para aguas industriales. [Consulta: 13 de febrero 2019]. Disponible en: <http://aguasindustriales.es/implantacion-de-bioreactor-de-membranas-para-aguas-industriales-ventajas-y-desventajas-de-un-mbr/>

⁴³ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Elvira Hercilia Páez Gómez. 2010. Bucaramanga. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/537-informe-de-gestion-2010-1/file>

quiere tratar en este proceso requiera un tratamiento adicional, generando el costo añadido del otro tratamiento.

El siguiente método que se descarta es el tratamiento que utiliza la membrana, este se descarta por el valor que tienen los equipos en que se utiliza, con un valor de \$25.000.000 con su implementación,⁴⁴ además del costo del mantenimiento que se debe realizar, debido a los lodos que quedan suspendidos, puesto que este método, no es una técnica de eliminación, sino un método de acumulación del contaminante, otro factor que ayudo a descartar este tratamiento es que para obtener buenos resultados con este tratamiento y durabilidad en las materias primas, se debe realizar un pretratamiento, es decir que se tiene que agregar un proceso adicional, generando el costo añadido del otro tratamiento.

Por último, se elimina el método de la adsorción, puesto que este tiene una alta frecuencia de mantenimiento, debido a los adsorbentes elegidos. Este proceso por lo general se realiza con carbón activado, pues es el adsorbente más barato hasta el momento con un valor aproximado de \$18.000 el kilo, pues adsorbentes como la alúmina activada, zeolitas tienen valores de aproximadamente \$90.000 el kilo, mostrando que las materias primas que se deben utilizar con muy costosas.

Teniendo en cuenta la tabla anterior y sus respectiva explicaciones, se puede observar que la opción más viable para el sistema de tratamiento de agua residual que se quiere diseñar es el método de la floculación y coagulación debido a que su valor de implementación no supera los \$20'000.000 de pesos, es un proceso que simplificado, donde no se necesita una alta frecuencia de mantenimiento, puesto que los lodos salen en el sedimento; además este método es capaz de obtener una remoción de color sintético como el que se utiliza en esta prueba hasta del 98,32%.⁴⁵

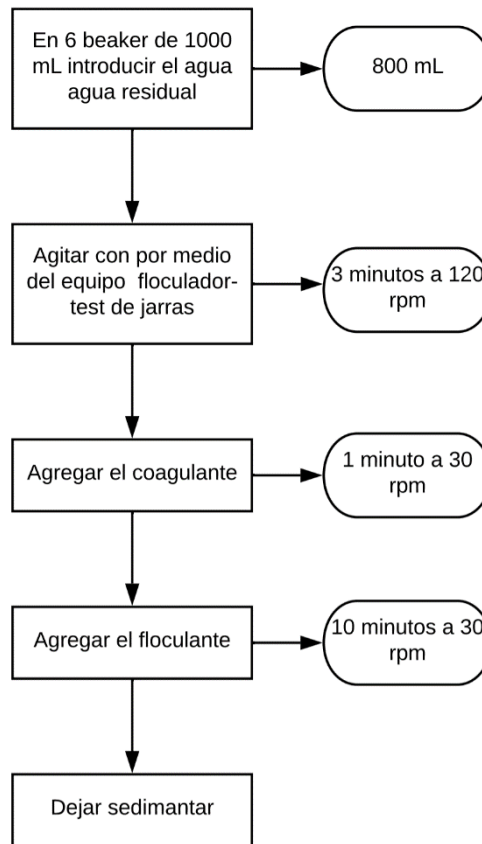
El procedimiento de la coagulación y floculación que se realizó en un laboratorio, se basó en la norma NTC 3903 de 2010 que explica la manera correcta de realizar el test de jarras, la forma en la que se tiene que agregar el coagulante, el floculante la medición de flocs, la eliminación de los mismos, y los tiempos de agitación con su respectiva velocidad. En esta norma además de encontrar el procedimiento también se pudieron evidenciar los diferentes equipos y precauciones que se debieron tomar en el momento en que se realizó la experimentación.⁴⁶

⁴⁴Foro de internet. MERCADO LIBRE. [Consulta: 16 de febrero 2019]. Disponible en: https://www.mercadolibre.com.co/?matt_tool=6513555&matt_word=mercado-libre&gclid=EAlaIQobChMIqfqHu_Xe4QIVUlqGCh0x-ArNEAAYASAAEgl2_D_BwE

⁴⁵ LLANES OCAÑA, José Guadalupe, et al. Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales en: Revista CENIC ciencias químicas. Vol. 41. P8, Disponible en: <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ-2010-1-049-056.pdf>

⁴⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental – Agua – procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. NTC 3903. EL instituto. 2010. 9 p. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3903.pdf>

Diagrama 3.Proceso de Teste de jarras



Fuente: elaboración propia, basado en Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. Gestión ambiental – Agua – procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. NTC 3903. EL instituto. 2010. 9 p. [Consulta: 18 de febrero 2019] Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3903.pdf>

La efectividad del proceso se basa en la elección de los coagulantes y floculantes, que son elegidos de acuerdo a los costos, porcentajes de remoción de contaminantes y estar acorde con el pH de las soluciones que se manejan, las especificaciones que se solicitan, el precio y la disponibilidad que exista de este en el mercado.

Los coagulantes más utilizados en el mercado son las sales de hierro y sales de aluminio, como lo son: Sulfato de amonio, Hidrocloruro de aluminio, Cloruro férrico Sulfato ferroso, Sulfato férrico.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los coagulantes

Coagulante	Ventajas	Desventajas	Precio
Sulfato de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> - Alta disponibilidad - Flexibilidad de uso en diferentes tipos de agua - Conocido, Buena disponibilidad. - Plantas normalmente diseñadas para el Alum - El personal capacitado para el Alum y conoce su comportamiento - Autoridades no cuestionan el uso del Alum - Forma flóculo blanco casi invisible.⁴⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de lodos - Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polímero) para flocular.⁴⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo 5.000 pesos por Kilo.⁴⁹
Hidroxiclورو de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> - Genera un menor residual de aluminio. - Mejora la velocidad de formación de flocs. - Mejora en la remoción de color o turbidez. - Genera mayor velocidad de sedimentación. - Requiere menores tiempos de mezclado para coagular. - Aumento en la remoción de Carbón Orgánico Total. - Mejora la eficiencia de la filtración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo se presenta en forma líquida - Forma flóculo blanco casi invisible. - Se requiere normalmente un control del pH. - El rango de trabajo de pH muy limitado. - La remoción de material orgánica en el proceso limitada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo 63.000 pesos por 25 Kg. ⁵⁰

⁴⁷ RINNE, Tuomas. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. Congreso de centro América y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental. p7. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>

⁴⁸ Ibid., p 44

⁴⁹ MERCADO LIBRE. p42

⁵⁰ MERCADO LIBRE. p42

Cuadro 2. (Continuación)

Coagulante	Ventajas	Desventajas	Precio
	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la operación de filtros. - Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros. - Reducción de lodos de un 25-75%. - Operación simplificada al eliminar reguladores de pH y ayudas de coagulación. - Trabaja en un amplio rango de pH. - No modifica el valor de pH del influente. <p>Menor costo de operación.⁵¹</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas con agua de alta turbiedad. - Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polímero) para flocular. - Problemas con alto contenido de Aluminio residual.⁵² 	-
Cloruro férrico	<ul style="list-style-type: none"> - Muchas veces el coagulante de bajo costo - Alta velocidad de reacción - El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancias orgánicas, - El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Hierro y Manganeso 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas en el proceso pueden causar un color y precipitación en el agua tratada - La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Hierro es mayor) - Muy corrosivo para manejar y almacenar.⁵³ 	- Medio 9.500 pesos por 500 Gr. ⁵⁴

⁵¹ Foro de internet. PREZI. Problemática del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. [Consulta 16 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://prezi.com/0alcmhciv5me/problematika-del-uso-del-aluminio-como-coagulante-en-el-trat/>

⁵² Ibid., p 45

⁵³ RODRÍGUEZ SALCEDO, Carlos francisco. P 44.

⁵⁴ MERCADO LIBRE. p42

Cuadro 2. (Continuación)

Coagulante	Ventajas	Desventajas	Precio
Sulfato ferroso	<ul style="list-style-type: none"> - El hidróxido férrico se forma a valores de pH bajos, por lo que la coagulación es posible con sulfato férrico a valores de pH tan bajos como 4,0. - El hidróxido férrico es insoluble en un amplio intervalo de valores de pH. - El flóculo de hidróxido férrico no se disuelve a valores altos de pH.⁵⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> - Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferroso en ion férrico insoluble. - Su uso es muy pegado a la presencia de Cal. - La dosificación de dos reactivos químicos diferentes lo hace más difícil.⁵⁶ 	-Medio \$ 9.800 pesos por 500 g. ⁵⁷
Sulfato férrico	<ul style="list-style-type: none"> - Muchas veces el coagulante de bajo costo - Alta velocidad de reacción - El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Hierro y Manganeso - Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero) - Fácil y seguro a manejar y almacenar, tanto líquido como sólido.⁵⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> -El producto requiere un mejor diseño de proceso que el Alum o PAC -La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Hierro es mayor) -El producto sólido necesita una muy buena mezcla en la unidad de dilución.⁵⁹ 	-Medio \$ 9.800 pesos por 500 g. ⁶⁰

Fuente: elaboración propia

⁵⁵ Foro de internet. TRATAMIENTO DEL AGUA. Coagulantes para el tratamiento de agua [17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/>

⁵⁶ Ibid., p46

⁵⁷ MERCADO LIBRE. p 42

⁵⁸ RINNE, TUOMAS. P48

⁵⁹ RINNE, TUOMAS. P48

⁶⁰ MERCADO LIBRE. p 42

Tabla 6. Rango de pH de coagulantes.

Coagulante	Rango De Ph
Sulfato de aluminio	4-7
Hidroxocloruro de aluminio	6 - 9
Cloruro férrico	Mayor a 3,5
Sulfato ferroso	Menor a 8,5
Sulfato férrico	Mayor a 3,5

Fuente: Guzmán Rivas. Jheyson Fabian. Evaluación técnica de la etapa coagulación-floculación para el mejoramiento en el proceso de potabilización de la planta galán de la EAAAZ. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Universidad fundación de América. 2017. 98 p. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6580/1/6102499-2017-2-IQ.pdf.pdf>

El coagulante con mayor uso en la industria para la eliminación del color es el sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ por su bajo precio y el amplio rango de pH que tiene y en algunos casos por la disminución del pH que puede generar en una solución.⁶¹

En este caso, al tener un pH alto, se aconseja utilizar el sulfato férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ o cloruro férrico FeCl_3 . Esto se debe a que el rango de trabajo en el que se operan estos dos coagulantes es para sustancias con un pH mayor a 9 en los dos casos como lo muestra la siguiente tabla, sin embargo como se muestra en el cuadro 2 el sulfato férrico no es un buen coagulante si el parámetro que se busca eliminar es el color, debido a que puede presentar un color en el agua tratada, razón por la que se descarta este coagulante, dejando como los coagulantes que se van a probar en el laboratorio el Sulfato de aluminio y Cloruro férrico.⁶²

Después de comparar y analizar las características de cada uno de los coagulantes, se determinó usar Sulfato de aluminio y Cloruro férrico para el tratamiento ya que estos tienen ventajas muy útiles en la solución al conflicto y las necesidades de la empresa, también su precio es el más razonable y conveniente para el tratamiento, una variable más que se toma en cuenta al momento de seleccionar el coagulante es el pH del agua residual a tratar.⁶³

⁶¹ COGOLLO FLORES, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidrocloreuro de aluminio. En: octubre de 2010. Volumen 78. p9. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

⁶² GUZMÁN RIVAS. Jheyson Fabian. Evaluación técnica de la etapa coagulación-floculación para el mejoramiento en el proceso de potabilización de la planta galán de la EAAAZ. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Universidad fundación de América. 2017. 98 p. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6580/1/6102499-2017-2-IQ.pdf.pdf>

⁶³ DELGADO CARREÑO, Claudia Viviana. Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento. Trabajo de grado Biología. Bogotá.

Para el correcto funcionamiento del proceso se debe analizar el floculante, donde para la elección de estos se toman en cuenta los factores que se ven en el cuadro 3.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los floculantes

Floculantes	Ventajas	Desventajas	Precio
Floculantes Aniónicos	<ul style="list-style-type: none"> - Ayudan al proceso de entrecruzamiento de sólidos por medio de la cadena polimérica - Permiten una sedimentación rápida ya que aumentan la consistencia de los coágulos - Ofrecen resultados de acuerdo con el tipo de agua residual. ⁶⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> - Producen alteración del pH del agua. - Incremento de las características fisicoquímicas del agua - Requieren personal para su recolección. ⁶⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación 1 Kg \$35.000. ⁶⁶

Pontificia universidad Javeriana. 2016. P 95. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17908/DelgadoCarrenoClaudiaViviana2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁶⁴ Foro de internet. INGENIERÍA LIQUID TECHNOLOGIES DE MONTEREY S.A. DE C. V. Floculantes aniónicos. [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://liquidtech.com.mx/quimicos/3/floculantes-anionicos>

⁶⁵ Ibid., p 48

⁶⁶ MERCADO LIBRE. p42

Cuadro 3. (Continuación)

Floculantes	Ventajas	Desventajas	Precio
Floculantes catiónicos	<ul style="list-style-type: none"> - Este floculante favorece la formación de flóculos de carácter esponjoso. - Permiten seleccionar el tratamiento óptimo para que neutralice eficientemente los contraiones presentes en el agua residual gracias a las distintas densidades de cargas. - Esta serie de floculantes es capaz de proporcionar el tratamiento óptimo en cada caso y reducir así los recursos necesarios para la depuración del agua residual y deshidratación de fangos generados. - Hay menor corrosión de las instalaciones y se suprimen los recursos humanos necesarios.⁶⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> - Dosis mayores⁶⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación 1 Kg \$20.000.⁶⁹

⁶⁷ Foro de internet. INGENIERÍA LIQUID TECHNOLOGIES DE MONTEREY S.A. DE C. V. Floculantes catiónicos. [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://liquidtech.com.mx/quimicos/4/floculantes-cationico>

⁶⁸ INGENIERÍA LIQUID TECHNOLOGIES DE MONTEREY S.A. DE C. V. Floculantes catiónicos. P 48

⁶⁹ Mercado libre. p 42

Cuadro 3. (Continuación)

Floculantes	Ventajas	Desventajas	Precio
Floculantes neutros	- Floculantes polímeros de alto peso molecular no iónicos y se utilizan para llevar micro flóculos mandará neutralizados por coagulantes juntos para hacer que los macro flóculos por la reacción de puente. ⁷⁰	- Tienen dependencia de la velocidad de agitación del agua - Son dependientes de las características fisicoquímicas del agua. ⁷¹	- Presentación 1 Kg 852.992. ⁷²

Fuente: elaboración propia

Al tener la opción del manejo de los tres floculantes, se observa que los floculantes aniónicos y catiónicos tienen un uso general, debido a que se puede utilizar en diferentes tipos de aguas, ya que no hay dependencia de las características fisicoquímicas. Esta elección se realiza para prevenir que el floculante no sea compatible con el tipo de agua, por un cambio de sus características, que puede ocurrir por el cambio de los colorantes.

