

**PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE COLORANTE AZUL ÍNDIGO EN
AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA OXIDO
REDUCCIÓN PARA LA EMPRESA COMERCIAL DACETEX Ltda.**

**JUAN CAMILO ACOSTA TORRES
JOHNNIE BRILEY BRISNEDA RODRÍGUEZ**

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

2018

**PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE COLORANTE AZUL ÍNDIGO EN
AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA OXIDO
REDUCCIÓN PARA LA EMPRESA COMERCIAL DACETEX Ltda.**

**JUAN CAMILO ACOSTA TORRES
JOHNNIE BRILEY BRISNEDA RODRÍGUEZ**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
CESAR ESPINOSA
Ingeniero Químico**

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

2018

NOTA DE ACEPTACION

Diana Milena Morales Fonseca

Felipe Correa Mahecha

Fernando Morena

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 GARCIA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

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

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios debido a que en mi carrera me llenó de bendiciones y alegrías, gracias por darme salud y sabiduría para poder culminar esta gran etapa en mi vida y a mi núcleo familiar quienes creyeron en mis capacidades para enfrentar este gran reto en mi vida, ser los promotores de mis sueños, ellos me enseñaron a ser la persona que hoy en día soy y que con su esfuerzo y dedicación hicieron que este sueño fuera posible y por ultimo gracias a mis amigos que fueron un gran apoyo en este proceso y por las experiencias vividas.

Juan Camilo Acosta Torres

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y la virgen del Carmen, por promoverme miles de bendiciones quienes inspiraron para culminar este proyecto, a mis padres que me dieron la vida, educación, apoyos y consejos cuando eran necesarios. Mi Novia Jessica que siempre me apoyo a pesar de las dificultades siempre me mostro una salida para la realización de este trabajo, a mis compañeros de estudio, maestros y amigos, que siempre quisieron ayudar, que sin dudar sin ellos este trabajo no se hubiera podido culminar. De corazón a todos ellos les agradezco desde todo mí ser gracias.

Jhonnie Briley Brisneda Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A nuestros familiares, por el apoyo incondicional. La dedicación y el esfuerzo necesario para que este sueño de ser profesional se pudiera realizar y por su amor incondicional ya que nos daban la motivación para cumplir este gran logro.

A Cesar Espinosa, ingeniero químico y director del proyecto, por confiar y creer en nuestras capacidades, por disponer de su tiempo y energía para apoyarnos en el proyecto y por último compartir su conocimiento para poder terminar con éxito el proyecto.

A Dacetex LTDA., y a toda su junta directiva por brindarnos la oportunidad de entrar en la empresa para desarrollar el proyecto con el cual obtendremos el título de ingenieros químicos y por brindarnos su tiempo, su técnica y su recurso económico y humano lo que nos permitió finalizar este proyecto con satisfacción.

A Fernando Moreno Ingeniero químico. Por brindarnos su tiempo y conocimiento en la guía del desarrollo del proyecto ya que sin su comprensión y paciencia este sueño no se hubiera podido cumplir.

A Ahudrey Leal, ingeniera de biotecnología y gestora en el Tecnoparque SENA. Por brindarnos su tiempo y conocimiento en el desarrollo del proyecto ya que sin ella este sueño hubiera sido más difícil de culminar.

Al Tecnoparque SENA, por darnos la oportunidad y creer en nosotros para poder desarrollar nuestro proyecto en sus instalaciones y poder disponer de sus recursos técnicos y el conocimiento de todos los miembros del departamento.

A Felipe Correa Mahecha, ingeniero químico. Por disponer de su tiempo y conocimiento para guiarnos en la elaboración del proyecto ya que brindo aportes importantes de su conocimiento para el desarrollo de este.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO DE REFERENCIA	25
1.1 MARCO TEÓRICO	25
1.2 MARCO LEGAL	30
1.3 POSIBLE PLANTILLA	31
2. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE VERTIMIENTOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL COLOMBIANA	33
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA	34
2.1.1 Sólidos suspendidos.	35
2.1.2 Sólidos Totales Disueltos.	37
2.1.3 Sólidos Totales secados a 103 – 105 °C.	38
2.1.4 Sólidos totales Sedimentables.	39
2.1.5 Análisis de pH.	40
2.1.6 Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO).	42
2.1.7 Análisis de la demanda biológica de oxígeno (DBO).	46
2.1.8 Análisis de Fenoles.	49
2.1.9 Determinación de la concentración de colorante en la muestra.	53
2.1.10 Tabla Resumen de los resultados obtenidos.	55
3. SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL ÍNDIGO POR MEDIO DE UN DESARROLLO EXPERIMENTAL	56
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES EMPLEADOS	57
3.1.1 Caracterización de la plantilla.	58
3.2 PRE EXPERIMENTACIÓN	59
3.2.1 Pre-tratamiento de la fibra.	59
3.2.2 Experimentación para el pre-tratamiento.	61
3.2.3 Selección de la geometría de la fibra.	63
3.2.4 Tiempo del precursor.	64
3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	66
3.3.1 Hipótesis.	66
3.3.2 Metodología para la selección del diseño de experimentos.	67
3.3.2 Metodología para el desarrollo experimental.	69
3.3.4 Datos experimentales.	72
3.3.5 Metodología para determinar la medición de la variable respuesta.	72
3.3.6 Desarrollo del diseño experimental muestra A.	74

3.3.7	Análisis de resultados muestra A.	77
3.3.8	Desarrollo del diseño experimental muestra B.	78
3.3.9	Análisis de los resultados muestra B.	78
4.	DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA EMPRESA ASOCIADA DE DACETEX LTDA	80
4.1	BALANCE DE MATERIA AL INTERIOR DE LA EMPRESA PARA EL PROCESO DE BLANQUEO	81
4.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	82
4.3	BALANCE DE MATERIA	83
4.3.1	Balance de materia.	83
4.4	DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	85
4.4.1	Diseño del reactor.	86
4.4.2	Diseño del tanque almacenamiento.	91
4.4.2	Tabla especificaciones de equipos	92
5.	ANÁLISIS FINANCIERO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR TIPO CSTR AL INTERIOR DE UNA PLANTA COMERCIAL DE DACETEX LTDA.	93
5.1	INVERSIÓN	93
5.2	COSTOS DE FABRICACIÓN	93
5.2.1	Costos directos.	94
5.2.2	Otros gastos indirectos	97
5.2.3	Presupuesto de producción	101
5.3	FLUJO DE CAJA	103
5.4	INDICADORES DE PROYECTO	103
6.	CONCLUSIONES	105
7.	RECOMENDACIONES	107
	BIBLIOGRAFÍA	108
	ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Límites máximos para la fabricación de productos textil	35
Tabla 2. <i>Resultado de Solidos Suspendidos</i>	36
Tabla 3. <i>Resultado solidos disueltos totales</i>	38
Tabla 4. <i>Resultado prueba solidos totales</i>	39
Tabla 5. <i>Resultado de solidos sedimentados</i>	40
Tabla 6. <i>Medición de pH de las muestras</i>	42
Tabla 7. Curva de calibración	45
Tabla 8. Resultado DQO muestra A	46
Tabla 9. Resultado DQO muestra B	46
Tabla 10. Oxígeno disuelto inicial	48
Tabla 11. Oxígeno disuelto 5 días después	48
Tabla 12. Demanda biológica de la muestra A y B	49
Tabla 13. Concentración de 10 mg de fenol/L	52
Tabla 14. Concentración de 1 mg/L	53
Tabla 15. datos para la curva de calibración.	54
Tabla 16. Concentración de colorante de la muestra A y B.	55
Tabla 17. Datos obtenidos de la muestra A	55
Tabla 18. Datos obtenidos de la muestra B	56
Tabla 19. <i>Composición química del pseudotallo</i>	59
Tabla 20. Análisis pretratamiento de impregnación.	62
Tabla 21. Tiempo de exposición del precursor en ultrasonido.	66
Tabla 22. Niveles del diseño de experimentos.	68
Tabla 23. <i>Composición del diseño experimental</i>	72
Tabla 24. Datos barrido espectral de las muestras A y B	73
Tabla 25. <i>Datos variables de salida del diseño de experimentos.</i>	74
Tabla 26. Resumen de datos para el análisis de la varianza.	75
Tabla 27. <i>Fórmulas para el análisis de varianza muestra</i>	76
Tabla 28. Resumen cálculos del análisis de varianza.	77
Tabla 29. Datos variables de salida diseño experimental.	78
Tabla 30. Datos de operación de la planta	82
Tabla 31. Resumen de datos para el desarrollo del diseño conceptual	83
Tabla 32. Tabla estequiometria de la reducción del azul índigo.	84
Tabla 33. Balance de materia del tanque de almacenamiento.	85
Tabla 34. Datos de la degradación de colorante durante 5 minutos. .	86
Tabla 35. Tabla resumen de especificaciones de equipos	92
Tabla 36. Precio del Reactor CSTR puesto en Colombia, junto con el tanque de almacenamiento y ultrasonido.	93

Tabla 37. Precio de tallo recolectado en la finca productora	94
Tabla 38. Precio al año del bagazo de plátano	95
Tabla 39. <i>Cantidad de permanganato usado en una tanda del proceso.</i>	95
Tabla 40. Precio de permanganato por año	95
Tabla 41. Materiales directos Dacetex	96
Tabla 42. Mano de obra en un año vigente en la empresa DACETEX	96
Tabla 43. Precio diario del uso del reactor.	97
Tabla 44. Consumo para alcantarillado de Bogotá al interior de la planta	98
Tabla 45. <i>Flujo total de costo</i>	100
Tabla 46. Precio de venta para metro cubico de agua tratada y recolectada	101
Tabla 47. Presupuesto de producción	102
Tabla 48. Valor VPN calculado por Excel	103
Tabla 49. Valor TIR calculado por Excel	103
Tabla 50. Flujo de caja Neto, para la evaluación financiera de la empresa DACETEX	104
Tabla 51. Soluciones patrón	122

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tipos de Cromóforos y su Formula Molecular.	26
Cuadro 2. Normas aplicadas para el tratamiento de aguas residuales en la industria textil.	30

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación de los sólidos suspendidos totales.	36
Ecuación 2. Determinación de solidos disueltos totales	37
Ecuación 3. Calculo de Solidos totales	39
Ecuación 4. Ecuación solidos totales	39
Ecuación 5. Regresión para determinar la concentración de DQO en la muestra.	45
Ecuación 6. Demanda biológica de oxígeno	48
Ecuación 7. Concentración de 10 mg/L de la muestra	52
Ecuación 8. Concentración de 1 mg/L de la muestra	52
Ecuación 9. <i>Determinación de concentración de colorante en la muestra.</i>	54
Ecuación 10. Porcentaje de reducción de la muestra A.	74
Ecuación 11. Porcentaje de reducción de la muestra B.	74
Ecuación 12. Parámetros tablas de Fisher.	76
Ecuación 13. Ecuación de diseño para un CSTR.	86
Ecuación 14. Velocidad de reacción en diferentes conversiones	87
Ecuación 15. Relación para la determinación del diámetro del agitador	89
Ecuación 16. Relación para la determinación de las placas deflectoras	90
Ecuación 17. Relación para la determinación de la altura desde la turbina hasta el fondo del reactor	90
Ecuación 18. Relación para la determinación de la altura de las palas de la turbina	90
Ecuación 19. Relación para la determinación de la anchura de las palas de la turbina	90
Ecuación 20. Volumen del tanque de almacenamiento	91

LISTA DE REACCIONES

	pág.
Reacción 1. Ruta 1 de degradación de colorante azul índigo.	29
Reacción 2. Ruta 2 de degradación de colorante azul índigo	29
Reacción 3. Síntesis asistida por ultrasonido de MnO_2 a partir de MnO_4^- .	70
Reacción 4. Reducción del colorante azul índigo.	83

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Equipo de filtración al vacío	36
Foto 2. Medición del pH de la muestra a tratar	41
Foto 3. Tubos Digestores después de digestión	44
Foto 4. Muestra A antes de la incubación de 5 días.	47
Foto 5. Volumen Precipitado con Ácido sulfúrico	47
Foto 6. Montaje para el destilado	50
Foto 7. Extracto del destilado de la muestra residual	50
Foto 8. Planta de plátano y pseudotallo de la planta de plátano.	60
Foto 9. Secado de las láminas de pseudotallo del plátano.	60
Foto 10. Pretratamiento de la fibra	61
Foto 11. Fibras en Hilos, Molido, Cuadros	63
Foto 12. Tubos de 5 mM, 10 mM y 30 mM expuestas durante 45 minutos en el ultrasonido.	64
Foto 13. <i>A solución original del $KMnO_4$; B solución después de la impregnación.</i>	65
Foto 14. Equipo Digestor	117
Foto 15. Espectrofotómetro	118

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Planta de plátano.	32
Ilustración 2. <i>Proceso de teñido empresa A y B</i>	33
Ilustración 3. Identificación de las variables de entra y salida en el proceso	67
Ilustración 4. Diagrama del proceso para la reducción de colorante de agua residual de la industria textil.	80
Ilustración 5. Datos del proceso de blanqueado.	81
Ilustración 6. Balance global del proceso de blanqueado de la empresa.	81
Ilustración 7. Balance de reactor	84
Ilustración 8. Flujo de entrada y salida del tanque de almacenamiento.	85
Ilustración 9. Diseño del agitador de palas en el reactor.	89

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Curva de calibración para los viales	45
Gráfica 2. <i>Curva de calibración para una concentración de 10 mg de fenol/L.</i>	51
Gráfica 3. Curva de calibración concentración de colorante.	54
Gráfica 4. Grafica barrido espectral de las muestras A y B.	73
Gráfica 5. Datos experimentales de la muestra A.	74
Gráfica 6. Degradación de colorante Vs. Tiempo	87

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Guía metodológica para la determinación de contenido de solidos.	113
Anexo B. Guía metodológica para la determinación de dqp.	117
Anexo C. Guía metodológica para la determinación de dbo.	119
Anexo D. Guía metodológica para la determinación de fenoles.	121
Anexo E. Guía metodológica para la determinación de la concentración de colorante.	123
Anexo F. Guía metodológica para determinar la velocidad de reacción.	127

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: las aguas residuales son consideradas como los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias provenientes de las descargas de industria de manufactura¹.

COLORANTE: los colorantes son sustancias capaces de teñir las fibras animales y vegetales, su implementación data de tiempo remotos donde se extraían de diversas materias procedentes de vegetales, como el índigo natural y la cúrcuma; o de animales, como los moluscos y las cochinillas. En algunos casos los colorantes también eran extraídos de distintos minerales².

INDUSTRIA TEXTIL: la industria textil es el sector industrial económico dedicada a la producción de fibras naturales o sintéticas, hilos y telas o relacionadas con la confección de ropa³.

MEDIO ABSORBENTE: el medio Absorbente es aquel material en el cual su función radica en adsorber un compuesto en determinada materia, este medio puede ser natural o artificial⁴.

NANO-COMPUESTOS: los nanocompuestos son materiales formados por dos o más fases donde al menos una de las fases tiene una de sus tres dimensiones en escala manométrica⁵.

OXIDACIÓN: la oxidación ocurre cuando una especie química pierde electrones y al mismo tiempo, aumenta su número de oxidación⁶.

PROCESO DE TEÑIDO: la teñidura es un proceso químico en el que se añade colorante a los textiles y otros materiales, con el fin de que esta sustancia se convierta en parte del textil y obtenga un color diferente al original para así poderle dar características particulares⁷.

¹ BARBA HO, Luz Edith. Conceptos básico de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del Valle. Santiago de Cali(2002)

²E., Ricardo; GOYES, Palma; MACÍAS URIBE, Juliana y GONZÁLEZ, Ignacio. Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria. Revista Colombiana de materiales, Colombia (2013)

³Encolombia. Industria Texti. Colombia. En línea: <<https://encolombia.com/economia/info-economica/algodon/industriatextil>>

⁴ CHATTERJERR, P. K.; Gupta B. S. Absorbent Technology. Elsevier. Ámsterdam (2002). Pág.2-4.