En la experimentación se hará uso del sulfato de aluminio y cloruro férrico, con ayuda de dos floculantes, aniónico y uno catiónico, que como se observó en el cuadro 3, son los dos floculantes con mayores ventajas para la remoción del color y hacer un ajuste en el pH del agua residual.⁷³

⁷⁰ Foro de internet. COAGULANTES, FLOCULANTES Y AGENTES DESHIDRATANTES DE LODOS. Polímeros floculantes No iónicos y aniónicos. [Consultado 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://kiralyquinteroaguas.blogspot.com/2015/06/coagulantes-floculantes-y-agentes.html>

⁷¹ Ibid., p 50

⁷² MERCADO LIBRE. p 42

⁷³ ANDIA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Sedpal. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. 2000. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

3.2 DISMINUCIÓN DE DQO

La Demanda química de oxígeno es uno de los parámetros que se utiliza para determinar el grado de contaminación, por medio de la concentración de materia orgánica, una gran cantidad de DQO, mostrar la presencia de bacterias, razón por la cual esta se ha tomado como una medida de toxicidad⁷⁴.

Para la disminución del DQO existen tres métodos efectivos que son: oxidación, membranas semipermeables y coagulación y floculación. En la elección del método se verifican cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de estos y así lograr encontrar la alternativa más efectiva⁷⁵

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de métodos para la neutralización de DQO

Método de disminución de DQO	Ventajas	Desventajas
OXIDACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Se consigue generalmente la mineralización completa (destrucción) del contaminante. - No forman subproductos que requieren posterior procesamiento, como por ejemplo, no forman fangos. - Son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico⁷⁶. - Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración 	<ul style="list-style-type: none"> - El principal inconveniente es su elevado coste por el uso de reactivos caros - La utilización de luz no artificial supone un determinado coste energético⁷⁷

⁷⁴SERRANO SOLIVERES, Emilio y REINA SALGADO, Elvira. Análisis de los efectos de una elevada DQO lentamente biodegradable por medio de la respirometría y bioincubación microscópica en el fango activo de una EDAR urbana. Surcis. P 11. Disponible en: http://www.surcis.com/es/an%C3%A1lisis-de-los-efectos-de-la-dqo-lentamente-biodegradable-en-el-fango-activo_12364.pdf

⁷⁵ LÓPEZ BARROSO, María Fernanda y MENDOZA ARIAS, Laura Carlota. Desarrollo de una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DQO y DBO en la fábrica de chocolates triunfo s.a. Proyecto de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación universidad de América. 2018. P 186. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6720/1/6131981-2018-1-IQ.pdf>

⁷⁶ LENNTECH. Oxidación avanzada. [Consulta: 17 de febrero 2019]. 2016. Disponible en: <https://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm>

⁷⁷ TERÁN SOLIZ, Mery. Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas. P 55

Cuadro 4. (Continuación)

Método de disminución de DQO	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoran las calidades organolépticas del agua tratada. - Disminuyen la concentración de los subproductos generados en la desinfección del agua. - Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.⁷⁸ 	
<p style="text-align: center;">COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Permite eliminar partículas en suspensión - Es universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y peso de materia que son eliminados al menor costo en comparación a otros métodos.⁷⁹ 	<ul style="list-style-type: none"> - Es muy eficaz pero su costo es elevado cuando no es bien realizado - El proceso mal realizado puede producir una rápida degradación del agua.⁸⁰
<p style="text-align: center;">MEMBRANAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se lleva a cabo continuamente - Poco consumo de energía - Posibilidad de participar en procesos híbridos - No se requieren algún aditivo.⁸¹ 	<ul style="list-style-type: none"> - Polarización de la concentración y ensuciamiento - Baja vida de las membranas - Baja selectividad o flujo.⁸²

Fuente: elaboración propia

⁷⁸ TERÁN SOLIZ, Mery. Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas. Trabajo de grado ingeniería química. Barcelona. Universidad politécnica de Cataluña. 2016. P 100. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf

⁷⁹ Foro internet. PREZI. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. 2015 [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <https://prezi.com/5favznqkkj5k/la-coagulacion-y-la-floculacion/>

⁸⁰ Ibid., p 52

⁸¹ FILTRACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. p 41

⁸² FILTRACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. p 41

Previo a realizar la selección de los métodos para la neutralización de la demanda química de oxígeno, se realizó la elección del tratamiento de coagulación y floculación para la remoción del color. Por tal razón este proceso ya está en la elección de los métodos.

Para la elección del método se tuvo en cuenta la tabla anterior en la que se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. El proceso de tratamiento que utiliza membranas, pese a ser un método con gran efectividad en la remoción de este parámetro (98,3%)⁸³, es una técnica con costos elevados, que requiere un tratamiento previo y cuidados en el pH y la temperatura para lograr que las materias primas tengan una mayor durabilidad, generando un costo extra; además del factor de la frecuencia de mantenimiento, por la cantidad de lodos generados.

La oxidación del agua residual, en compañía del proceso de coagulación y floculación asegura la disminución del DQO, quedando dentro de los parámetros permitidos en la norma. Además, este proceso se puede realizar en el mismo tanque o equipo de la coagulación y floculación, por lo cual no incurre en un gasto significativo⁸⁴, pero sí aporta ventajas al tratamiento.

3.3 ELIMINACION DE SST

Los sólidos suspendidos totales (SST), son un parámetro que cuantifica los sólidos presentes en el agua, sin embargo, este incluye sólidos orgánicos e inorgánicos; este parámetro puede afectar la vida acuática, pues estos sólidos pueden encontrarse ubicados en el lugar donde habitan estos seres o incluso pueden llegar a asfixiar el hábitat.⁸⁵

Para la eliminación de los sólidos suspendidos totales se realizará una filtración, debido a las grandes ventajas que aporta, pues este proceso es económico, puede llegar a tener una efectividad del 99% en la eliminación de grasas y arenas, no necesita personal técnico especializado y no tiene costos energéticos elevados.⁸⁶

⁸³ RAMÍREZ GÓMEZ, William. Consideraciones básicas y viabilidad de procesos de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración como alternativa para el tratamiento de agua en Colombia. Trabajo de grado especialista ingeniería ambiental. Bogotá. Universidad nacional de Colombia. 2006. P 90. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/1924/1/williamramirezgomez.2006.pdf>

⁸⁴ LIZARAZO ESTUPIÑÁN, Paula Andrea y VILLOTA SANTAMARIA, Katya Vanessa. Desarrollo de una propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico realizado en una empresa metalmecánica. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación universidad de América. 2017. P 116. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6573/1/6122863-2017-2-IQ.pdf>

⁸⁵ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. Turbidez. N° 2. 2007. Disponible en: <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/PDF%20Facts%20About/translations/facts-about-turbidity-spanish.pdf>

⁸⁶ Foro de internet. AGUAS INDUSTRIALES. Ventajas de utilizar Filtros de lavado en Continuo para el tratamiento de agua de procesos y aguas de aporte. 2014. Disponible en:

Este tratamiento, será elegido por el tipo de agua residual a tratar, los parámetros que se deben manejar, tipo de componente que se deben filtrar, accesibilidad a materias primas y costos.

En la siguiente tabla se pueden observar los tipos de filtraciones y usos según los compuestos tenga el agua residual a tratar

Tabla 7.Tipos de filtraciones

Tratamiento	Clases de contaminantes				
	Sólidos suspendidos	Compuestos Orgánicos	Compuestos iónicos	Microorganismos	Gases
Filtro Lecho	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Filtración cartucho	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Bolsa de filtración	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Filtración por arrastre	Muy efectivo	Parcialmente efectivo	NA	NA	NA
Carbón activado	NR	Muy efectivo	NA	NA	Parcialmente efectivo
Micro-filtración	Muy efectivo	NA	NA	Parcialmente efectivo	NA
Ultra-filtración	NR	Muy efectivo	NA	Efectivo	NA
Nano-filtración	NR	Muy efectivo	Efectivo	Muy efectivo	NA
Osmosis Inversa	NR	Muy efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo	NA
Destilación	NR	Parcialmente	Muy efectivo	Muy efectivo	NA
Electrodialisis	NA	NA	Efectivo	NA	NA
Electrodesionización	NA	NR	Efectivo	NR	NA
Intercambio iónico	NR	NA	Muy efectivo	NA	NA
Ozonización	NA	Parcialmente	Parcialmente	Muy efectivo	NA
Cloro	NA	NA	NA	Efectivo	NA
Radiación UV	NA	Parcialmente	NA	Efectivo	NA

Fuente: GIL SUAREZ, Jenny Andrea. Propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la E.S.E hospital departamental universitario del Quindío San Juan de Dios. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Universidad Fundación de América. 2018. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6761/1/6062043-2018-1-IQ.pdf>

Según lo anterior los métodos que se pueden utilizar en el tratamiento de agua, son filtro lecho, filtro cartucho, filtración por arrastre y micro filtración. Sin embargo los filtros que eliminan compuestos orgánicos tienden a incrementar su valor, por tal razón se descarta el método de filtración por arrastre, otro procedimiento que con esta tabla se excluye es el método de filtración de microorganismos, debido al costo superior que tiene, que termina siendo inoficioso, puesto que no hay microorganismos en el agua y ya ha sido tratada previamente.

<http://aguasindustriales.es/ventajas-de-utilizar-filtros-de-lavado-en-continuo-para-el-tratamiento-de-agua-de-procesos-y-aguas-de-aporte/>

Una vez se han descartado algunos métodos se procede a ver en el cuadro 5 las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos viables, para la elección del mismo.

Cuadro 5. Propiedades de filtradores

Tipo de filtrado	Descripción	Principales cualidades
Filtración por Lecho	Tienen la finalidad de remover sólidos suspendidos en el agua de tamaños promedio de 5 micras con la zeolita y 20 micras en los filtros multimedia. Esto quiere decir que todo sólido en suspensión (tierra, polen, basuras pequeñas, etc.) queda retenido en el filtro para después ser desechado por el drenaje en el retro lavado; no permitiendo de esta forma que estos sólidos pasen al torrente de servicio. ⁸⁷	El agua tratada queda parcialmente libre de sólidos en suspensión los cuales afectan la calidad potable y de proceso del agua. Este proceso de filtración es del tipo profundo en donde la capa superior de material filtrante es la de mayor tamaño de fragmentos. ⁸⁸
Filtración por Cartuchos	Pueden estar fabricados en diferentes materiales, polipropileno, polietersulfona, celulosa, nylon, acero inoxidable, etc., determinándose el empleo de uno u otro en función de las características del fluido a filtrar y de la calidad final del mismo deseado. ⁸⁹	Es la técnica de filtración más aconsejada para aquellas aplicaciones cuyas exigencias en cuanto a calidad y seguridad sean elevadas. ⁹⁰

Fuente: elaboración propia

Según lo anterior se elige como método a utilizar la filtración de lecho, debido a que en este caso no se deben hacer constantes cambios de cartuchos, incurriendo en más gastos, además este es un método que se utiliza cuando la calidad del agua

⁸⁷ RESTREPO DIAZ, Kelly Yelleiny Y NIÑO LOZADA Yerli Edith. Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilidad de agua. Trabajo de grado Ingeniería civil. Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2018. P 89. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16451/1/TESIS%20PROTOTIPO.pdf>

⁸⁸ Ibid., P 55

⁸⁹ Foro de internet. AQUAFILT TRATAMIENTOS DE AGUA. filtración por cartuchos. [Consulta: 19 de febrero 2019]. Disponible en: <http://aquafilt.mx/producto/filtracion-por-cartuchos/>

⁹⁰ Ibid., P 55

debe ser alta; sin embargo, como es sabido el agua tratada no será reutilizada, razón por la cual no vale la pena incrementar los costos de los filtros.⁹¹

Una vez elegido el filtro de lecho se procede a elegir un filtro de arena, debido al mantenimiento que se recomienda cada 5 años, con un costo bajo, debido a que la arena es una materia prima económica.⁹²

3.4 NEUTRALIZACIÓN DE PH

El pH es un parámetro que indica la alcalinidad del agua, este es uno de los parámetros más importantes que tiene la misma, pues según esta medida determinados seres vivos pueden o no habitar ahí, además es un factor muy determinante para evitar la corrosión de tuberías y medios de transporte de la misma.⁹³

Actualmente existen varios métodos para la neutralización del pH, como lo son el uso de ozono o agregar una sustancia acida o básica dependiendo del pH que se requiera. En este caso se descarta el ozono por el alto valor que tiene su uso e implementación.⁹⁴

Para este caso en particular donde lo que se quiere es disminuir la alcalinidad del agua residual se hace uso de una sustancia acida. Para la elección del ácido correcto se tiene en cuenta las posibles consecuencias, toxicidad, modo de uso y economía.

Los ácidos más comúnmente utilizados para la acidificación del pH son como los que se muestran en la tabla 8

⁹¹ Foro de internet. GRUPO PISCINAS GRUPO HYDRO SALUD. Filtro de arena o cartucho. 2017. [Consulta: 10 de febrero 2019]. Disponible en: <https://grupopiscinas.com/filtro-de-arena-o-de-cartucho/>

⁹² Ibid., p 56

⁹³ RUMIE DE LA HOZ, David; MCNISH BERNAL, Fredy y CANO VARGAS, Jhonattan. Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del pH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar. Trabajo de grado especialista automatización y control de procesos industriales. Cartagena. Universidad tecnológica de Bolívar. 2011. P 93. Disponible en: biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062308.pdf

⁹⁴ Ibid., p 56

Tabla 8. Peligrosidad de ácidos fuertes

Acido	Peligrosidad	Costo	% De Pureza
Ácido cítrico	1	5.600\$/Kg	100
Ácido nítrico	5	10.500\$/galón	55
Ácido fosfórico	3	37.000\$/galón	85
Ácido sulfúrico	3	14.000\$/L	37

Fuente: elaboración propia, con ayuda de Foro de internet. Promix. Opciones de ácidos para disminuir la alcalinidad del agua. [Consulta 19 de febrero 2019]. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/opciones-de-acidos-para-disminuir-la-alcalinidad-del-agua/> y (*) Químicos campota

Para la neutralización del pH se tiene en cuenta como parámetro principal la peligrosidad de los ácidos debido a los riesgos que se corren en el proceso y al entrar en contacto con el medio acuático; por tal razón se selecciona el ácido cítrico, debido a que este es el ácido con menor peligrosidad. Además este cuenta con la ventaja de ser el reactivo más rentable para utilizar en este procedimiento.