⁵ HERNÁNDEZ RIVERA, José Luis; GARCÍA ROCHA, Jorge. Los materiales compuestos y su desarrollo actual. Ciencia y desarrollo. México (2010). En línea:

<<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos6.html>>

⁶ RALPH H., Petrucci; HERRING F ,Geoffrey.; Madura D. Jeffrey y Bissonnette Carey. (General Chemistry: Príncipes and Modern Applications). Pearson. Toronto (2010). Pág. 165-167

⁷ XICOTA, Esther." impactos del proceso de teñido textil". Expok comunicación de sustentabilidad y RSE. (2015). En línea: <<https://www.expoknews.com/impactos-del-proceso-de-tenido-textil>>

SIMBOLOGÍA

μ: Corresponde a el prefijo micra que es la relación de 1×10^{-6} .

DBO: Demanda biológica de oxígeno.

DQO: Demanda química de oxígeno.

g: Gramos; unidad de masa.

M: Molaridad; concentración molar, medida de concentración de un soluto en una disolución.

mg: Miligramos; unidad de masa que corresponde a $1 \times 10^{-3} g$.

ml: Mililitros; corresponde a unidad de volumen. Equivale a $1 \times 10^{-3} l$.

N: Normalidad; medida de concentración de una solución, la cual corresponde a la relación equivalente de una sustancia y los litros de una solución.

PPM: Partes por millón; unidad de medida de la concertación. La cual hace referencia a la cantidad de unidades en una determinada sustancia.

SST: Solidos suspendidos totales.

ST: Solidos totales.

STS: Solidos totales sedimentados.

TDS: Solidos disueltos totales.

RESUMEN

La investigación se inició realizando el análisis de dos tipos de muestra extraídas de dos diferentes empresas localizadas en la ciudad de Bogotá. Para así determinar las condiciones a las cuales son vertidos los residuos a los efluentes hídricos; este análisis se comparó con la Resolución 0631 del 2015 para establecer que parámetros eran permisibles y no permisibles en las muestras. Dando como resultado que en las dos muestras no dieron permisible los parámetros sólidos sedimentados y demanda química de oxígeno.

Para llevar a cabo la reducción de colorante del agua a tratar se utilizó como plantilla el residuo vegetal el bagazo de plátano; este tipo de residuo se escoge por la abundancia en la zona de Cundinamarca, las cuales son secadas y posteriormente se realiza un pretratamiento de la fibra. La fibra se sumerge en agua y es llevada a ultra sonido en unas condiciones para eliminar todos los compuestos no deseados. Seguidamente la plantilla es llevada al ultrasonido para ser impregnada por nanoparticulas de MnO_2 mediante el precursor $KMnO_4$.

En el desarrollo de la investigación se determinó que la reducción del colorante en la muestra estaba determinada por el pH de la muestra y la concentración del precursor para la impregnación (calceta de plátano). Se desarrolló un diseño experimental para determinar la configuración más efectiva para la reducción de colorante en la muestra. El diseño experimental realizado fue un diseño factorial 4^2 . Dando como mejor resultado una concentración de 5mM en el precursor y un pH de 3.5 en la muestra.

Obteniendo la configuración adecuada se realizó un escalado del proceso y se desarrolló un diseño conceptual para la implementación del proceso con los parámetros reales dados por la empresa y así poder determinar las dimensiones de los equipos a utilizar en el proceso y el balance de materia involucrado en cada equipo.

Al finalizar el proyecto se realizó un análisis financiero mediante un flujo de caja de la empresa, la inversión inicial de la empresa y los indicadores de proyecto como el VPN y la TIR.

PALABRAS CLAVES: Colorante, Azul Índigo, Reducción, Impregnación, Reactor CSTR, Pseudotallo, Fenoles, DQO, DBO, Diseño Factorial, Permanganato de Potasio, Ácido Acético.

INTRODUCCIÓN

La industria textil ha sido parte fundamental para la economía del país ya que tiene una participación en el PIB de 4,8% para el año 2017⁸, lo que conlleva el uso excesivo de materia prima (el algodón, los colorantes, el agua) y auxiliares para poder transformar y generar un producto final. Por otra parte, da como resultado una mayor carga a los residuos de esta industria la cual termina expuesta en los vertimientos hídricos, debido a que estas empresas no tienen un determinado control para poder reducir o mitigar el impacto que causan están al medio ambiente. Es por esto que se debe buscar diferentes alternativas para poder reducir la carga química que tiene estos desechos industriales.

El proyecto tiene como principal objetivo mitigar el impacto ambiental que causa la industria textil en Bogotá, más específicamente la parte de tinción industrial. El cuidado ambiental es de gran atención y de suma importancia, para poder conservar los recursos naturales.

De acuerdo con la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se muestra los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos de cada sector industrial, este documento regula las cargas físicas y químicas que los desechos tienen permisibles para ser arrojados a los vertimientos. El parámetro de Color real en la resolución 0631 no se encuentra con un valor estándar permisible si no que dependiendo de la actividad de la empresa se estipula una concentración de colorante apta para dicha empresa.

El problema ambiental al cual se enfrenta las empresas productoras de telas en Colombia es un factor que cada día crece con la demanda interna que genera la producción de telas, lo que conlleva una mayor cantidad de desechos industriales. Los cuales son caracterizados por ser una de las actividades más contaminantes⁹. Para estos desechos se busca la manera de poder reducir la concentración de color por técnicas no convencionales y que al mismo tiempo sea económicamente viable, utilizando desechos vegetales como es el bagazo o calceta de plátano.

En este trabajo se estudia el proceso para poder reducir la concentración de color en los desechos industriales de la industria textil, con el fin de poder mitigar el impacto ambiente que causa este contaminante a los vertimientos hídricos; dando como solución un proceso no convencional, y económicamente sostenible.

⁸ GONZALES LITMAN, Tamara. La participación del textil en el PIB colombiano registra una caída histórica. FASHION NETWORK. (2017). En línea: <<http://mx.fashionnetwork.com/news/La-participacion-del-textil-en-el-PIB-colombiano-registra-una-caida-historica,869234.html#.WnlMzKjibIV>>.

⁹ CRUZ, Julián Alejandro. Revista Virtual Pro procesos industriales. Polifonía Editores. Zaragoza(2007). pág. 2-4.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la remoción de colorante tipo azul índigo mediante la elaboración de un proceso de óxido reducción en aguas residuales de la industria textil para la empresa comercial Dacetex Ltda. a nivel laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición física y química de las aguas de vertimiento en la industria textil.
- Seleccionar el método para la remoción del colorante azul índigo por medio de un desarrollo experimental.
- Desarrollar un diseño conceptual del método seleccionado en la industria textil.
- Realizar el análisis financiero del método seleccionado.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 MARCO TEÓRICO

En los últimos años el acelerado proceso del sector industrial desencadena un derroche de contaminantes ambientales, donde el fin del ciclo son las fuentes hídricas, en un porcentaje elevado de las aguas residuales que se generan en América latina son devueltas al medio natural (ríos, mares o tierras) sin tratamiento alguno, esto impacta de forma negativa a la preservación de los recursos naturales y el hecho de que la cantidad de agua potable se sigue contaminado con los mismos residuos que arrojan, proyectos como el que se trabajó en Panamá con el saneamiento de la ciudad y bahía¹⁰, donde se realizan obras de alcantarillado y plantas de tratamientos, el propósito final de este estudio es poder orientar a las empresas que son altamente contaminantes generen conciencia ambiental, generando herramientas con enfoques conceptuales y criterios de decisión para poder llegar al objetivo que es el tratamiento de aguas residuales, todo con el fin de mejorar la salud y evitar la degradación ambiental que se genera al no tratar las aguas, estos ejemplo son claros para aplicar en una país en vía de desarrollo como lo es Colombia, donde su potencial agroindustrial generan grandes expectativas, pero trae con sus aplicaciones un aumento de agentes contaminantes y el medio de disposición más afectado son los efluentes hídricos.

Uno de los mayores contaminantes que genera la industria textil son los colorantes, con los que se lleva acabo los diferentes procesos, dependiendo la necesidad del cliente, ya que estos por su composición química son difíciles de degradarse y no pueden ser reutilizados por lo tanto hacen parte de los residuos industriales y finalmente son arrojados a los efluentes hídricos. Para cada uno de los diferentes colores contiene una longitud de onda específica y una zona del espectro, que al ojo humano se observa desde una tonalidad opaca hasta un color intenso. La naturaleza de las sustancias está dada por los dobles enlaces que presenta la molécula, en cuanto el color conjugado se extiende el tono de color se desplaza a verdes, azules y tonos relativamente oscuros. El color es la consecuencia de la acción conjunta de dos agrupaciones atómicas, el grupo cromóforo que tiene un grupo funcional $-C=C-$, $-N=N-$ (este denominado grupo azo) ¹¹ junto con los anillos aromáticos que dan al color que se observa, y por el cromóforo es el responsable del color con los sistemas más importantes que son:

¹⁰ Gobierno de la República de Panamá. “Proyecto saneamiento de la ciudad de panamá”. Panama. En línea: <<http://www.minsa.gob.pa/proyecto/proyecto-saneamiento-de-la-ciudad-y-la-bahia-de-panama>>

¹¹ UNED. “Fundamentos Químicos de la ingeniería”. Universidad Nacional a Distancia. Madrid (2012)

Cuadro 1. Tipos de Cromóforos y su Formula Molecular.

Tipo de Cromóforos	Formula Molecular
Cromóforos azo	-R-N=N-R
Cromóforos aromáticos	Derivados del trifenilmetano [Ar_3CH] Derivados de la antraquinona ftalocianinas Derivados heteroaromaticos
Cromóforos erilénicos	Ar-(CH=CH)-Ar

Fuente. Sanz Tejedor, Ascensión. La industria de los colorantes y pigmentos: Tipos de Cromóforos. Disponible en <<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>>. . Recuperado: Agosto/3/2017.

La industria química ha desarrollado un amplio estilo de colorantes sintéticos que permiten acceder a una tonalidad variada, para que un colorante sea industrial debe cumplir los siguientes parámetros, los cuales son fijarse sobre la fibra, tener una resistencia al lavado y la luz, este último debe presentar alta resistencia para que la coloración sea permanente a lo largo de la vida útil de la fibra, por esta razón nos centramos en el azul índigo, que es usado en gran cantidad para teñir los jeans ,el proceso de lavado la fijación no es 100 % completa y produce residuos o desechos peligrosos para su vertimiento, la industria textil se puede considerar uno de los principales generadores de contaminantes peligrosos en el medio ambiente¹², los aspectos que causa este sector es cambiante, pero la presencia de color en aguas residuales es el principal signo de aguas contaminadas, esto genera problemas tales como la dificultad de fotosíntesis en plantas submarinas, los efluentes generados de la industria textil es variable, los componentes básicos son temperaturas elevadas, alcalinos y alta composición de color. Se puede encontrar contaminantes como solidos suspendidos, aceites minerales y compuestos orgánicos, estos son denominados compuestos xenobióticos, se puede encontrar concentraciones altas de metales pesados como plomo, níquel y zinc.

El tratamiento de estas aguas residuales es algo diverso por el hecho de no ser biodegradables y ser altamente tóxicos, en el tratamiento se puede recurrir a procesos físicos, químicos y biológicos que se aplican para disminuir o remover los colorantes de aguas residuales. Los métodos existentes tienen una limitación sea técnica o económica; en la gran mayoría de los casos es necesario utilizar varios métodos para la remoción de color, por ejemplo, los efectos con agentes microbianos muestran una alternativa efectiva, pero se limita con el tiempo de

¹²LUZ QUINTERO; Santiago Cardona "Tecnologías para la Decoloración de tintes Índigo e Índigo Carmín". Universidad Nacional. Medellín (2009). En línea: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15906/18794>>.

adaptación del microorganismo y la acción de diferentes colorantes, en otro método se usa un proceso oxidativo por medio de rayos UV¹³.

Los diferentes estudios para la adaptación de un proceso económicamente viable y efectivo generan la utilización de diferentes plantillas a nivel vegetal, tratamientos de fijación como lo tiene el algodón con nanopartículas de KMnO_4 ¹⁴, usando como precursor esta sustancia química altamente oxidativa, donde es comúnmente empleada como blanqueador de resinas, ceras, grasas, aceites, algodón y seda, este es obtenido por oxidación electrolítica de un mineral de manganeso¹⁵, diferentes propiedades de este metal lo hacen un complemento perfecto para la fijación por medio de ultrasonido, este equipo es accionado directamente en la plantilla generando vibraciones a diferentes frecuencias, esto ocasiona que se abran espacios entre los diferentes componentes de la plantilla que generalmente es la reducción de lignina y celulosa, espacios que antes ocupaban, la vibración no solamente ocasiona que se desprendan estos componentes, también actúa como un precursor para la oxidación de las moléculas que para este ejemplo es el permanganato de potasio, desprendiendo el potasio del ion MnO_4^- esta acción prolongada permite que las partículas del óxido se fijen en la plantilla accionando el precursor¹⁶, y listo para ser usado, que en este caso se impregna en algodón.

Por otro lado la problemática de contaminación en los efluentes hídricos tiene varias formas de actuar y descomponerse, las reacciones pueden que generen subproductos, que para su tratamiento sea mucho más complejo, por ejemplo la solubilidad en agua, presenta una alta resistencia a agentes químicos, que dificultan la degradación, en la gran mayoría tienen grupos azo, antraquinona o ftalocianina, uno de los fundamentos para establecer un producto poco convencional respecto a los otros, es por las características que presentan este tratamiento, los métodos tradicionales no son de gran eficiencia para estos compuestos, y atacarlos con una carga química, que desestabilice las propiedades óptimas para su vertimiento no sería la finalidad completa de este desarrollo del proceso.

Para buscar un camino más acertado en el desarrollo de una serie de pasos para la remoción del colorante que para este proyecto se hará énfasis en el azul índigo,

¹³ E., Ricardo; GOYES, Palma; MACÍAS URIBE, Juliana y GONZÁLEZ, Ignacio. Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria. Revista Colombiana de materiales, Colombia (2013)

¹⁴ HUAN-QIN, Wang; MING-BO, Zheng; JIN-HUA, Chen; GUANG-BIN, Ji; JIE-MING, Cao. "Synthesis of MnO_2 Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

¹⁵ KEYTRADE. "Ficha técnica Del permanganato de potasio" Mexico

¹⁶ HUAN-QIN, Wang; MING-BO, Zheng; JIN-HUA, Chen; GUANG-BIN, Ji; Jie-ming, Cao. "Synthesis of MnO_2 Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010)

puesto que presenta mayor cantidad de concentración en las pruebas realizadas por la empresa patrocinadora. En las fuentes hídricas se tratara de abarcar diferentes procesos industriales, en un solo proceso, en donde se usa como soporte diferentes sales entre ellas NaCl, como un electrolito fuerte, para su oxidación (HClO/CIO) electro generados por un medio conductor; estos materiales anódicos son hechos a base de diamante dopados con boro comúnmente denominados (BDD)¹⁷, donde su ventaja es poder trabajar con potenciales elevados de oxígeno y la generación de especies oxidantes como el radical hidroxilo; debido a su elevado costo se busca reemplazar por ánodos estables (DSA), que son base de mezclas de óxido metálicos IrO_2, RuO_2, TiO_2 , entre otros, las pruebas arrojan que son buenos para el tratamiento de efluentes y por su bajo costo son buenos electro catalizadores de especies inorgánicas.

El uso del cloro como blanqueador textil, conduce a la reducción del oxígeno disuelto en el tratamiento, pero por esta misma acción el cloro puede producir materiales tóxicos que afectan a la calidad del efluente. Los métodos tradicionales para el tratamiento de aguas residuales son la reducción de DBO y DQO, para la conservación de la vida acuática, pero el hecho que contenga pigmentos restringe el paso de luz, es por eso que se usan los tratamientos fisicoquímicos para la reducción de color, de la mano con procesos biológicos de la forma aerobios y anaerobios¹⁸. Pero en términos de eficiencia es mejor el proceso aerobio, uno de los más usado es la biopelícula, en donde el microorganismo es soportado en una superficie y el agua hace contacto con la mismo, esto para realizar el tratamiento¹⁹. Uno de los avances de los métodos es la adsorción, donde los productos químicos como el cianuro y derivados del fenol pueden eliminarse por este proceso, el carbón activado es usado para tratamiento de adsorción, el material contaminado se adhiere a la superficie porosa del carbón para hacer su remoción mucho más sencilla, como este existen un sin fin de procesos para su total purificación.