Este procedimiento se realiza con una bureta dosificadora, que va agregando el ácido a la sustancia que se quiere acidificar, con el pH-metro en la solución. manteniendo una agitación constante, hasta llegar al pH necesitado

3.5 DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS EN EL LABORATORIO

Inicialmente se tiene que hallar cuál es el mejor coagulante, floculante y agente de oxidación; para ello se realizan varios experimentos de test de jarras, teniendo en cuenta la caracterización realizada en el numeral 2.3, para su respectiva normalización, en donde en cada una ellas se espera obtener el mejor coagulante, floculante y su respectiva dosificación, por medio del floculador test de jarras, como el que se muestra en la ilustración 7

Ilustración 7. Floculador test de jarras.



Fuente: elaboración propia

Para la elección del mejor coagulante, floculante, agente oxidante y dosificación se toma como parámetro de control la turbidez del agua, por medio de un turbidímetro como el que se muestra en la ilustración 8, en el que se toman 5mL del agua una vez sedimentados los flocs y de esta manera el agua que menor turbidez obtenga es la seleccionada. Es importante tener en cuenta que el agua cruda tenía una turbidez de 155.1 NTU.

Ilustración 8. Turbidímetro



Fuente: elaboración propia

3.5.1 Test de jarras 1. En esta primera experimentación se dejó como variable fija el floculante aniónico con una concentración de 2 mg/L, debido a que esta dosis se encuentra como la mejor alternativa en diferentes bibliografías⁹⁵ y se utilizaron los

⁹⁵ ARIZA ALARCÓN, Brendy Zulay. Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. Bonny LTDA. Proyecto de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación Universidad de

2 coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico variando sus dosificaciones, para encontrar los coagulantes más adecuados, arrojando los resultados que se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9. Turbidez - dosificación de coagulante con floculante aniónico.

Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbiedad NTU
Sulfato de Aluminio	50	16,38
	100	14,72
	150	18,31
Cloruro férrico	50	25,24
	100	15,96
	150	13,48

Fuente: elaboración propia

En la tabla 9 se puede observar la variación que tiene la turbidez al momento de cambiar la dosificación del coagulante, en intervalos de 50 mg/L, que van desde 50 mg/L hasta 150 mg/L, en cada uno de los floculantes, obteniendo que los mejores resultados son 100 mg/L en el sulfato de aluminio y 150 mg/L en el cloruro férrico se procede a realizar el segundo test de jarras.

3.5.2 Test de jarras 2. En esta segunda experimentación se dejó como variable fija el floculante catiónico con una concentración de 2 mg/L, debido a que esta dosis se encuentra como la mejor alternativa en diferentes bibliografías⁹⁶ y se utilizaron los 2 coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico variando sus dosificaciones, para encontrar los coagulantes más adecuados, arrojando los resultados que se pueden observar en la tabla 10.

América. 2017. P 150. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6258/1/6091173-2017-1-IQ.pdf>
⁹⁶ Ibid., p 58

Tabla 10. Turbidez - dosificación de coagulante con floculante catiónico

Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbiedad NTU
Sulfato de Aluminio	50	24,78
	100	28,69
	150	32,04
Cloruro férrico	50	48,85
	100	40
	150	26,51

Fuente: elaboración propia

En la tabla 10 se puede observar la variación que tiene la turbidez al momento de cambiar la dosificación del coagulante, en intervalos de 50 mg/L, que van desde 50 mg/L hasta 150 mg/L, en cada uno de los floculantes, que los mejores resultados son 50 mg/L en el sulfato de aluminio y 150 mg/L en el cloruro férrico, se procede a realizar el tercer test de jarras.

3.5.3 Test de jarras 3. En este test de jarras se busca saber cuál es el mejor floculante, y su debida dosificación, para el conocimiento de este se toman en cuenta las dos tablas anteriores con base en el resultado que tiene menor turbidez en cada uno de los floculantes se varia. Para encontrar cuál es la mejor combinación y dosificación, tomando en este test de jarras sulfato de aluminio, con una concentración de 50 mg/L con ayuda del floculante catiónico variando sus dosificaciones y por otro lado cloruro férrico con una concentración de 150 mg/L y con ayuda del floculante aniónico variando sus dosificaciones, obteniendo los resultados observados en la tabla 11.

Tabla 11. Turbidez - dosificación de floculante aniónico y catiónico con el coagulante seleccionado.

Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbiedad NTU
Aniónico	1	36,9
	2	13,48
	3	21,52
Catiónico	1	32,04
	2	24,78
	3	19,75

Fuente: elaboración propia

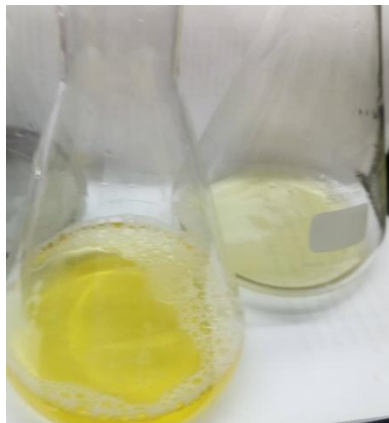
En la tabla 11 se puede observar la variación que tiene la turbidez al momento de cambiar la dosificación del coagulante, en intervalos de 1 mg/L, que van desde 1

mg/L hasta 3 mg/L⁹⁷, en cada uno de los floculantes, obteniendo como resultado final que la mejor combinación se da entre cloruro férrico a 150mg/L y el floculante aniónico, pues es la menor turbiedad conseguida en la experimentación. Una vez obtenido este resultado se procede a realizar el cuarto y último test de jarras, donde se le agregan los agentes oxidantes y se realiza la neutralización del pH

3.5.4 Test de jarras 4. En la realización de este procedimiento se agrega primero el agente oxidante, para verificar cuál de los dos reactivos seleccionados es más efectivo para el procedimiento.

Se agregaron 2 mL/L de peróxido de hidrógeno en donde el pH del agua fue de 7.16 y 8mL/L de hipoclorito de sodio, donde el pH del agua fue de 7.12. Una vez medido el pH se procede a continuar con el proceso de coagulación y floculación, en el que se quiere eliminar el color; sin embargo la prueba que tenía el hipoclorito de sodio al entrar en contacto con el cloruro férrico, presenta un cambio de color a un amarillo intenso, que no es eliminado por el proceso tal como se puede observar en la imagen, donde es comparado el tratamiento final utilizando el hidróxido de hidrógeno y el tratamiento final utilizando el hipoclorito de sodio.

Ilustración 9. Comparación visual del tratamiento final utilizando el hidróxido de hidrogeno y el tratamiento final utilizando el hipoclorito de sodio



Fuente: elaboración propia

⁹⁷ LIZARAZO ESTUPIÑÁN, Paula Andrea y VILLOTA SANTAMARIA, Katya Vanessa. Desarrollo de una propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico realizado en una empresa metalmeccánica. P 57

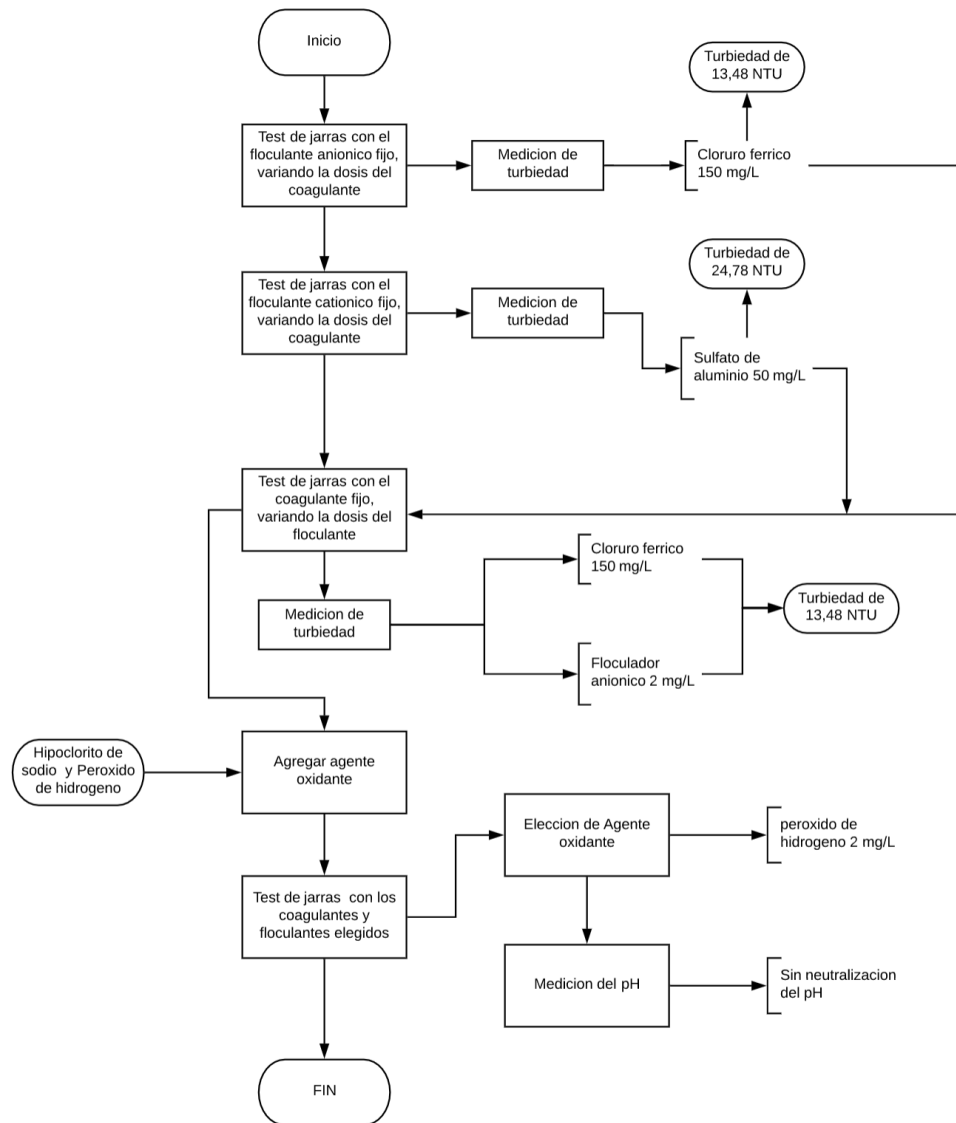
Tabla 12.Reactivos y dosis seleccionadas

Reactivo	Dosis	
Cloruro férrico	150 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	pH: 6,52
Floculante aniónico	2 $\frac{\text{ml}}{\text{L}}$	Turbiedad: 14,21
Peróxido de hidrogeno	2 $\frac{\text{m}}{\text{L}}$	Color: 436-0,085
		525-0,059
		620-0,121

Fuente: elaboración propia

Al observar la variación del color en los dos procedimientos se procede a descartar el hipoclorito de sodio, tomando como único agente oxidante el peróxido de hidrógeno, una vez realizado todo el procedimiento se procede a tomar el pH nuevamente del agua y se encuentra que el valor de pH era de 6,96, que entra en los valores permitidos por la Resolución 0631 de 2015, razón por la cual no hubo necesidad de realizar la neutralización del pH. El proceso que se realizó para la selección de los coagulantes, floculantes y el agente oxidante se puede observar en el diagrama 4.

Diagrama 4. Desarrollo de alternativas seleccionadas en el laboratorio



Fuente: elaboración propia

3.6 RECOPIACIÓN

En este capítulo se pudieron observar los métodos y reactivos elegidos, para la neutralización de los parámetros que no cumplen con la Resolución 0631 de 2015. Las técnicas elegidos para el tratamiento de las aguas residuales son: oxidación por

medio de la adición de un agente oxidante, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y neutralización del pH, por medio de un ácido fuerte.

Una vez los métodos estaban elegidos, se procedió a encontrar los reactivos utilizados en cada uno de estos procesos, haciendo una elección por la bibliografía ya mencionada, para posteriormente encontrar el más efectivo en la experimentación realizada en el laboratorio; determinando así que los reactivos finales, para el diseño de la planta son: peróxido de hidrogeno, cloruro férrico y floculante aniónico. En esta parte experimental se elimina uno de los procesos, la neutralización del pH, por medio de un ácido fuerte, debido a que una vez realizados los procesos el pH se regula, haciendo que este se pueda descartar

Ya realizada la experimentación se procede a evaluar el agua tratada en el laboratorio ANALQUIM S.A. y en la Fundación Universidad de América, obteniendo los valores que se observan en la tabla 13, mostrando de esta manera que el tratamiento completo que se realizó fue efectivo, debido al cumplimiento que se le da a la norma.

Tabla 13. Resultados del tratamiento Analquim S.A.

Parámetro	Unidades	Valor
DQO	mg/L O ₂	90
pH	Unidades de pH	6,96
SST	mg/L	18
COLOR	m ⁻¹	436-0,085
		525-0,059
		620-0,121

Fuente: elaboración propia basado en resultados de laboratorios ANALQUIM S.A. y Laboratorios FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Teniendo en cuenta la tabla anterior y la Resolución 0631 de 2015, se puede observar que los parámetros que se trataron, cumplen de forma adecuada con la misma, de manera tal que se puede concluir el proceso fue efectivo y que se puede aplicar en la empresa para el tratamiento del agua residual.

4. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Para las especificaciones del diseño del sistema de tratamiento de agua realizó el análisis de los equipos necesarios, como lo son el coagulante, floculante, tanques de homogenización y sedimentación química, teniendo en cuenta las capacidades y efectividad que tiene el proceso, esto con el fin de obtener el como resultado un agua residual que este bajo los parámetros de la Resolución 0631 de 2015, con ayuda de los tratamientos y reactivos seleccionados.

El espacio que se tiene seleccionado para la implementación del sistema de tratamiento de agua es un segundo piso, por lo cual uno de los instrumentos más importantes será una bomba, que logre subir el agua al segundo piso, para iniciar su procedimiento de clarificación.