Un proyecto en conjunto de la Universidad Industrial de Santander (UIS) desarrollaron una fibra nanotecnológica para la fijación de color y la degradación del mismo, por medio de fibras naturales, entre ellas está el Fique, por medio de una impregnación de ultrasonido, en donde primero se eliminar material sobrante, entre ellos carbonatos, lignina, clorofila y otros, la fibras tratadas se sometieron a un proceso de lavado en HCl al 5 % y NaOH del 6% , para después sumergirlas en $KMnO_2$, por irradiación de ultrasonido. Con este proceso se espera realizar una remoción de color, este proceso aun es experimental de parte de la universidad con

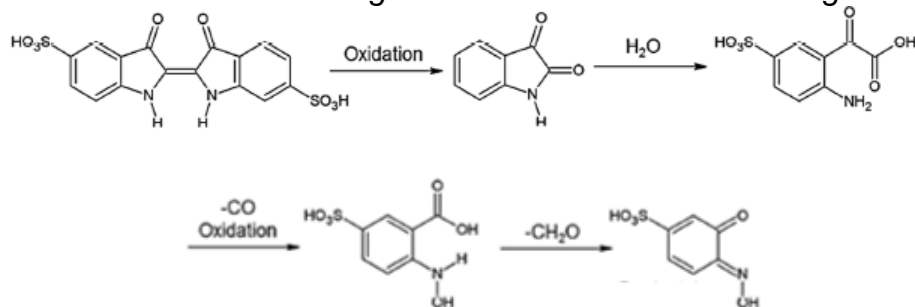
¹⁷ MARTÍN CORTÉS, Yolanda. "Estudio de la degradación electroquímica de la Desmetrina en medio acuoso". Barcelona (2013)

¹⁸ Jiménez Garzón, Rossana Catherine. "Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por Hongos y Bacterias" Universidad Javeriana. Bogotá (2009)

¹⁹ PHILLIPS, PL; WOLCOTT, RD; FLETCHER, J; SCHULTZ, GS. "Biofilms made easy" Wounds International. Florida (2010)

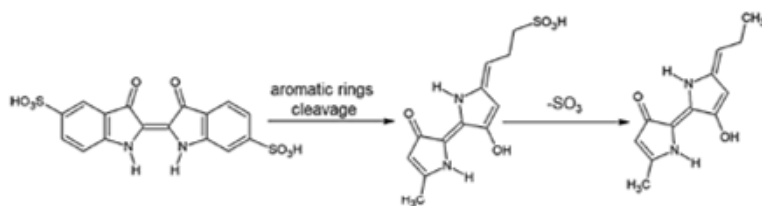
resultados satisfactorios en la reducción del colorante azul índigo, en la actualidad se emplean diferentes métodos para la reducción de color, es por esto que se desea poder encontrar el mejor método que sea eficiente y viable económicamente para usarlo en la industria colombiana que se está viendo afectada por los contaminantes en sus ríos o canales. La reacción que vincula la degradación del azul índigo por las diferentes rutas de oxidación por acción de la nanopartícula de óxido de manganeso se puede mostrar en la ilustración 4744 que corresponde a la ruta de degradación 1 y la ilustración 66746 que corresponde a la ruta de degradación 2.²⁰

Reacción 1. Ruta 1 de degradación de colorante azul índigo.



Fuente. BLANCO TIRANO, Cristian; CHACÓN PATIÑO, Martha; COMBARIZA, Marianny y HINESTROZA, Juan; “Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation” Green Chemistry. (2013). pág. 10

Reacción 2. Ruta 2 de degradación de colorante azul índigo



Fuente. BLANCO TIRANO, Cristian; CHACÓN PATIÑO, Martha; COMBARIZA, Marianny y HINESTROZA, Juan; “Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation” Green Chemistry. (2013). pág. 10.

²⁰ Blanco Tirano, Cristian; Chacón Patiño, Martha; Combariza, Marianny Hinestroza, Juan; “Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation” Green Chemistry. (2013).

De acuerdo con las investigaciones realizadas anteriormente la plantilla realizada por cada uno de estos proyectos debe contener un nivel alto en celulosa, lignina y otros componentes característicos de la estructura vegetal, llegando al punto en donde el plátano que es un cultivo característico de Cundinamarca y es posible obtener el máximo beneficio de este proceso industrial vinculado con la producción de plátano en Colombia.

DACETEX Ltda.: Es una empresa encaminada a solucionar las necesidades de la industria textil mediante el desarrollo de las tecnologías y continuas transformaciones amigables con el medio ambiente. Esta empresa tiene una experiencia de 24 años en donde ha ayudado a facilitar, transformar y crear productos para la industria textil, conforme cambia el mercado se ha creado productos como antiespumantes, humectantes, suavizantes, antiestáticos, entre otros.

1.2 MARCO LEGAL

Los parámetros legales para la implementación de un tratamiento estándar en la reducción de color están relacionados con las normas colombianas para el tratamiento de aguas residuales incluye aspectos técnicos, económicos y ambientales. En el siguiente cuadro se hace un resumen de las principales leyes, decretos y resoluciones enfocados al tratamiento.

Cuadro 2. Normas aplicadas para el tratamiento de aguas residuales en la industria textil.

Norma	Descripción
Resolución 075 del 25 de enero de 2011	Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual a la red de alcantarillado y aspectos relacionados con el ámbito de aplicación y reporte de información
Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010	El decreto establece condiciones relacionadas con ordenamiento del recurso hídrico, destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas; criterios de calidad para destinación del recurso; prohibiciones en materia de vertimientos; protocolo para el monitoreo de los vertimientos en aguas superficiales.

Ley 373 del 6 de junio de 1997	Establece el programa de uso eficiente y ahorro de agua.
Resolución 273 del 1° de abril de 1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).
Resolución CRA 287 de 2004	“Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado”
Resolución 0631 del 2015	Por lo cual se establece parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y los sistemas de alcantarillado público.

1.3 POSIBLE PLANTILLA

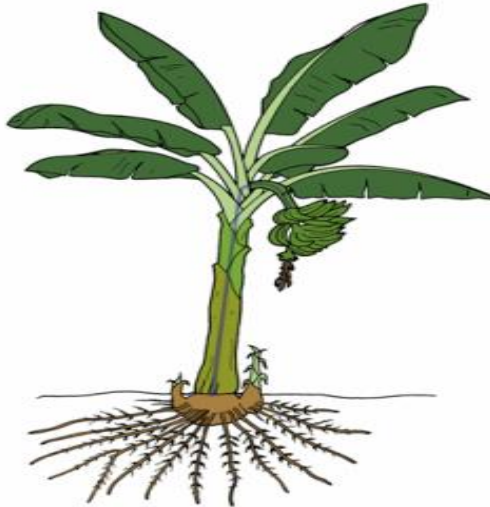
Los parámetros para escoger la plantilla están relacionados con la disponibilidad, acceso a la materia prima y como se puede tratar en las instalaciones para su tratamiento, es por eso que analizando se escoge como fibra un desecho, dando como oportunidad el aprovechamiento de estos residuos debido a la producción de plátano a nivel Cundinamarca (200.000 Toneladas de Tubérculos y plátanos)²¹.

La planta de plátano o banano es una hierba de gran tamaño las cuales son denominadas hierbas porque sus partes aéreas caen al suelo y en la base surge un brote denominado hijo, que al poco tiempo reemplaza a la planta madre. Este tipo de hierba contiene diferentes partes entre estos el Rizoma que se encuentra debajo de la tierra y de este se desprenden las hojas, un pseudotallo que se parece a un tronco pero en realidad es un tallo falso, esto formado en casi toda su estructura con agua y puede resistir hasta 50 kg o más, las hojas que es el órgano fotosintético de la planta que emerge del pseudotallo, entre otras partes, la atención que se tiene

²¹ Gobierno digital Colombia. Cadena Productiva Plátano - Area, Producción Y Rendimiento. Datos abiertos Gobierno digital Colombiano. En línea: <<https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Cadena-Productiva-Pl-tano-Area-Producci-n-Y-Rendim/uw9z-pgwy/data>> citado: 2017- septiembre-15.

con este tipo de planta es el hecho su gran producción de desecho, al momento de florecer los plátanos, el siguiente paso para la producción de la siguiente temporada es el corte diagonal de todo el tallo falso, que sin uso comercial es arrojado y depositado, es de esta forma que se tiene una visión para el desarrollo de estos psudotallos y así contribuir con la reducción de contaminantes que producen las grandes compañías productoras de prendas.