4.1 BOMBAS

Las bombas en un sistema de tratamiento de agua residual son primordiales, debido a que estas son las encargadas del transporte del líquido residual. La elección de este instrumento se debe realizar con detenimiento, debido a que una mala selección puede incurrir en gastos innecesarios, ya sea por mantenimiento frecuente o por el daño o deterioro prematuro de la máquina, esto llega a ocurrir cuando la bomba no seleccionada no tiene las especificaciones correctas para el tipo de agua que se maneja. Debido a lo explicado anteriormente el tipo de bomba no depende exclusivamente de las cantidades, también depende del tipo de agua que maneje.⁹⁸

El espacio disponible para la instalación del sistema de tratamiento del agua residual, se encuentra en un segundo piso, sin embargo, el agua residual al salir se encuentra ubicado en el primer piso, razón por la cual una bomba es necesaria.

Para la selección de la bomba utilizada, el primer factor a tener en cuenta es el diámetro de la tubería. Para esta elección es primordial el caudal que se utiliza, que en este caso es de 100 lpm, con base en este dato se verifica cual es el diámetro de la tubería⁹⁹, para este flujo se debe tener un diámetro de 1 1/2". Una vez obtenido

⁹⁸ RUSSEL, Babcock. Instrumentación y control en el tratamiento de aguas potables, industriales y de desecho. 1ª edición. Limusa wiley. 118 p. 9789681804527

⁹⁹ Foro en internet. ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA. Calculo de la red de distribución de Bie's. [Consulta: 10 de mayo de 2019]. Disponible en:
http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4917/fichero/PFC_JUAN_S_AGUILERA_BLANCO%25FTOMO+I%252FDOCUMENTO+1_MEMORIA+DESCRIPTIVA+Y+ANEXOS%252FANEXOS%252F1.2_ANEXO+B+CALCULO+BIE.pdf

este diámetro se utiliza para el conocimiento de las pérdidas primarias y secundarias del trayecto.

4.1.1 Bomba centrífuga tipo ANSI. Con el fin de que el agua residual llegue del primer piso al tanque receptor debe recorrer una altura de 3,15 metros, que es la elevación que tiene el piso inferior. Para esto debe instalarse una bomba capaz de impulsar agua, que además pueda llevar agua residual, sin ser afectada los sólidos y reactivos presentes en la misma.

La bomba centrífuga tipo ANSI es una bomba que es apta para aguas contaminadas como la que se trabaja en este caso, esto se da debido a que cuenta con los materiales adecuados para transportar aguas residuales con sólidos e incluso partículas abrasivas. Para conocer las especificaciones se hace uso de la ecuación general de la energía¹⁰⁰.

Ecuación 1. Ecuación general de la energía.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_B + h_T - h_P = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

De la ecuación anterior se cancelan los términos que tienden a cero o son cero. Para obtener la ecuación 2 y de esta manera se hallan los términos faltantes.

Ecuación 2. pérdidas totales

$$h_B = z_2 - h_P$$

Donde el h_P resulta siendo la sumatoria de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias. En el caso de las pérdidas primarias se pueden hallar por medio de las ecuaciones relacionadas o en una tabla que se encuentra en términos del caudal y el material de la tubería, en el libro de Crane, flujo de fluidos. Sin embargo, en este caso se hallarán por medio de los siguientes cálculos, para obtener un menor margen de error.

¹⁰⁰ ROBERT L, Mott. Mecánica de fluidos aplicada. 3ª edición. Prentice – hall Hispanoamericana S.A. 567 p. 0-02-384231-8

Ecuación 3. Número de Reynolds

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Cálculo 1. Número de Reynolds

$$124913,69 = \frac{2,93 \frac{m}{s} * 0,0281 m * 997 \frac{kg}{m^3}}{0,000891 \frac{kg}{m * s}}$$

Una vez se tiene el número de Reynolds, se puede ver que este flujo es turbulento, por lo cual se puede elegir la ecuación correspondiente para encontrar λ , que a su vez servirá para encontrar las pérdidas primarias. Tal como se ve en la ecuación 4.

Ecuación 4. Flujo turbulento para el coeficiente de fricción

$$\frac{0,25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3,7 * \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \lambda$$

Cálculo 2. Coeficiente de fricción.

$$\frac{0,25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3,7 * (1333)} + \frac{5,74}{124913,69^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,02095$$

Después de tener los datos necesarios para encontrar las pérdidas primarias se reemplazan los datos en la ecuación 5.

Ecuación 5. pérdidas primarias

$$h_{pp} = \lambda * \frac{1}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Cálculo 3. Pérdidas primarias

$$1,889m = 0,02095 * \frac{7,85m}{0,0381m} * \frac{\left(2,93 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

En el momento en el que se tienen las pérdidas primarias se procede a hallar las secundarias, para de esta manera obtener el total de las pérdidas que se tienen, en

donde los datos que se toman en cuenta son dos codos de 90° y una válvula de compuerta.

Ecuación 6. pérdidas secundarias

$$h_{ps} = K * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 7. Coeficiente de pérdidas

$$K = \sum \left(\frac{L_e}{D} * ft \right)$$

Cálculo 4. Coeficiente de pérdidas

$$1,428 = (2 * 30 * 0,021) + (8 * 0,021)$$

Cálculo 5. Pérdidas secundarias

$$0,6248 \text{ m} = 1,428 * \frac{\left(2,93 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Conociendo las pérdidas que existen a lo largo del proceso se realiza el cálculo de la ecuación 2 para que por medio de la gráfica, se puedan encontrar las especificaciones que debe tener la bomba.

Cálculo 6. Pérdidas totales

$$6,467 \text{ m} = (0,6248\text{m} + 1,889\text{m}) + 3,15\text{m}$$

Teniendo en cuenta los datos anteriores, por medio de una gráfica suministrada por la empresa BARNES de Colombia S.A. se realiza la elección de las bombas y de esta manera se conocen las características que la bomba debe tener, tal como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Características de la bomba sumergible.

Bomba Centrifuga tipo ANSI	
Modelo	3062 AA6
Caballos de fuerza	1/3
Φ Succ.	1-1/2"
Φ Desc.	1"

Fuente: Foro de internet. Easy bomba centrifuga [Consulta 20 de febrero Fuente: Foro de internet. Issu. Catalogo técnico BARNER de Colombia S.A. [Consulta 20 de febrero 2019] Disponible en: https://issuu.com/edarvico/docs/catalogo_de_barnes_para_edarvico_2010

4.1.2 Bomba centrifuga tipo caracol. La bomba centrifuga tipo caracol, es una bomba que es muy utilizada para el agua clarificada por fácil instalación, operación y resistencia

Para la elección de esta bomba se realizan nuevamente los cálculos partiendo de la ecuación 1, para dar paso a la cancelación de términos, dejando que los valores a encontrar se resuman a 1 dato, tal como se ve en la ecuación 8

Ecuación 8. perdidas de la bomba 2

$$h_B = h_p$$

El caudal en el proceso de tratamiento de agua residual se mantiene constante, por lo que el diámetro de la tubería, la velocidad, el número de Reynols y el coeficiente de fricción permanecen invariables; dando paso directamente al cálculo 7, por medio de la ecuación 5, ya utilizada en el proceso de selección anterior.

Cálculo 7. Perdidas primarias

$$0,842\text{m} = 0,02095 * \frac{3,5\text{m}}{0,0381\text{m}} * \frac{(2,93 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Igualmente se realizan un lo cálculos 8 y 9 con ayuda de las ecuaciones 7 y 6 respectivamente, para de esta manera hallar las perdidas secundarias, dadas en este caso por los codos y finalmente hallar las pérdidas totales

Cálculo 8. Coeficiente de perdidas

$$1,89 = (3 * 30 * 0,021)$$

Cálculo 9. perdidas secundarias

$$0,827 \text{ m} : 1,89 * \frac{(2,93 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Una vez se tienen las perdidas primarias y secundarias del proceso estas son sumadas para hallar las perdidas totales

Cálculo 10. pérdidas totales

$$1,669\text{m} = 0,827\text{m} + 0,842\text{m}$$

Teniendo en cuenta las pérdidas durante el proceso que se efectúa en la segunda bomba, se realiza la elección de la misma que en este caso es una bomba centrífuga tipo caracol, por medio de la tabla. Mostrando que las especificaciones que esta debe tener, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Características bomba centrífuga.

Bomba centrífuga tipo caracol	
Modelo	EC-2
Caballos de fuerza	1/4
Voltaje	115
AMP	7.8
Fases	1
Φ Succ.	1"
Φ Desc.	1"

Fuente: foro de internet. Easy bomba centrífuga [Consulta 20 de febrero Fuente: Foro de internet. Issu. Catalogo técnico BARNER de Colombia S.A. [Consulta 20 de febrero 2019] Disponible en: https://issuu.com/edarvico/docs/catalogo_de_barnes_para_edarvico_2010

4.2 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Teniendo en cuenta los procesos que se van a realizar para el tratamiento del agua residual de la empresa se propone un reactor BATCH, que opere con una cantidad específica, una vez cumpla cierta cantidad de agua.

En el dimensionamiento de la planta se deben tener en cuenta tres tipos de tanques, que serán los encargados de homogenizar, clarificar y filtrar, en ese orden

- **Tanque recolector:** Este tanque es el encargado de recibir el agua residual, después de pasar por la escoba recolectora de sólidos, hasta llegar a un nivel determinado, en el que pueda dar paso al siguiente tanque, en el que se efectuarán los tratamientos químicos.
- **Tanque sedimentador con agitación:** Este tanque está encargado de recibir el agua que viene del equipo recolector, para posteriormente agregar el agente oxidante, el coagulador y el floculador, dejando que este se agite como en el test de jarras, para a continuación detener la agitación dejar sedimentar los flocs formados, Es decir que se necesita de un tanque sedimentador con agitador.
- **filtrador:** Este tanque está encargado de recibir el agua que viene del equipo sedimentador, que previamente ya ha retirado los sólidos sedimentables, para proseguir con la eliminación de los retirar en el paso previo.

El diseño que se propone para el tratamiento del agua residual es un procedimiento que se puede realizar de manera eficiente, pues el tiempo de duración es menor al tiempo de producción de los pantalones.

4.2.1 Tanque recolector. Debido a que la cantidad de agua utilizada no es igual en todos los casos, como se puede observar en el numeral 2.3, pues depende de la cantidad de tela a tratar, el proceso que se quiere realizar, se propone que exista un tanque receptor, encargado del almacenamiento del agua hasta llegar a cierto nivel y una vez este sea cumplido pueda pasar al tanque sedimentador con agitación y seguir con su tratamiento.

Sin embargo, como es conocido por la bibliografía, el cálculo del volumen del tanque debe tener un margen de error del 15 %, con el fin de cumplir con los estándares, y la seguridad de la empresa, evitando derrames en caso que la empresa decida pasar su nivel máximo de producción, haciendo que la cantidad de aguas residuales sea superior a la ya conocida.¹⁰¹

El sistema de tratamiento de agua residual se realizará cada 3,6 m³, en consideración a que el volumen máximo de agua utilizado en el proceso productivo es de este valor, tal como se muestra en la sección 2.2. Según la demanda del producto, el tratamiento del agua se puede realizar de 1 a 3 veces al día.

¹⁰¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. 3ª. Ed. 1248 p. 9588060133.

Para conocer el volumen necesario del tanque recolector se pone en práctica que el volumen debe tener un margen de error de por lo menos el 15%. Tal como se muestra en la ecuación 9.

Ecuación 9. Volumen tanque receptor

$$\text{Volumen final} = 1.15 * \text{volumen max del proceso}$$

Cálculo 11. Volumen tanque receptor

$$4,14\text{m}^3 = 1,15 * 3,6\text{m}^3$$

Actualmente el mercado no cuenta con contenedores de 4,14 m³, razón por la cual la empresa tendría que optar por un tanque con capacidad de 4 m³ o 5 m³, sin embargo el tanque con capacidad de 5 m³ se puede encontrar con mayor facilidad en el mercado, además de tener un mayor porcentaje como margen de error como se observa en el cálculo 12, es por esto que se elige la opción del tanque de 5 m³ obteniendo un porcentaje de error del 38,89%.

Ecuación 10: Porcentaje margen de error

$$\frac{\text{Vol tanaue usado} - \text{Vol necesitado}}{\text{Vol necesitado}} * 100 = \% \text{ de margen de error}$$

Cálculo 12: Porcentaje margen de error

$$\frac{5 \text{ m}^3 - 3,6 \text{ m}^3}{3,6 \text{ m}^3} * 100 = 38,89 \%$$

Se realizó una cotización de un tanque multiuso con doble capa, debido a su facilidad de limpieza y a que previene la adherencia de cualquier tipo de contaminante, haciendo que el agua a tratar no vaya a cambiar su composición, para así obtener un tratamiento efectivo. Con el volumen conocido se procede a mirar la altura estándar que este tiene y con esto hallar el diámetro que se debe manejar por medio de la ecuación 11.

Ecuación 11. Diámetro tanque recolector

$$d = 2 * \sqrt{\frac{\text{volumen del tanque}}{\pi * h}}$$

Cálculo 13. Diámetro tanque recolector

$$d = 2 * \sqrt{\frac{5 \text{ m}^3}{\pi * 1.74 \text{ m}}} = 1.9128 \text{ m}$$

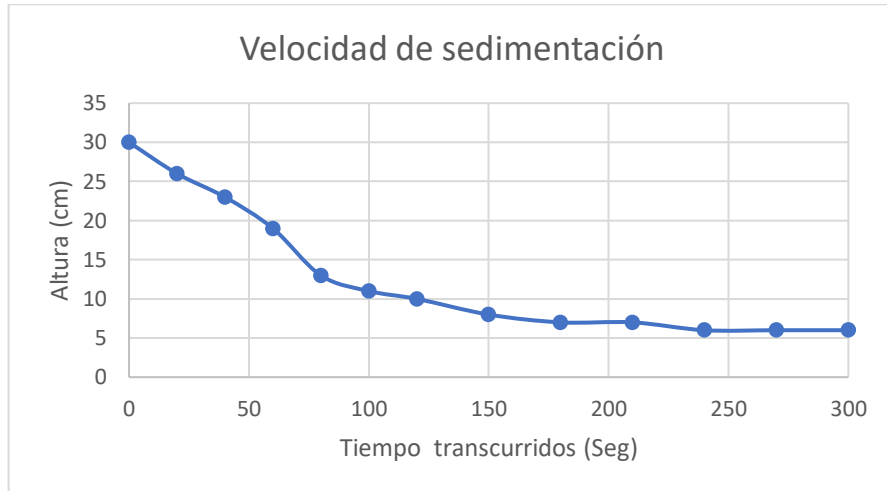
Una vez realizado este cálculo se tienen las dimensiones que debe tener el tanque receptor, dando un diámetro de 1,9128 m, una altura de 1,74m y un volumen de 5 m³.