Ilustración 1. Planta de plátano.



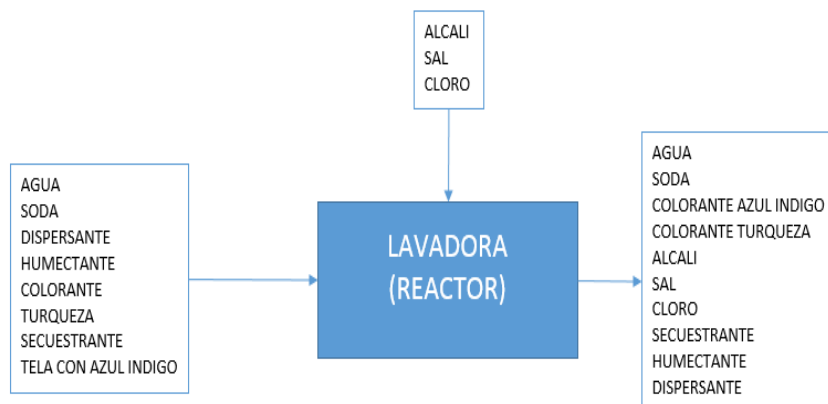
Fuente. VÉZINA, Anne y BAENA, Margarita. Morfología de la planta del banano: mata de banano. Disponible en <<http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>>. Recuperado agosto/10/2017.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE VERTIMIENTOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL COLOMBIANA

Se seleccionaron dos muestras. La muestra A y B, se solicita a la empresa patrocinadora DACETEX Ltda. , que se encargue de la toma de muestra de cada una de las empresas a la cual se distribuye sus insumos, es por esta razón que se reserva el anonimato de las mismas. La toma de cada una de las muestras corresponde al agua que sale del vertimiento de la empresa hacia el alcantarillado, en donde cada empresa realiza un tratamiento previo para ser desechadas a los vertimientos hídricos, en el momento de la toma de muestra se realizó su respectiva rotulación para luego ser llevadas a las instalaciones del laboratorio del Tecnoparque SENA, en la caracterización contamos con un periodo no mayor a 15 días para poder comparar los valores de la normativa 0631 con los resultados obtenidos en la experimentación, pasado estos días la muestra entrará en un proceso de descomposición que altera los parámetros que se evaluarán, tomando estos aportes es necesario realizar el estudio en el periodo de tiempo más corto posible.

El proceso de tinción que se realiza al interior de las diferentes empresas se puede resumir en la ilustración 2 el cual es el diagrama de procesos de las empresas, que muestra los compuestos como humectante, colorante, secuestrante, detergente y desengrasante que se usa en el descruce, y la cantidad de solución de antiqiebre en el proceso de teñido; la cual es utilizada para darle una mayor resistencia a la prenda.

Ilustración 2. Proceso de teñido empresa A y B



Descrude:

- 15 °C – 80 °C
- 1 g/L Detergente
- 0.5 g/L NaOH
- 1 g/L Desengrasante

Teñido:

- 1 g/L Desengrasante
 - g/L Anti quiebre
 - 10 g/L NaCl
- Colorante 0.1, 0.2 %

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Se tomaron dos diferentes muestras las cuales son; la muestra A que es la muestra que se obtuvo después de un breve tratamiento el cual consta de una trampa de calor en donde en su recorrido tiene filtros para retirar las partículas de mayor tamaño; y continuamente ser desechados a los vertimientos y la muestra B es aquella agua que se encuentra sin ningún proceso previo la cual contiene una mayor concentración de motas, grumos de colorante y solidos que la muestra A.

En el análisis de la muestra se escogieron las pruebas más relevantes para determinar las condiciones en las cuales se encuentran los vertimientos de la industria textil y estos son arrojados al medio; estos análisis se tomaron según la resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible²² donde menciona las condiciones máximas permisibles legas en los cuales se pueden verter los residuos industriales denominados “fabricaciones de productos textiles”

²² MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 del 2015 de ministerio de ambiente y desarrollo sostenible: “Fabricación de productos textiles. Recuperado”. En línea: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.

Tabla1. Límites máximos para la fabricación de productos textil

Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas.	
Parámetros	Límites máximos permisibles
Ph	6,0 - 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	400
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	200
Sólidos suspendidos totales (SST)	200
Sólidos sedimentables (SS)	2
Fenoles	0,2
Sólidos totales (ST)	-9

Fuente. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MINAMBIENTE). Resolución 0631 del 2015: Fabricación de productos textil. pág. 16

En el desarrollo de este capítulo se expondrán los diferentes análisis para poder determinar las condiciones ambientales de las muestras que se tratarán.

2.1.1 Sólidos suspendidos. Esta prueba se llevó a cabo mediante el seguimiento de la Norma Técnica Colombiana 897²³, en la cual muestra los pasos para determinar los sólidos suspendidos de una muestra de agua. El desarrollo de este análisis se hizo con las dos muestras (A y B) donde cada muestra se repitió 3 veces para así poder sacar la desviación estándar y obtener un dato más verídico en el resultado de cada muestra; en el anexo A se encuentran los equipos, materiales y protocolo para la determinación de los sólidos suspendidos.

Montaje

El proceso anterior se llevó a cabo con el siguiente montaje:

²³ Instituto Colombiano de Normal Técnicas (ICONTEC). Calidad del agua “Determinación de contenido de sólidos”. Segunda actualización. NTC 897. Bogotá (2015). Pág. 8-10

Foto 1. Equipo de filtración al vacío



Datos y cálculo de resultados.

Ecuación para determinar la muestra.

Los resultados de la muestra se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación

Ecuación 1. Determinación de los sólidos suspendidos totales.

$$SST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

- SST: sólidos suspendidos totales
- A: peso final de la muestra seca
- B: peso del filtro
- V: volumen de la muestra

Calculo de resultados sólidos Suspendidos

Los resultados de las dos muestras están resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultado de Solidos Suspendidos

Prueba	Papel filtro (g)	Papel muestra (g)	Muestra (ml)	SST (mg/L)	desviación estándar	Promedio (mg/L)
A 1	0.093	0.099	50	0.122	0.037	0.081
A 2	0.096	0.099		0.050		
A 3	0.094	0.098		0.070		
B 1	0.094	0.100		0.122	0.013	0.131
B 2	0.094	0.101		0.146		
B 3	0.094	0.100		0.124		

2.1.2 Sólidos Totales Disueltos. Los sólidos totales disueltos (TDS) es una medida de la materia en una muestra de agua, la cual no puede ser removida por un filtro tradicional, esta muestra está compuesta por la suma de todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua, el cual nos determina un indicador para la calidad del agua. El desarrollo de esta experimentación se realizó basada en la NTC 897²⁴, el protocolo y los equipos utilizados para desarrollar esta experimentación se encuentran en el anexo A.

Notas de procedimiento

- Para desarrollar la experimentación de sólidos disueltos totales esta se llevó a cabo simultáneo con el análisis de sólidos sedimentados por lo tanto no se repitió los procesos del a hasta la f de dicha experimentación; pero el demás proceso se realizó como se describió en el protocolo.
- Se tomó una muestra de 20 ml del agua ya filtrada debido a que la capacidad de los crisoles es de ese volumen.
- Este proceso se realizó con 3 réplicas para cada muestra (A1, A2, A3, B1, B2, B3).

Datos y cálculos de resultados

Ecuación para la determinación de la muestra

La muestra analizada se puede calcular por medio de esta ecuación:

Ecuación 2. Determinación de sólidos disueltos totales

$$SDT = \frac{(C - D)1000}{V}$$

Donde:

- ST: sólidos totales (mg/ml)
- C: peso final de la cápsula con el residuo seco, Gramos
- D: peso inicial de la cápsula tarada en gramos
- V: volumen de la muestra desecada, en litros

Cálculos de resultados sólidos disueltos totales.