4.2.2 Tanque sedimentador con agitación. El tanque sedimentador con agitación es el encargado de recibir el agua que proviene del tanque receptor, para la realización de los procesos por medio de la adición del coagulante, el floculante y el agente oxidante, este tanque además de tener el volumen necesario para el agua, también debe contar con el espacio necesario para la realización de las dosificaciones y debe tener un diseño cónico, con un ángulo de 45°, de acuerdo con el “libro tratamiento de aguas residuales teoría y principio de diseño”, para de esta manera obtener una correcta sedimentación.¹⁰²

Para el diseño de este tanque, el tiempo de sedimentación es un factor muy importante, razón por la cual se realiza un ensayo de velocidad de sedimentación, en el que se mide la distancia del sedimento vs el tiempo, obteniendo la curva de sedimentación que se observa en la gráfica 2.

¹⁰² Ibid., p 70

Gráfica 2. Velocidad de sedimentación.



Fuente: elaboración propia

Donde según los datos tomados el tiempo que toma la sedimentación es de 14 minutos, pues una vez llega a ese tiempo se estabiliza, dando paso a la siguiente ecuación para hallar la velocidad de sedimentación.

Ecuación 12. Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{H_0 - H_1}{t_1}$$

Cálculo 14. Velocidad de sedimentación

$$0,765 \frac{\text{m}}{\text{h}} = \frac{0,030 \text{ m} - 0,013\text{m}}{0,0222\text{h}}$$

Con el cálculo de la velocidad de sedimentación se procede a hallar el área de sedimentación, que se refiere a la parte final del tanque cónico, esta área es hallada por medio de la altura que ocupa el agua en el tanque y el tiempo que esta toma en sedimentar y el caudal de entrada al tanque que es el caudal con el que la bomba a utilizar trabaja, tal como se muestra en la ecuación 13.

Ecuación 13. Área superficial de espesamiento

$$A_e = \frac{Q * t_u}{H_0}$$

Cálculo 15. Área superficial de espesamiento

$$0,7798 \text{ m}^2 = \frac{0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 2,2745 \text{ h}}{1,74 \text{ m}}$$

Una vez se tiene el área superficial de espesamiento se procede a calcular la tasa de clarificación para el sedimentador químico, tal como se muestra en el cálculo 16, que es útil, para hallar el área requerida para lograr una clarificación efectiva, es decir un volumen de agua tratada en un determinado tiempo.¹⁰³

Ecuación 14. Flujo de la clarificación.

$$Q_c = \frac{Q * (H_0 - H_s)}{H_0}$$

Cálculo 16. Flujo de la clarificación.

$$0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * (1,75\text{m} - 0,35\text{m})}{1,75\text{m}}$$

Teniendo la velocidad de sedimentación y el flujo de clarificación se puede proceder a hallar el área que se necesita para el tratamiento del agua residual, con la ecuación 15, dando como resultado.

¹⁰³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. p 70

Ecuación 15. Área superficial de sedimentación

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

Cálculo 17. Área superficial de sedimentación

$$0,6273 \text{ m}^2 = \frac{0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,765 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

Después obtenida el área superficial de sedimentación y el área superficial de espesamiento se procede a definir las características de la sección cónica del tanque, con el fin de poder dimensionar la componente cónico y cilíndrico del tanque, encontrando las variables de la ecuación 16.¹⁰⁴

Ecuación 16. Volumen segmento cónico del tanque sedimentador con agitación

$$\text{Volumen segmento cónico} = \frac{\pi * r^3}{3}$$

Actualmente el radio no es conocido, por lo que se procede a hallarlo, por medio de la ecuación 17, dando un resultado de 1,03m, como se puede observar en el cálculo 18.

Ecuación 17. Radio sección cónica. del tanque sedimentador con agitación

$$r = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

¹⁰⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. P 70.

Cálculo 18. Radio sección cónica. del tanque sedimentador con agitación

$$0,9964 \text{ m} = \sqrt{\frac{4 * 0,7798\text{m}^2}{\pi}}$$

Con el radio ya conocido, este valor se puede remplazar en la ecuación 16, para obtener un volumen de 1,1443 m³, que se muestra en el cálculo 19, con el que se tienen los cálculos completos para esta sección.

Cálculo 19. Volumen segmento cónico del tanque sedimentador con agitación

$$1,0359\text{m}^3 = \frac{\pi * (0,9964\text{m})^3}{3}$$

Ya que es conocido el volumen de la sección cónica se procede a conocer la altura que debe tener, tal como se muestra en el cálculo 20, para posteriormente conocer la altura total del tanque sedimentador con agitación.

Ecuación 18. Altura sección cónica del tanque sedimentador con agitación

$$h = 3 * \frac{V_{\text{cono}}}{\pi * r^2}$$

Cálculo 20. Altura sección cónica del tanque sedimentador con agitación

$$0,9963 \text{ m} = \frac{3 * 1,0359\text{m}^3}{\pi * (0,9964 \text{ m})^2}$$

Una vez se conoce el volumen de la sección cónica y el volumen que debe tener el tanque se procede a verificar la diferencia entre estos dos, para de esta manera conocer el volumen de la sección cilíndrica y dar paso al dimensionamiento de este segmento. ¹⁰⁵

¹⁰⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. P 70.

Ecuación 19. Volumen sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación

$$V_{cilindro} = V_{tanque} - V_{cono}$$

Cálculo 21: Volumen sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación

$$3,1041\text{m}^3 = 4,14\text{m}^3 - 1,0359\text{m}^3$$

Obtenido el volumen de la sección cilíndrica se procede a calcular la altura por medio de la ecuación 20, donde se encuentra que la altura final de esta sección es de 0,9931 m, tal como se muestra en el cálculo 22.

Ecuación 20. Altura sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación

$$h = \frac{V_{cilindro}}{\pi * r^2}$$

Cálculo 22. Altura sección cilíndrica del tanque sedimentador con agitación

$$0,9952 \text{ m} = \frac{3,1041\text{m}^3}{\pi * (0,9964 \text{ m})^2}$$

Finalmente, para obtener una altura del tanque de sedimentación con agitación de 1,7431 m, como se muestra en el cálculo 23, al realizar la suma entre la altura del segmento cónico y del segmento cilíndrico, como se observa en la ecuación 21.

Ecuación 21. Altura final del tanque sedimentador con agitación

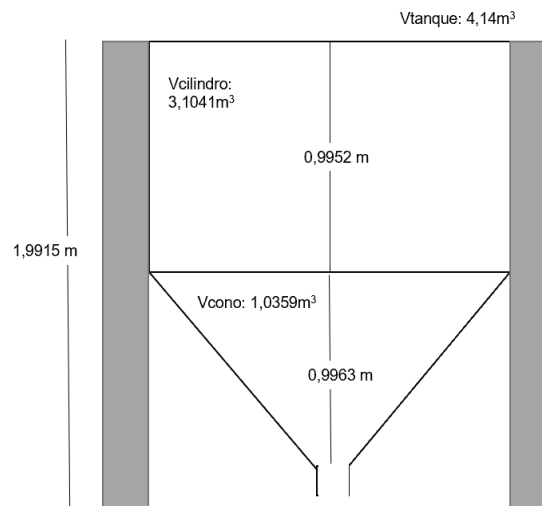
$$h_{tanque} = h_{cilindro} + h_{cono}$$

Cálculo 23. Altura final del tanque sedimentador con agitación

$$1,9915\text{m} = 0,9952\text{m} + 0,9963\text{m}$$

Con las dimensiones del tanque obtenido se puede realizar un diseño como el que se observa en la ilustración 10

Ilustración 10. Diseño de tanque sedimentador con agitación.

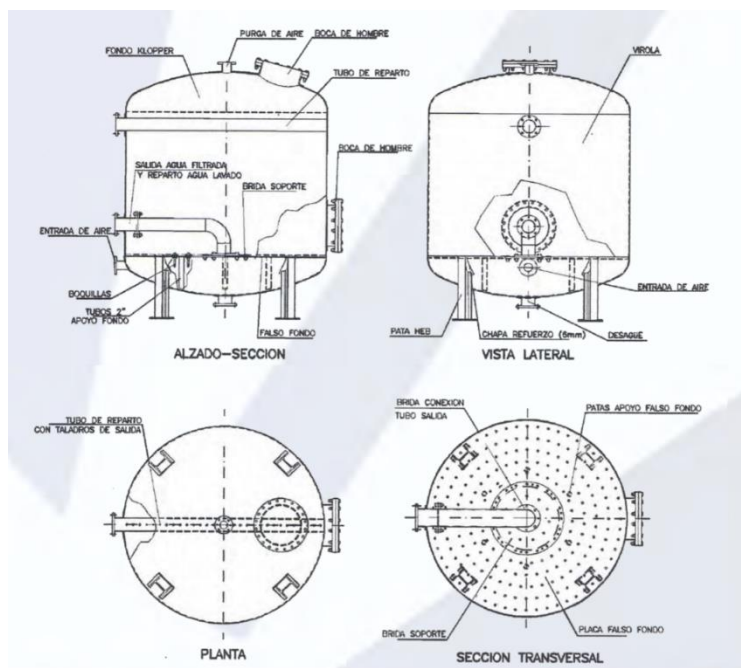


Fuente: elaboración propia

4.2.3 Filtrador: El filtro de arena se utilizará para la remoción de los sólidos suspendidos totales, que se encuentren en el agua clarificada, en este tipo de filtración existen tres procesos internos: Filtrado, lavado y aclarado; donde se introduce el agua residual a tratar, de modo que se retire el aire y el agua es bombeada hasta llegar a un filtro, seguido por inyectar aire hasta el filtro, para que el agua se clarifique y finalmente por medio de las bombas se pasa nuevamente por un filtro.¹⁰⁶ Este procedimiento se lleva a cabo con un equipo especializado como lo muestra la ilustración 11

¹⁰⁶ HIDROMETALICA. Filtros de arena. [Consulta: 21 de febrero 2019]. Disponible en: <https://hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf>

Ilustración 11. Filtro de arena



Fuente: HIDROMETALICA. FILTROS DE ARENA. [Consulta: 21 de febrero 2019]. Disponible en: <https://hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf>

Se eligió comprar un filtro de arena y no diseñarlo, por aspectos económicos, para posteriormente verificar los tipos de filtros existentes, donde se procede a analizar el catálogo que maneja hidrometálica, una empresa dedicada al tratamiento de aguas potables, residuales e industriales y de la venta de equipos para los mismos, para de esta manera obtener el filtro con las especificaciones

4.3 DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS

En el diseño del sistema de tratamiento un paso fundamental es el conocimiento de los reactivos y la dosificación del mismo, estos parámetros base fueron encontrados por medio de un test de jarras, realizado en el laboratorio, en el que se probaron diferentes coagulantes, floculantes y agentes oxidantes, para la selección de los más efectivos, tal como se muestra en el numeral 3.5.

Conociendo ya que el volumen a tratar es de 3,6 m³ y teniendo como referencias los valores obtenidos en el laboratorio, tanto en concentración de los reactivos como en volumen de agua tratada, se procede a verificar la cantidad necesaria de cada uno de los reactivos

Para la determinación del coagulante se conoce que el volumen de agua residual utilizado en el test de jarras fue de 500 mL y para este volumen se requiere una concentración de 150 mg/L de cloruro férrico. Con estas especificaciones se procede a realizar el cálculo de la concentración necesaria para la tratabilidad del agua residual que existe en el tanque.

Cálculo 24. Dosificación de coagulante en el tanque sedimentador con agitación

$$150 \frac{\text{mg}}{\text{L}_{\text{ARI}}} * \frac{1 \text{ g}}{1000\text{mg}} * 3600\text{L}_{\text{ARI}} = 540 \text{ g de coagulante}$$

Una vez se tiene la cantidad de coagulante que se le debe agregar al agua residual se procede a hallar la concentración de floculante, tal como se muestra en el cálculo 25 Utilizando los datos seleccionados en el tercer test de jarras.

Cálculo 25. Dosificación de floculante en el tanque sedimentador con agitación

$$2 \frac{\text{mL}}{\text{L}_{\text{ARI}}} * \frac{1 \text{ L}}{1000\text{mL}} * 3600\text{L}_{\text{ARI}} = 7,2 \text{ L de floculante}$$

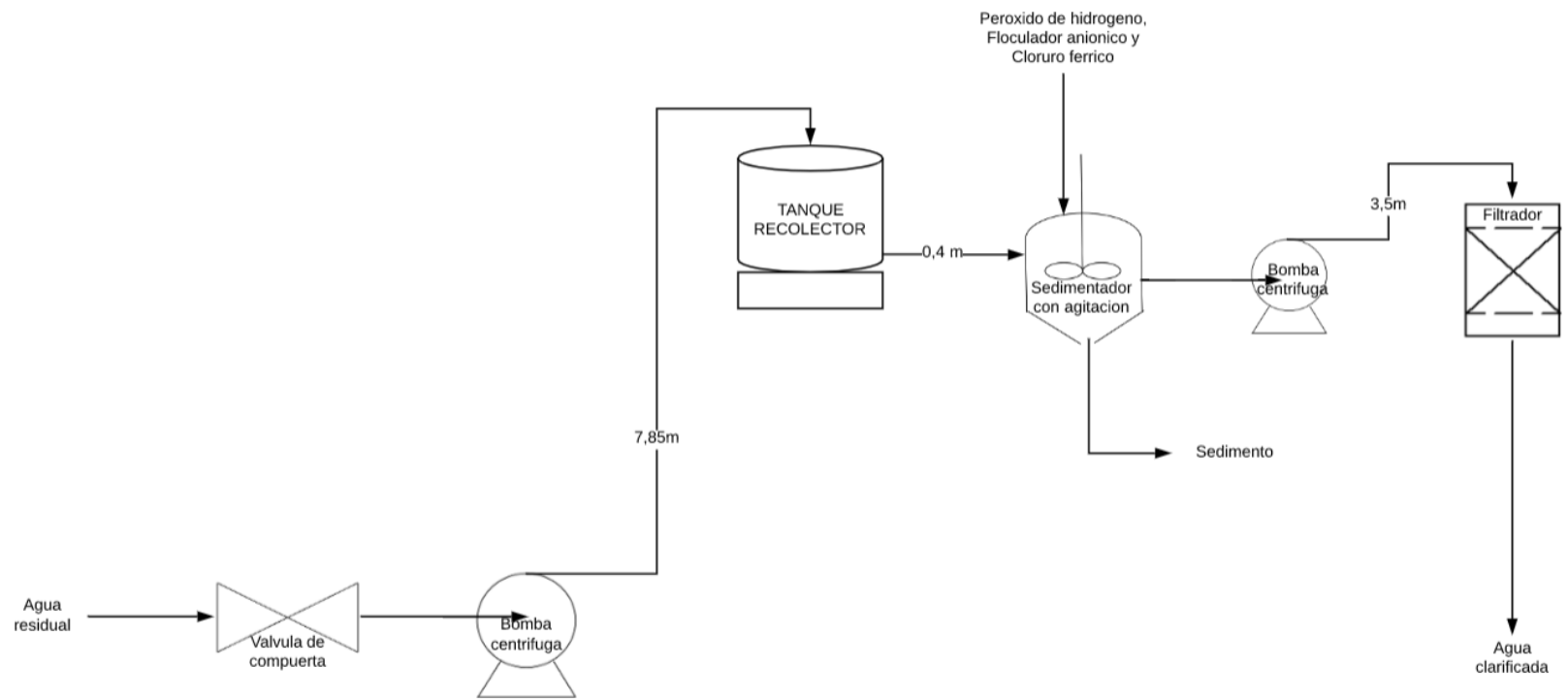
Y finalmente se realiza el mismo procedimiento para conocer la cantidad de peróxido de hidrogeno que se debe agregar para la neutralización de los parámetros en el tanque sedimentador con agitación.

Cálculo 26. Dosificación de coagulante en el tanque sedimentador con agitación

$$2 \frac{\text{mL}}{\text{L}_{\text{ARI}}} * \frac{1 \text{ L}}{1000\text{mL}} * 3600\text{L}_{\text{ARI}} = 7,2 \text{ L de agente oxidante}$$

4.4 DISEÑO FINAL

Diagrama 5 Diseño final



Fuente: elaboración propia

La producción de los pantalones se realiza en un primer piso, sin embargo el área asignada por la empresa para la implementación del sistema de tratamiento del agua residual se encuentra en el segundo piso, razón por la cual el primer equipo que se debe elegir es una bomba, que sea capaz de subir el agua residual, eligiendo una bomba sumergible, que tiene capacidad de subir el agua residual, sin presentar daños por la contaminación del agua, debido al cierre hermético del motor. Esta bomba se encarga de transportar el agua al tanque recolector, que es el encargado de recibir el agua residual, hasta que este cumpla un volumen de 3,6 m³, donde por medio de un sensor de caudal abre una compuerta para transferir el agua residual al tanque sedimentador con agitación, que se encarga de realizar el proceso de oxidación, coagulación, floculación y sedimentación.

Terminado estos procesos el agua tratada se lleva por medio de una bomba centrífuga, al filtrador para la eliminación de los residuos sólidos suspendidos faltantes, dejando el agua residual lista para el vertimiento, que llega nuevamente al primer piso medio de la gravedad, y de esta manera dar cumplimiento a la normatividad

5. COSTOS DEL PROYECTO

Actualmente la empresa no presenta un sistema adecuado lo cual se debe implementar para evitar multas, sanciones o suspensiones legales que impacten directamente a los estados financieros de la empresa o incluso a su cierre parcial. LEY 1333 DE 2009.¹⁰⁷

Artículo 40°. Sanciones. Las sanciones señaladas en este artículo se impondrán como principales o accesorias al responsable de la infracción ambiental. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las corporaciones autónomas regionales, las de desarrollo sostenible, las unidades ambientales de los grandes centros urbanos a los que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, los establecimientos públicos que trata el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales impondrán al infractor de las normas ambientales, de acuerdo con la gravedad de la infracción mediante resolución motivada, alguna o algunas de las siguientes sanciones:

- Multas diarias hasta por cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.
- Cierre temporal o definitivo del establecimiento, Edificación o servicio en caso de encontrar reincidencia.
- Revocatoria o caducidad de licencia ambiental autorización, concesión, permiso o registro.
- Demolición de obra a costa del infractor.
- Trabajo comunitario según condiciones establecidas por la autoridad ambiental.

5.1 CÁLCULO DE LA POSIBLE MULTA

En caso que la empresa no comience con buenas prácticas de procesamiento de aguas residuales puede incurrir en malas prácticas por lo cual sería multada bajo Resolución 2086 de 2010. Para el pago de la multa la Resolución toma los siguientes conceptos para liquidar:

Ecuación 22. Multa resolución 2086 del 2016

$$\text{Multa} = B + [(a * i) * (1 + A) + Ca] * Cs$$

Donde:

- B: Beneficio ilícito
- a: Factor de temporalidad
- i: Grado de afectación ambiental
- A: Circunstancias agravantes y atenuantes

¹⁰⁷ Ministerio de ambiente. Ley 1333. 2009. P 21

- Ca: Costos asociados
- Cs: Capacidad socioeconómica del infractor

5.1.1 Cálculo del beneficio ilícito. Para calcular el beneficio ilícito la resolución expone una ecuación por la cual este puede ser calculado:

- Ingresos directos (y1)
- Costos evitados (y2)
- Ahorros de retraso (y3)
- Capacidad de detección de la conducta (p): para la capacidad de detección de la conducta se encuentran unos valores determinados, estos dependen si es baja, media o alta.
- Capacidad de detección baja: p=0.40
- Capacidad de detección media: p=0.45
- Capacidad de detección alta: p=0.50

Ecuación 23. Beneficio ilícito según la resolución 2086 de 2010.

$$B = \frac{y * (-p)}{p}$$

5.1.2 Grado de afectación ambiental. Para hallar este concepto se evalúan diferentes parámetros como la extensión, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad e intensidad, cada uno de estos son explicados en la Resolución 2086 de 2010, y al final por medio de una ecuación se evalúa el valor de importancia.

Obtenido el valor de importancia, se debe obtener la equivalencia de éste en unidades monetarias, para lo cual la resolución expone la siguiente ecuación.

Ecuación 24. Grado de afectación ambiental

$$i = (22,6 * SMLV) * importancia$$

5.1.3 Factor de temporalidad. Es el número de días en los cuales el ilícito, es decir que en este caso la empresa trabaja de lunes a sábado, cerrando la empresa las 2 primeras semanas de enero

Cálculo 27. Factor temporalidad

$$365 * \frac{\text{días} * 6 \text{ días semana}}{7 \text{ días semana}} = 312,85 \text{ días}$$

5.1.4 Agravantes. Son las diferentes circunstancias se encuentran tabuladas en la resolución y a cada una de estas circunstancias se le otorga un valor numérico.

5.1.5 Costos asociados. Corresponden a los gastos en los que debe incurrir la autoridad ambiental mientras se realiza el proceso sancionatorio.

5.1.6. Capacidad socioeconómica. Para poder calcular la Capacidad Socioeconómica del Infractor, se debe tener en cuenta la diferenciación entre personas naturales, personas jurídicas y entes territoriales

Tabla 16. Factor de capacidad socioeconómica

Tamaño de la empresa.	Factor de ponderación.
Micro empresa	0.25
Pequeña	0,5
Mediana	0,75
Grande	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. En: 25 de octubre 2010. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

Según el Decreto 2451 del 27 de diciembre de 2018 se fijó a partir del primero (1°) de enero de 2019 como Salario Mínimo Legal Mensual, la suma de OCHOCIENTOS VEINTIOCHO MIL CIENTO DIECISÉIS pesos (\$ 828.116,00).¹⁰⁸

Aviso: La empresa por motivos legales y de confidencialidad no permite divulgar su información financiera, por ello no es posible realizar el procedimiento, por lo cual se lleva a la máxima expresión cada uno de los factores y de esta manera aplicar la fórmula con los valores de \$828.116 por el valor diario que es \$ 24.843 para calcular la multa máxima:

Ecuación 25. Valor máximo de la multa

Multa maxima: Valor diario * 5000

¹⁰⁸ Foro de internet: SALARIO MÍNIMO COLOMBIA. Salario Mínimo Mensual 2019 en Colombia. [Consultado el 23 de febrero 2019]. Disponible en: <https://www.salariominimocolombia.net/>

Cálculo 28. Valor máximo de la multa

$$124'215.000 = 5.000 * 24.843$$

En calculo que se realizó, muestra que la multa que la empresa debería asumir por malos manejos de vertimientos de aguas residuales sería 124 millones 215 mil pesos, y en caso de continuar operando y vertiendo el agua de manera inadecuada podría terminar en el cierre de la empresa.

5.2 COSTOS DE INVERSIÓN

En el mercado podemos encontrar todos los elementos descritos anteriormente y también tienen libre acceso para compra en caso que se quiera montar la planta. Sin embargo, equipos como el tanque sedimentado con agitación por las características con las que cuenta debe ser hecho a medida.

Teniendo cada dispositivo, con sus respectivas especificaciones y precios se calcula la inversión total que se realiza en equipo.

Tabla 17. Costos equipos

Equipo	Precio \$
Bomba centrífuga tipo ANSI	1.550.000
Bomba centrífuga tipo caracol	320.000
Tanque doble capa en polietileno	398.000
Tanque sedimentador con agitación	13.300.000
Filtro de arena	1.500.000
Total	17.068.000

Fuente: elaboración propia

5.3 PERSONAL

Para el ensamblaje de los equipos se debe contratar un técnico y esta persona también puede encargarse el mantenimiento preventivo.

Se recomienda a esta persona hacerle un contrato con todas las prestaciones de ley y no por prestación de servicios ya que esta persona estaría expuesta a ciertos riesgos y en caso de accidente también hay un seguro para los equipos.

Según el mercado actual el salario de la persona encargada de estos trabajos se gana \$1.500.000¹⁰⁹ pesos en promedio más prestaciones, tal como lo muestra la tabla 18.

Tabla 18. Salario empleado

Concepto	Valor
Salario	\$1.500.000
Auxilio de transporte	\$0
Cesantías	\$125.000
Intereses sobre cesantías	\$15.000
Primas	\$125.000
Vacaciones	\$62.500
Pensiones (AFP)	\$180.000
Salud (EPS)	\$127.500
Riesgos Laborales (ARL)riesgo clase 3	\$36.540
Caja de compensación familiar	\$60.000
ICBF	\$45.000
SENA	\$30.000
TOTAL	\$2.306.540
TOTAL, CON EXONERACIÓN	\$2.104.040

Fuente: elaboración propia

Dando como el salario mensual por empleado de \$2'104.040, sin embargo, el valor que se debe tomar se realiza de forma anual, dando como resultado \$25'248.480 pesos, tal como lo muestra el cálculo 29

Cálculo 29. Salario anual de un empleado.

$$2'104.040 * 12 = 25'248.480$$

De la misma manera se debe realizar un mantenimiento preventivo a los equipos, según las recomendaciones, tal como se muestra en la tabla 19

¹⁰⁹ Foro de internet. ELEMPLERO. Técnico químico. [Consulta: 15 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.empleo.com/co/ofertas-empleo/?&trabajo=tecnico%20quimico>

Tabla 19. Mantenimiento de equipos

Equipos	Frecuencia de mantenimiento	Precio \$
Bombas	6 meses	420.000
Sedimentador con agitación	1 año	630.000
Tanque recolector	1 año	200.000
Filtrador	5 años	1`500.000

Fuente: elaboración propia

5.4 VALOR REACTIVOS

Teniendo en cuenta las dosificaciones y los precios cotizados se realiza el cálculo del costo que tiene el proceso, tal como lo muestra la tabla 20

Tabla 20. Costos de reactivos por proceso

Reactivo	Cantidad necesitada por proceso de 3,6 m3	Precio	Precio proceso
Floculante Aniónico	7,2 L	25.000 cop/L	180000 ¹¹⁰
Peróxido De Hidrogeno	7,2 L	30.000 cop/L	216000 ¹¹¹
sulfato De Aluminio Tipo A (coagulante)	540 g	5.000 cop/kg	2700 ¹¹²

Fuente: elaboración propia

5.5 FLUJO DE CAJA

Una vez obtenidos los resultados de los costos de cada una de las variables se realiza un flujo de caja, que evalúa el primer año en el que se implementaría el sistema de tratamiento de agua.

¹¹⁰ MERCADO LIBRE. p 42

¹¹¹ MERCADO LIBRE. p 42

¹¹²MERCADO LIBRE. p 42

Tabla 21. Flujo de caja

Mes	Inversión	Reactivos	Mano de obra	Mantenimiento	Total, mes
0	\$ 17.068.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 9.439.980
1	\$ -	\$ 17.609.250	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 19.713.290
2	\$ -	\$ 20.156.500	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 22.260.540
3	\$ -	\$ 22.150.000	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 24.254.040
4	\$ -	\$ 20.267.250	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 22.371.290
5	\$ -	\$ 23.589.750	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 25.693.790
6	\$ -	\$ 21.928.500	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 24.032.540
7	\$ -	\$ 24.254.250	\$ 2.104.040	\$ 420.000	\$ 26.778.290
8	\$ -	\$ 23.368.250	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 25.472.290
9	\$ -	\$ 21.817.750	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 23.921.790
10	\$ -	\$ 21.042.500	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 23.146.540
11	\$ -	\$ 20.488.750	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 22.592.790
12	\$ -	\$ 30.788.500	\$ 2.104.040	\$ -	\$ 32.892.540
Total, costo anual					\$ 310.197.730

Fuente: elaboración propia

Según lo anterior se puede observar que la implementación del sistema de tratamiento de agua residual tiene un costo elevado, debido al costo anual de los insumos del sistema, tal como se observa en la tabla 21. El costo del primer año de la implementación es de 310.197.730 pesos colombianos, mientras que la multa tiene un valor de 124.215.000 pesos colombianos, sin embargo, se debe tener en cuenta que el agua residual debe ser tratada, puesto que en caso de incurrir en esta falta se puede hacer efectivo el cierre permanente de la empresa.