²⁴ Instituto Colombiano de Normal Técnicas (ICONTEC). Calidad del agua "Determinación de contenido de sólidos". Segunda actualización. NTC 897. Bogotá (2015). Pág. 5-6

Tabla 3. Resultado solidos disueltos totales

Prueba	Crisol vacío (g)	Crisol seco (g)	Muestra (ml)	TDS (mg/ml)	desviación estándar	Promedio
A 1	16.591	16.638	20	2.335	0.314	1.985
A 2	15.868	15.906		1.890		
A 3	16.715	16.750		1.730		
B 1	17.118	17.195		3.860	1.162	4.870
B 2	14.511	14.634		6.140		
B 3	37.666	37.758		4.610		

2.1.3 Sólidos Totales secados a 103 – 105 °C. Los sólidos totales se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 – 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas y no disueltas; los análisis de solidos totales son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertimiento.²⁵

Esta prueba se realizó con la Norma Técnica Colombiana 897²⁶ donde se determinó los sólidos totales que tenemos en las muestras (A y B), realizando los procedimientos establecidos en la guía la cual se encuentra en el anexo A, se lleva a cabo este análisis por el efecto negativo que afecta la calidad del agua, se denominan los sólidos totales a los residuos que después de evaporado y secado a 103 °C, se combinan en este la porción de sólidos disueltos y los sólidos no disueltos.

Notas de procedimiento

- Los crisoles siempre tienen que ser manipulados con unas pinzas metálicas ya que el contacto con las manos causa que estos aumenten su peso
- El tiempo en el desecador es de 2 horas es necesario para asegurar que el peso en la balanza analítica sea constante.
- El análisis a calcular se hizo con un volumen de 20 ml

Datos y cálculo de resultados

Ecuación para determinar la muestra

La muestra analizada se puede calcular por medio de esta ecuación:

²⁵ BARBA HO, Luz Edith." Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición). Universidad del Valle. Santiago de Cali (2002).

²⁶ Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). Calidad del agua "Determinación de contenido de sólidos". Segunda actualización. NTC 897. Bogotá (2015). Pág. 4

Ecuación 3. Calculo de Solidos totales

$$ST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

- ST: solidos totales (mg/mL)
- A: peso final de la capsula con el residuo seco, Gramos
- B: peso inicial de la capsula tarada en gramos
- V: volumen de la muestra desecada, en litros

Tabla de resultados sólidos totales

Tabla 4. Resultado prueba solidos totales

Prueba	Crisol vacío (g)	Crisol seco (g)	Muestra (ml)	ST (mg/ml)	desviación estándar	Promedio
A 1	18.396	18.429	20	1.650	0.227	1.857
A 2	22.391	22.433		2.100		
A 3	19.211	19.247		1.820		
B 1	16.943	17.055		5.595	0.753	5.393
B 2	18.524	18.645		6.025		
B 3	29.288	29.380		4.560		

2.1.4 Sólidos totales Sedimentables. Esta práctica se realizó de acuerdo buscando la mayor sedimentación de los sólidos que contenga la muestra, donde se expone a una centrífuga a 400 RPM, por 20 minutos a una temperatura de 15 °C, donde se tiene un resultado positivo de sólidos en forma de precipitado.

Nota de procedimiento

- Este proceso no se llevó a cabo mediante un cono imhoff debido a que los sedimentos que tiene la muestra son muy pocos ya que estas muestras antes de ser expuestas a los vertimientos pasan por un pre tratamiento en donde se retiran la mayor parte de los sedimentos de la muestra.

Datos y cálculos de resultados

Ecuación para determinar la muestra

Ecuación 4. Ecuación solidos totales

$$STS = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

- STS: Sólidos totales Sedimentados (mg/ml).
- A: peso final de la cápsula con el residuo seco, Gramos.
- B: peso inicial de la cápsula tarada en gramos.
- V: volumen de la muestra desecada, en litros.

Tabla de resultados de Solidos Totales Sedimentados:

Tabla 5. Resultado de solidos sedimentados

Prueba	Frasco vacío (g)	Crisol seco (g)	Muestra (ml)	STS (mg/ml)	desviación estándar	Promedio
A 1		13.343		11.765		
A 2		13.139		6.665	3.932	7.487
A 3		13.034		4.030		
B 1	12.872	13.890	40	25.450		
B 2		13.085		5.323	10.096	15.852
B 3		13.544		16.783		

2.1.5 Análisis de pH. El análisis de pH determina la concentración de iones de hidrógeno o la acidez del agua; se debe tener en cuenta que un valor de pH por debajo de 6.5 podría indicar un agua corrosiva la cual puede movilizar metales²⁷; si el pH de las muestras está por debajo de 6.5 se tendría que realizar un análisis de metales. El pH en los análisis que se realizaron son de carácter importante para acatar la resolución 0631 del 2015, donde exige un pH promedio de 6 – 9, estos valores deben ser ajustados bien sea al momento de salida de la planta o en el proceso de tratamiento a la trampa, los valores establecidos por el equipo de medición que fue un pH metro de marca jenway, equipo que nos facilitó las instalaciones del Tecno parque del SENA.

Equipos y montaje

- **pHmetro:** es un instrumento utilizado para medir el pH de una solución. Su funcionamiento consta de un electrodo, el cual es sumergido en la sustancia haciendo que genere una corriente eléctrica, lo que permite que la concentración de iones de hidrógenos presentes en la solución de como resultado una corriente eléctrica. Esto se da por medio de la membrana de vidrio que tiene el pHmetro

²⁷ ADÁN SINGLER W.; JIM, Bauder. "Educación en el agua en pozo". Northern Plains and Mountains. (2015). En línea:
<http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf>

la cual obtiene la sensibilidad y selectividad de las dos soluciones de concentración; cabe resaltar que este equipo debe estar en una solución buffer para que no se dañe el electrodo.²⁸

Foto 2. Medición del pH de la muestra a tratar



- **pirómetro o termómetro**

Materiales y vidriería

- vaso precipitado de 500 ml
- frasco lavador

Procedimiento análisis pH

- a. Se alisto el pHmetro, el cual se retira el electrodo de la solución buffer.
- b. Se agita la muestra y es expuesta en un vaso precipitado de 500 ml.
- c. El electrodo el lavado con agua destilada y es sumergido en la muestra a analizar.
- d. Con un pirómetro o termómetro se determina la temperatura de la ya que existe una relación entre la temperatura y el pH de la solución.
- e. Se modifica la temperatura de la muestra en el pHmetro para que este arroje un valor exacto del pH con las condiciones de la muestra.
- f. Cada vez de ser utilizado el electrodo en la muestra este tiene que ser lavado con agua destilada.

²⁸ instrumentos de laboratorio. "pHmetro" (2014). En línea: <<http://instrumentosdelaboratorio.org/phmetro>>.

Notas de procedimiento

- Esta experimentación se realizó siguiendo la Norma Técnica Colombia 3651 en la cual se describe el protocolo para determina el pH en el análisis de la calidad del agua.²⁹

Resultados de la muestra en el pHmetro:

Tabla 6. Medición de pH de las muestras

prueba	temperatura (°C)	pH	desviación estándar	promedio
A 1	173	7.42		
A 2	171	7.41	0.01	7.42
A 3	166	7.42		
B 1	166	7.26		
B 2	166	7.25	0.01	7.25
B 3	165	7.25		

2.1.6 Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO). La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; las sustancias orgánicas e inorgánicas son oxidadas mediante una solución fuertemente acida como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de sulfato de plata ($HgSO_4$) este proceso es calculado en términos de oxígeno equivalente.

Para el análisis de la demanda química de oxígeno se sigue los protocolos en la preparación de los patrones de la guía de laboratorio del IDEAM con el código TP0086 ³⁰, donde se realizaron las soluciones correspondientes para el análisis , con una diferencia en el procesos de titulación con la soluciones digestoras, el proceso se realizaría por medio de una curva de calibración de los viales de DQO ³¹, mediante el espectrofotómetro se realiza la curva y leyendo la absorbancia de la muestra se calcula la concentración a la cual se encuentra la muestra, los datos y la curva de calibración se especifican en la gráfica 1.