6. CONCLUSIONES

- Se realizó una caracterización del agua residual de la empresa, en donde se demostró que los parámetros con los que se está incumpliendo en el vertimiento son el color (436 - 0,376 m⁻¹, 525 - 0,649 m⁻¹ y 620 – 0,737 m⁻¹), DO (793 mg/L O₂), SST (62 mg/L) y pH (10, 28 unidades de pH), según la Resolución 0631 de 2015.
- Se seleccionó un sistema de tratamiento de agua, que está conformado por oxidación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y neutralización de pH con el fin de disminuir los parámetros previamente mencionados, para su vertimiento dentro de las medidas permitidos, por medio de peróxido de hidrogeno con una dosificación de 150 mg/L, el floculante aniónico con una dosificación 2mL/L y el cloruro férrico con una dosificación de 2mL/L. dando cumplimiento a la Resolución 0631 de 2015.
- Se realizó un diseño del sistema de tratamiento del agua residual de la empresa que se compone de un tanque recolector, de 5 m³, un tanque sedimentador con agitación y un volumen de 4,14 m³, una bomba sumergible, para el agua cruda, una bomba centrifuga para el agua tratada y finalmente un filtrador de arena, para de esta manera tener un vertimiento que cumple con los parámetros de la resolución 0631 de 2015.
- Se determinó que el proyecto tiene un costo de \$302.569.710 en el primer año, debido al alto uso de agua que hay en la empresa, siendo de 200 m³ en promedio mensuales, generando entre 55 y 56 procesos de tratamiento del agua residual al mes, incurriendo en gastos de reactivos, personal, mantenimiento y la inversión inicial.
- Se realizó un diseño conceptual que da cumplimiento a los parámetros para el vertimiento de agua residual, con los que se incumple según la caracterización realizada (DQO, SST, color y pH), que está conformado por coagulación, floculación, oxidación y filtración por medio de peróxido de hidrógeno, floculante aniónico y cloruro férrico, que son agregadas en el tanque sedimentador con agitación para posteriormente eliminar los sólidos suspendidos por medio de un filtrador de arena y pasar al vertimiento del agua ya tratada.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la empresa implementar el diseño actual, con el fin de evitar la multa y el posible cierre permanente de las instalaciones; sin embargo, se aconseja que se realice un nuevo diseño del sistema de tratamiento del agua residual, con el fin de lograr que este tenga una rentabilidad mayor.
- Como ya es sabido la oxidación del agua es un procedimiento que se realizó con el fin de asegurar el cumplimiento de la disminución del DQO, por tal razón en el nuevo diseño se podría realizar un proceso de tratamiento en el cual no se vea involucrada la oxidación, verificando el cumplimiento del parámetro, según la Resolución 0635 de 2015 y de esta manera reduciendo costos.
- Se aconseja a la empresa realizar pruebas con floculadores de menor valor, puesto que este es uno de los responsables del alto costo que hay en los reactivos, para de esta manera lograr una disminución en la inversión promedio mensual y así el proceso pueda ser rentable.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES REGISTRY. [Sitio web]. Fluoruros, fluoruro de hidrogeno y fluoruros. [Consulta: 15 de febrero 2019] Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts11.html

AGUAS INDUSTRIALES. Ventajas y desventajas en la implantación de Biorreactor de membranas para aguas industriales. [Consulta: 13 de febrero 2019]. Disponible en: <http://aguasindustriales.es/implantacion-de-bioreactor-de-membranas-para-aguas-industriales-ventajas-y-desventajas-de-un-mbr/>

ANDIA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Sedpal Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. 2000. Disponible en: http://www.sedpal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

AQUAQUIMICA – WÁTER TECHNOLOGY. Ventajas y desventajas del tratamiento del agua con ozono. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://aquaquimica.net/ventajas-desventajas-agua-ozono/>

ARBELÁEZ CASTAÑO, Paula Eliana; MEDINA ARROYAVE, José David y GÓMEZ ATEHORTUA, Carlos Mario. Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos frentón intensificados con ultrasonido de baja frecuencia [En línea]. Gilpavas. Medellín. Revista internacional de contaminación ambiental. Junio 2017. [Consulta: 2 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n1/0188-4999-rica-34-01-157.pdf>

ARIZA ALARCÓN, Brendy Zulay. Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. Bonny LTDA. Proyecto de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación Universidad de América. 2017. P 150. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6258/1/6091173-2017-1-IQ.pdf>

BARRIOS ZIOLO, Leonardo Fabio, et al. Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de Aburrá. [En línea]. Edición N° 26. Envigado. Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n26/n26a05.pdf>

BEDOYA VÁSQUEZ, Juan; Propuesta de un sistema para la reutilización del agua proveniente de las ultimas etapas del lavado industrial de textiles hoteleros y hospitalarios. Trabajo de grado ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá. Universidad de la Salle. 2005. P 118. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14693/00798064.pdf?s>

BUSCIO, V; MARÍN, M J y CRESPI, M. Reuse of textile wastewater after homogenization–decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes. [En línea]. 2015. Chemical Engineering Journal. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714016714>

COGOLLO FLORES, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidrocloreto de aluminio. En: octubre de 2010. Volumen 78. p9. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Elvira Hercilia Páez Gómez. 2010. Bucaramanga. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/537-informe-de-gestion-2010-1/file>

DELGADO CARREÑO, Claudia Viviana. Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento. Trabajo de grado Biología. Bogotá. Pontificia universidad Javeriana. 2016. P 95. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17908/DelgadoCarrenoClaudiaViviana2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Foro de internet. AGUAS INDUSTRIALES. Ventajas de utilizar Filtros de lavado en Continuo para el tratamiento de agua de procesos y aguas de aporte. 2014. Disponible en: <http://aguasindustriales.es/ventajas-de-utilizar-filtros-de-lavado-en-continuo-para-el-tratamiento-de-agua-de-procesos-y-aguas-de-aporte/>

Foro de internet. AQUAFILT TRATAMIENTOS DE AGUA. filtración por cartuchos. [Consulta: 19 de febrero 2019]. Disponible en: <http://aquafilt.mx/producto/filtracion-por-cartuchos/>

Foro de internet. BID, GESTIÓN DE AGUA Y SANEAMIENTO SOSTENIBLE. Coagulación y floculación. [Consulta 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-y-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>

Foro de internet. COAGULANTES, FLOCULANTES Y AGENTES DESHIDRATANTES DE LODOS. Polímeros floculantes No iónicos y aniónicos. [Consultado 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://kiralyquinteroaguas.blogspot.com/2015/06/coagulantes-floculantes-y-agentes.html>

Foro de internet. CONDORCHEM ENVITECH – SMART IDEAS FOR WASTEWATER & AIR TREATMENT. Tratamiento para la eliminación del color en aguas residuales de la industria textil. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tag/adsorcion/>

Foro de internet. Condorchem envitech – smart ideas for wastewater & air treatment. Filtración mediante membranas para el tratamiento de aguas residuales. [Consulta: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/>

Foro de internet. EL ESPECTADOR. Por qué la industria textil es la más contaminante después del sector petrolero [Consulta: 28 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/por-que-la-industria-textil-es-la-mas-contaminante-despues-del-sector-petrolero-articulo-805061>

Foro de internet. EEMPLERO. Técnico químico. [Consulta: 15 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.eempleo.com/co/ofertas-empleo/?&trabajo=tecnico%20quimico>

Foro de internet. GRUPO PISCINAS GRUPO HYDRO SALUD. Filtro de arena o cartucho. 2017. [Consulta: 10 de febrero 2019]. Disponible en: <https://grupopiscinas.com/filtro-de-arena-o-de-cartucho/>

Foro de internet. INGENIERÍA LIQUID TECHNOLOGIES DE MONTEREY S.A. DE C. V. Floculantes aniónicos. [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://liquidtech.com.mx/quimicos/3/floculantes-anionicos>

Foro de internet. INGENIERÍA LIQUID TECHNOLOGIES DE MONTEREY S.A. DE C. V. Floculantes catiónicos. [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://liquidtech.com.mx/quimicos/4/floculantes-cationico>

Foro de internet. MADRIDMASD. Aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas: Descripción y funcionamiento. [Consulta 15 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>

Foro de internet. MERCADO LIBRE. [Consulta: 16 de febrero 2019]. Disponible en: https://www.mercadolibre.com.co/?matt_tool=6513555&matt_word=mercado-libre&gclid=EAlaIqobChMIqfqHu_Xe4QIVUqGCh0x-ArNEAAYASAAEgLg2_D_BwE

Foro de internet. MERCADO LIBRE. Planta purificadora de agua con osmosis inversa. [Consulta: 16 de febrero 2019]. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-475728867-planta-purifi>

Foro de internet. PREZI. Problemática del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. [Consulta 16 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://prezi.com/0alcmhciv5me/problematika-del-uso-del-aluminio-como-coagulante-en-el-trat/>

Foro de internet. TRATAMIENTO DEL AGUA. Coagulantes para el tratamiento de agua [17 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/>

Foro de internet: SALARIO MÍNIMO COLOMBIA. Salario Mínimo Mensual 2019 en Colombia. [Consultado el 23 de febrero 2019]. Disponible en: <https://www.salariominimocolombia.net/>

Foro en internet: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA. Calculo de la red de distribución de Bie's. [Consulta: 10 de mayo de 2019]. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4917/fichero/PFC_JUAN_S_AGUILERA_BLANCO%252FTOMO+I%252FDOCUMENTO+1_MEMORIA+DESCRIPTIVA+Y+ANEXOS%252FANEXOS%252F1.2_ANEXO+B+CALCULO+BIE.pdf

Foro internet. Prezi. Coagulación y floculación. 2015 [Consulta: 17 de febrero 2019]. Disponible en: <https://prezi.com/5favznqkkj5k/la-coagulacion-y-la-floculacion/>

GARCÍA VARGAS, Alfonso, et al. Cloruros Totales en el agua de abastecimiento. 2010. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf>

GUAPO SUAREZ Juan Camilo, Diagnostico Ambiental tintorería y lavandería GAMATEX S.A.S. Administración ambiental. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá. 2016. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5025/15/GuapoSu%C3%A1rezJuanCamiloAnexo-3.pdf>

GUZMÁN RIVAS. Jheyson Fabian. Evaluación técnica de la etapa coagulación-floculación para el mejoramiento en el proceso de potabilización de la planta galán de la EAAAZ. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Universidad fundación de América. 2017. 98 p. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6580/1/6102499-2017-2-IQ.pdf.pdf>

HIDROMETALICA. Filtros de arena. [Consulta: 21 de febrero 2019]. Disponible en: <https://hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-14866166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

_____. Gestión ambiental – Agua – procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. NTC 3903. EL instituto. 2010. 9 p. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3903.pdf>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Hidrocarburos (HC) en aguas por extracción Soxhlet o líquido – líquido y gravimetría. TP0155. 2007. 8 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Hidrocarburos+en+agua+por+extracci%C3%B3n.pdf/14b3ae83-4c72-446c-ab33-a91978c04f5a>

_____ Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumetría. TP0086. 2007. 11 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+d+e+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

_____ Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. TP0087. 2007. 13 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+d+e+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

_____ PH en agua por electrometría. TP0080. 2007. 7 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfcdf1>

_____ Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C.. TP0088. 2007. 7 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

_____ PSO determinación de alcalinidad por potenciometría. TP0211. 2005. 8 p. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DRILLING CONTRACTORS. Turbidez. N° 2. 2007. Disponible en: <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/PDF%20Facts%20About/translations/facts-about-turbidity-spanish.pdf>

LARA BORRERO, JAIME ANDRÉS. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis de magister en ingeniería y gestión ambiental. Barcelona. Universidad politécnica de Cataluña. 1999. 122p. Disponible en: <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>

LENNTECH. OXIDACIÓN AVANZADA. [Consulta: 17 de febrero 2019]. 2016. Disponible en: <https://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm>

LIZARAZO ESTUPIÑÁN, Paula Andrea y VILLOTA SANTAMARIA, Katya Vanessa. Desarrollo de una propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico realizado en una empresa metalmeccánica. Trabajo de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación universidad de América. 2017. P 116. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6573/1/6122863-2017-2-IQ.pdf>

LLANES OCAÑA, José Guadalupe, et al. Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales en: Revista CENIC ciencias químicas. Vol 41. P8,

Disponible en: <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ-2010-1-049-056.pdf>

LÓPEZ BARROSO, María Fernanda y MENDOZA ARIAS, Laura Carlota. Desarrollo de una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DQO y DBO en la fábrica de chocolates triunfo s.a. Proyecto de grado ingeniería química. Bogotá. Fundación universidad de América. 2018. P 186. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6720/1/6131981-2018-1-IQ.pdf>

LÓPEZ MARTÍNEZ, Claudia Natalia y POLO CAMPOS, Gerlin Andrea. Análisis del sistema actual de abastecimiento de Bogotá. agua subterránea como fuente alterna o de contingencia. Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá. Universidad de la Salle. 2009. 138p. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15469/T40.09%20L881a.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

MINISTERIO DE AMBIENTE. Ley 1333. 2009. "Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/ley_1333_210709.pdf

RAMÍREZ GÓMEZ, William. Consideraciones básicas y viabilidad de procesos de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración como alternativa para el tratamiento de agua en Colombia. Trabajo de grado especialista ingeniería ambiental. Bogota. Universidad nacional de Colombia. 2006. P 90. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/1924/1/williamramirezgomez.2006.pdf>

REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES. Fenoles. [Sitio web]. España: Ministerio para la transición ecológica [Consulta el: 15 de febrero 2019]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Fenoles,15658,11,2007.html>

RESTREPO DIAZ, Kelly Yelleiny y NIÑO LOZADA, Yerli Edith. Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilidad de agua. Trabajo de grado Ingeniería civil. Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2018. P 89. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16451/1/TESIS%20PROTOTIPO.pdf>

RINNE, Tuomas. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. Congreso de centro América y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental. p7. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>

ROBERT L, Mott. Mecánica de fluidos aplicada. 3ª edición. Prentice – hall Hispanoamericana S.A. 567 p. 0-02-384231-8

RODRÍGUEZ SALCEDO, Carlos Francisco. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Trabajo de grado Ingeniería

civil. Sucre. Universidad de Sucre. 2008. p97. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/298/2/628.162R696.pdf>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. 3ª. Ed. 1248 p. 9588060133.

RUMIE DE LA HOZ, David; MUCNISH BERNAL, Fredy y CANO VARGAS, Jhonattan. Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del pH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar. Trabajo de grado especialista automatización y control de procesos industriales. Cartagena. Universidad tecnológica de Bolívar. 2011. P 93. Disponible en: <biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062308.pdf>

RUSSEL, Babcock. Instrumentación y control en el tratamiento de aguas potables, industriales y de desecho. 1ª edición. Limusa wiley. 118 p. 9789681804527

SERRANO SOLIVERES, Emilio y REINA SALGADO, Elvira. Análisis de los efectos de una elevada DQO lentamente biodegradable por medio de la respirometría y bioincubación microscópica en el fango activo de una EDAR urbana. Surcis. P 11. Disponible en: http://www.surcis.com/es/an%C3%A1lisis-de-los-efectos-de-la-dqo-lentamente-biodegradable-en-el-fango-activo_12364.pdf

SEVERICHE SIERRA, Carlos Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique y Acevedo Barrios, Rosa Leonor. Sólidos sedimentables. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 52 – 53. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

SEVERICHE SIERRA, Carlos Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique y ACEVEDO BARRIOS, Rosa Leonor. Acidez total. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 33 – 35. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

SEVERICHE SIERRA, Carlos Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique y ACEVEDO BARRIOS, Rosa Leonor. Color real. En: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. 2013. 101p. 14 – 17. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

TERÁN SOLIZ, Mery. Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas. Trabajo de grado ingeniería química. Barcelona. Universidad politécnica de Cataluña. 2016. P 100. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf

TOAPANTA VERA, María Isabel. Calidad del agua: Grasas y aceites. 2010. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITE S.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITE%20S.pdf)

XIAN CHUN, Jin; GAO QIANG, Liu y ZHENG-HONG Xu. Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.507.9552&rep=rep1&type=pdf>

ANEXOS

ANEXO A
METODOLOGÍA TEST DE JARRAS

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
3903**

1996-07-24

**GESTIÓN AMBIENTAL.
AGUA. PROCEDIMIENTO PARA EL MÉTODO DE
JARRAS EN LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
DEL AGUA**



E: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. WATER. STANDARD PRACTICE FOR COAGULATION-FLOCULATION JAR TEST OF WATER

CORRESPONDENCIA: esta norma es equivalente (EQV) a la ASTM D 2035-90

DESCRIPTORES: gestión ambiental; método de ensayo; coagulación; floculación del agua.

I.C.S.: 13.060.040

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

Editada 2001-08-11

7. APARATO

7.1 AGITADOR MÚLTIPLE

Se debe usar un agitador de posición múltiple con variación continua de la velocidad desde aproximadamente 20 rpm hasta 150 rpm (con un tacómetro). Las paletas de agitación deben ser todas de la misma configuración y tamaño, hechas de material de calibre ligero resistente a la corrosión. Es útil una base iluminada para observar la formación de los flóculos. Se deben tomar medidas de precaución para evitar que el sistema de iluminación difunda calor que pueda contrarrestar la sedimentación normal.

7.2 JARRAS (O VASOS DE PRECIPITADO)

Todos deben ser del mismo tamaño y forma; se pueden usar vasos de precipitado de *Griffin* de 1 500 ml (como tamaño mínimo se recomienda 1 000 ml), de material adecuado (vidrio).

10. PROCEDIMIENTO

10.1 Se miden volúmenes iguales (1 000 ml) de muestra en cada una de las jarras o vasos de precipitado de *Griffin* de 1 500 ml. Se pueden usar tantas porciones de muestra como posiciones haya en el agitador múltiple. Los vasos de precipitado se ubican de tal modo que las paletas queden descentradas, pero separadas de la pared del vaso de precipitado en aproximadamente 6,4 mm (1/4 de pulgada). Se registra la temperatura de la muestra al comienzo del ensayo.

Nota. En el caso del agua cruda debe hacerse un análisis que incluya la temperatura, el color, la turbidez, el pH , la alcalinidad, el hierro, la conductividad y cualquier otro parámetro de interés en la investigación.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3903

10.2 Se cargan los productos químicos de ensayo en los soportes de los reactivos. Para cada serie de adiciones de productos químicos se utiliza un soporte. Se llena cada tubo del soporte con agua hasta un volumen final de 10 ml antes de usar. Puede haber una situación en que se requiera un volumen mayor de reactivo. En caso de que esta situación predomine, se llenan todos los tubos con agua hasta un volumen igual al mayor volumen de reactivo en el soporte de dicho reactivo. Cuando se agreguen mezclas líquidas, puede ser necesario agitar el soporte para producir un movimiento en torbellino inmediatamente antes de transferir.

10.3 Se comienza con el agitador múltiple operando a la velocidad de "mezcla instantánea" de aproximadamente 120 rpm. Se agrega la solución o las suspensiones de ensayo a niveles de dosis y secuencia predeterminadas. Se mezcla instantáneamente durante aproximadamente 1 min después de las adiciones de productos químicos. Se registra el tiempo de mezcla instantánea y la velocidad (rpm).

10.4 Se reduce la velocidad según sea necesario hasta el mínimo requerido para mantener en suspensión uniforme las partículas de flóculos a lo largo del período de mezcla instantánea. Se mezcla en forma lenta durante 20 min. Se registra el tiempo transcurrido para la primera formación visible de flóculos. Cada 5 min (durante el período de mezcla lenta), se registra el tamaño relativo de los flóculos y la velocidad del mezclador (rpm). Si se usan ayudas coagulantes, la velocidad del mezclado es crítica porque la agitación excesiva tiende a romper la primera formación de flóculos y se puede redispersar la ayuda.

10.5 Después del período de mezcla lenta, se retiran las paletas y se observa la sedimentación de las partículas de flóculos. Se registra el tiempo requerido para que el volumen de las partículas se sedimente. En la mayoría de los casos este tiempo será el requerido para que las partículas se sedimenten en el fondo del vaso de precipitación; sin embargo, en algunos casos puede haber interferencia de corrientes de convección. Si es así, el tiempo de sedimentación registrado debe ser aquel al cual las partículas no sedimentadas o residuales parezcan estar moviéndose en forma igual hacia arriba y hacia abajo.

10.6 Después de 15 min de sedimentación, se registra la aparición de flóculos en el fondo del vaso de precipitación. Se registra la temperatura de la muestra. Mediante una pipeta o un sifón, se saca de la jarra un volumen adecuado de muestra del caldo que sobrenada, en un punto situado a la mitad de la profundidad de la muestra, para efectuar los análisis requeridos de color, turbidez, pH y otros, determinados de acuerdo con las normas ASTM D 1889 y ASTM D 1293. Se incluye una forma sugerida para registrar los resultados (véase la Figura 2).

Nota. Se deben incluir ensayos para los productos químicos residuales, por ejemplo, aluminio; Al_2O_3 residual; sulfato de cobre; Fe_2O_3 residual; etc.

10.7 Se repiten los pasos 10.1 a 10.6 hasta que se hayan evaluado todas las variables pertinentes.

10.8 Los tiempos dados en los numerales 10.3, 10.4 y 10.6 son datos que dependerán de las condiciones del ensayo por lo que éstos están solo sugeridos.

10.9 Para la determinación de la eficiencia de los ayudantes de coagulación se puede seguir el siguiente procedimiento:

- Se realiza una prueba de Jarras en la cual en primer lugar se trabajará con una dosis óptima de coagulante obtenida, seleccionando un ayudante de coagulación, al cual se le ensayarán diferentes dosis comprendidas entre 0,1 y 1 mg/l en cinco de los seis vasos. El vaso al cual no se le adiciona polielectrolito sirve de referencia para comparar con los demás.

ANEXO B

BOMBA SUMERGIBLE

LINEA ANSI

3062 AA6

1.750 R.P.M

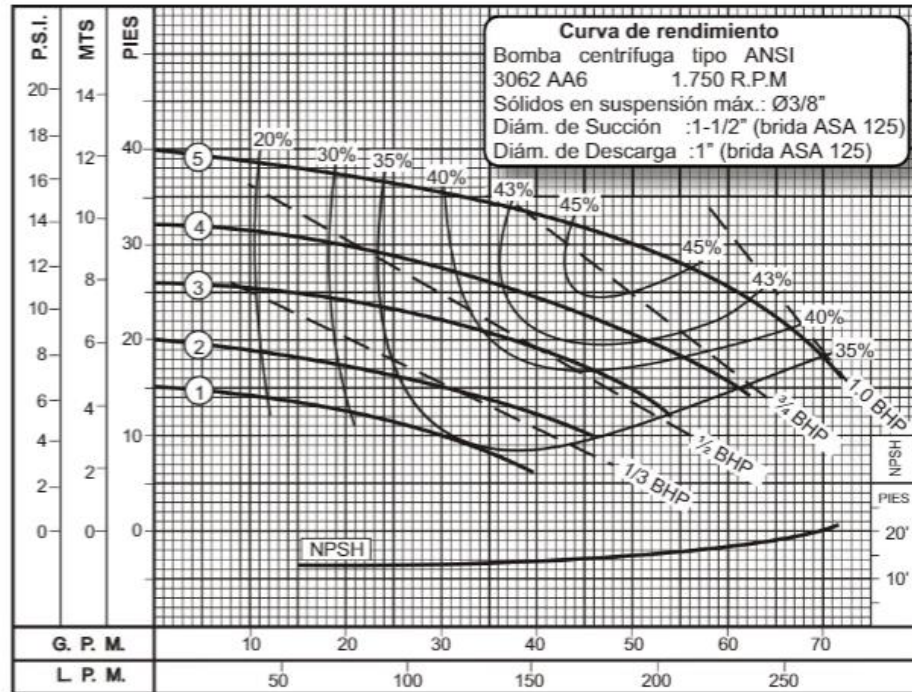


CARACTERISTICAS

- Bomba centrífuga horizontal de una etapa de construcción eje libre fabricada en hierro fundido.
 - Carcaza de conexiones bridadas, según norma ASA 125.
 - Succión horizontal al extremo y descarga vertical sobre la línea de centros.
 - Impulsor abierto en hierro fundido.
- Cierre del eje con prensa estopa o sello mecánico.
Temperatura máxima de operación 80°C (líquido agua).

APLICACION

- Trasiego de productos químicos.
- Servicios de rebombeo.
- Control de aguas contaminadas.
- Industria Petroquímica.
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento.



No	MODELO	Ø IMPULSOR	Ø SUCCION	Ø DESCARGA
1	3062 AA6	4.000"	1-1/2"	1"
2	3062 AA6	4.500"	1-1/2"	1"
3	3062 AA6	5.000"	1-1/2"	1"
4	3062 AA6	5.500"	1-1/2"	1"
5	3062 AA6	6.000"	1-1/2"	1"



PBX: 3-377077 / 4-056565
F A X : 2 - 6 9 2 3 5 9

BARNES DE COLOMBIA S.A.
PLANTA: CALLE 15 No 41-17
Bogotá D.C Colombia

www.barnes.com.co
e-mail: ventas@barnes.com.co

ANEXO C

BOMBA CENTRIFUGA TIPO CARACOL

LINEA CARACOL EC-2 / EC-203 / EC-205 / EC-207

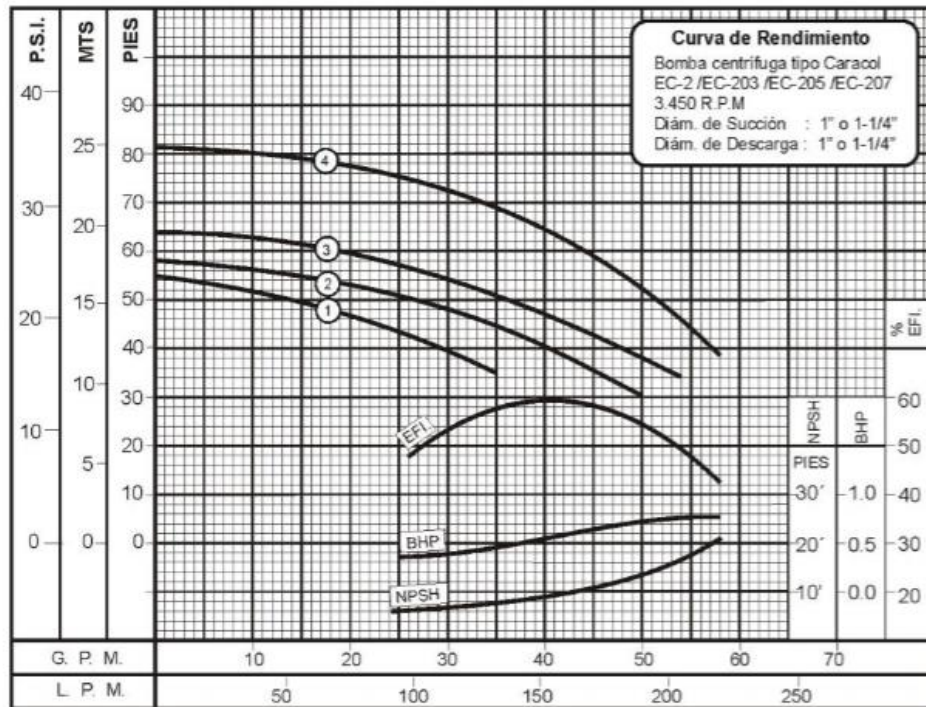


CARACTERISTICAS

- ◆ Bomba centrífuga de construcción monobloque fabricada en hierro fundido.
- ◆ Diámetro de succión de 1" o 1-1/4" y descarga de 1" o 1-1/4" (según modelo)
- ◆ Impulsor cerrado fabricado en plástico de alta resistencia
- ◆ Temperatura máxima de operación 70°C
- ◆ Motores a prueba de goteo, 3.450 RPM 60Hz, NEMA C 56J

APLICACIONES

- ◆ Uso doméstico
- ◆ Aprovechamiento de aguas limpias
- ◆ Refrigeración de maquinaria
- ◆ Llenado de tanques y bebederos
- ◆ Recirculación de agua en piscinas
- ◆ Pequeños equipos de presión



No	MODELO	HP	VOLTAJE	AMP.	FASES	DIA. IMP.	øSUCC.	øDESC.
1	EC-2	1/4	115	7.8	1	3.700"	1"	1"
2	EC-203	1/3	115	8.6	1	3.690"	1-1/4"	1-1/4"
3	EC-205	1/2	115/230	10.2/5.1	1	4.000"	1-1/4"	1-1/4"
4	EC-207	3/4	115/230	13.2/6.6	1	4.560"	1-1/4"	1-1/4"



PBX: 3-377077 / 4-056565
F A X : 2 - 6 9 2 3 5 9

BARNES DE COLOMBIA S.A.
PLANTA: CALLE 15 No 41-17
Bogotá D.C. Colombia

www.barnes.com.co
e-mail: ventas@barnes.com.co

ANEXO D
TANQUE RECEPTOR

ITEM	COLOR	ALTO (CM)	DIÁMETRO (CM)	CAPACIDAD	CÓDIGO
A	AZUL	76	84	250 LITROS	HA0302551
B	AZUL	85	106	500 LITROS	HA0305051
C	AZUL	106	130	1000 LITROS	HA0310051
D	AZUL	119	145	1500 LITROS	HA0315051
E	AZUL	141	158	2000 LITROS	HA0320051
F	AZUL	146	186	3000 LITROS	HA0330051
G	AZUL	174	228	5000 LITROS	HA0350051

ANEXO E
FILTRADOR

MODELO	Φ filtro mm	H filtro mm	Φ salida Pul-DN	Caudal (m ³ /h) en función de la velocidad de filtración (m ³ /h/m ²)									
				6	8	12	15	20	25	30	50	90	
FA-900	900	1868	1 ¼"-32	4	5	8	10	13	16	19	32	57	
FA-1000	1000	1906	1 ½"-40	5	6	9	12	16	20	24	39	71	
FA-1100	1100	1944	1 ½"-40	6	8	11	14	19	24	29	48	86	
FA-1200	1200	1990	2"-50	7	9	14	17	23	28	34	57	102	
FA-1300	1300	2030	2"-50	8	11	16	20	27	33	40	66	119	
FA-1400	1400	2066	2 ½"-65	9	12	18	23	31	38	46	77	139	

ANEXO F

DIAGRAMA TANQUE SEDIMENTADOR CON AGITACIÓN