²⁹Instituto Colombiano de Normal Técnicas (ICONTEC). Calidad del agua "Determinación del pH". Reaprobada (2002). NTC 3651. Bogota

³⁰ Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. "Demanda Química de Oxígeno". Quinta versión (2007). Pág. 1-11

³¹ IMPEC. "Viales de demanda Química de Oxígeno". Argentina. Pág. 1-4

Procedimiento

Procedimiento para la curva de calibración

- a. A partir de la solución estándar de biftalato de potasio se obtiene una dilución para tener unas concentraciones de 100 mg/l, 200 mg/l, 500 mg/l, 1000 mg/l y 1500 mg/l
- b. En cada tubo de digestión se agrega 2 ml por cada concentración y se agrega 1.5 ml de la solución digestora y 3.5 ml de reactivo de ácido sulfúrico.
- c. Se realiza la muestra del blanco en el cual en el tubo de digestión se agrega 2 ml de agua desionizador, 1.5 ml de solución digestora y 3.5 ml de reactivo de ácido sulfúrico.
- d. Se precalienta el termo reactor a una temperatura de 150 °C
- e. Los 6 tubos de digestión con sus diferentes soluciones son puestas en el termo reactor durante 2 horas.
- f. Se cumple las dos horas en el termo reactor se espera a que los tubos digestores se enfríen para después ser leídos en el espectrofotómetro.
- g. Cada muestra es leída en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 para así poder determinar la curva de calibración.
- h. Se registra los datos para calcular la curva de calibración con los 5 puntos tomados; para después determinar el DQO de la muestra ³²

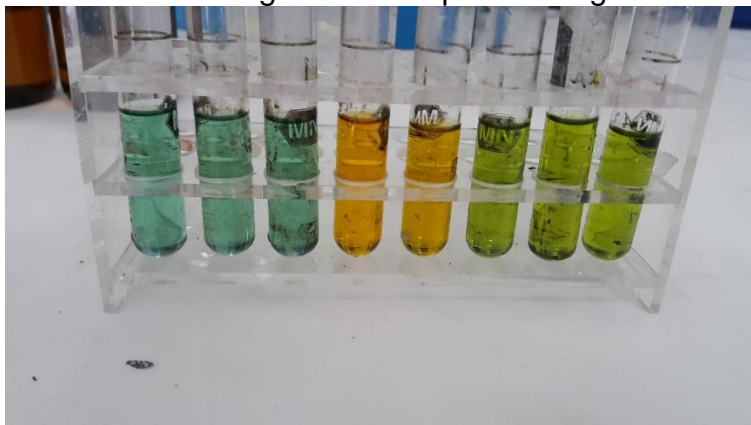
Procedimiento para determinar el DQO de la muestra

- a. Se precalienta el digestor a una temperatura de 150 °C
- b. En cada tubo de digestión se agrega 2 ml de la muestra, 1.5 ml de la solución digestora y 3.5 ml del reactivo de ácido sulfúrico.
- c. Se realiza la muestra del blanco en el cual en el tubo de digestión se agrega 2 ml de agua desionizada, 1.5 ml de solución digestora y 3.5 ml de reactivo de ácido sulfúrico.
- d. Se lleva los tubos al digestor durante 2 horas a una temperatura de 150 °C
- e. Terminado el tiempo en el termo reactor se enfrían los tubos de digestión a una temperatura ambiente para ser leídas en el espectrofotómetro
- f. Ya enfriadas las muestras se leen en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600.
- g. Se registra los datos de absorbancia de las muestras y con la curva de calibración se determina la demanda química de oxígeno en cada muestra.³³

³² Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. "Demanda Química de Oxígeno". Quinta versión (2007). Pág. 7-9

³³ IMPEC. "Viales de demanda Química de Oxígeno". Argentina. Pág. 3

Foto 3. Tubos Digestores después de digestión



Notas de procedimiento

- En las guías de laboratorio del IDEAM se obtuvo un valor cercano en la cual debería estar la muestra para así poder determinar la longitud de absorbanza y el grado de disoluciones para la curva de calibración; ya que la muestra se encuentra en un rango de 0 – 1.500 mg/l de demanda química de oxígeno.
- Por cada muestra se hicieron 3 tubos de digestión, para tener una respetabilidad más acertada.
- Las soluciones realizadas deben permanecer en frascos winkler ya que no pueden ser expuestas a la luz.

Datos y cálculos de resultados

- **Cálculo curvo de calibración.** El fin de este procedimiento se realizó, ya que por medio de la curva de calibración del biftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$) se pueda calcular la demanda química de oxígeno de las muestras a analizar ya que se sabe que el biftalato tiene un DQO teórico de 1.176 mg de O_2 /mg y la solución tiene un DQO teórico de 500 mg de O_2 /L³⁴.

A partir de las diferentes concentraciones de solución de biftalato de potasio se determinó la curva por medio de un espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. Por medio de los datos obtenidos en la experimentación se realizó la curva de calibración y mediante su regresión lineal se determinó la ecuación para determinar el DQO en las muestras analizadas. Los datos para la curva de calibración se encuentran en la tabla 19 y la gráfica correspondiente a los datos se representa en la gráfica 1.

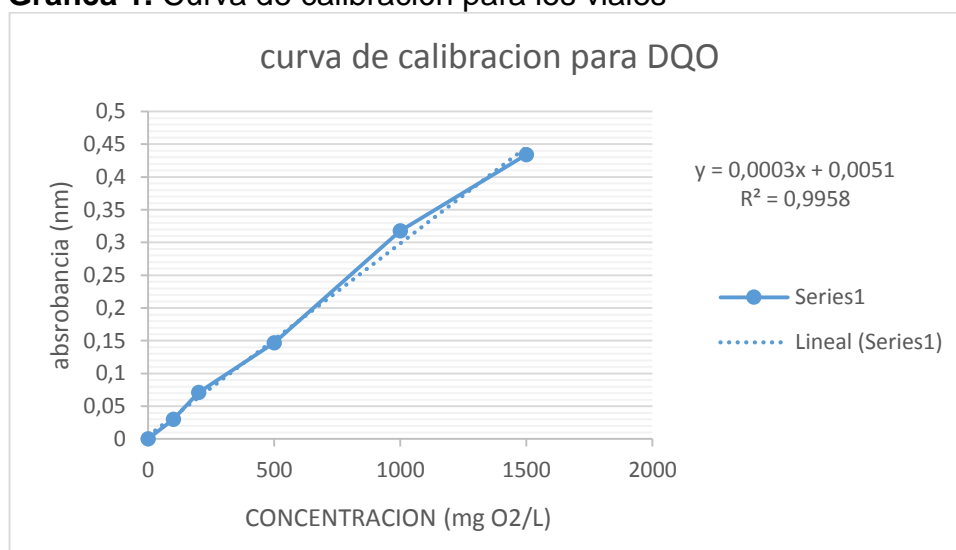
³⁴ Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. “Demanda Química de Oxígeno”. Quinta versión (2007).

Tabla 7. Curva de calibración

Concentración de $C_8H_5KO_4$	Absorbancia
0	0
100	0,03
200	0,071
500	0,147
1000	0,318
1500	0,434

La recta establece la ecuación para obtener un valor aproximado de la concentración de DQO presente en la muestra³⁵.

Gráfica 1. Curva de calibración para los viales



Mediante la ecuación de la regresión lineal de la gráfica 1 se despeja para obtener la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Regresión para determinar la concentración de DQO en la muestra.

$$X = \frac{(Y - 0.0051)}{0.0003}$$

Donde

- X: el resultado del DQO de la muestra en unidades de mg O_2/L .
- Y: la absorbancia de la muestra en el espectrofotómetro.

³⁵ IMPEC. "Viales de demanda Química de Oxígeno". Argentina. Pág. 1-4

Resultado del DQO de la muestra

Por medio de la ecuación obtenida por la curva de calibración y la absorbancia leída en el espectrofotómetro se puede determinar la demanda química de oxígeno para la muestra. Los datos son los siguientes:

Tabla 8. Resultado DQO muestra A

absorbancia	Concentración	desviación estándar	promedio
0,23	749,67		
0,221	719,67	15,28	733
0,224	729,67		

Tabla 9. Resultado DQO muestra B

absorbancia	Concentración	desviación estándar	promedio
0,19	616,33		
0,21	683,00	38,49	660,78
0,21	683,00		

2.1.7 Análisis de la demanda biológica de oxígeno (DBO). La demanda biológica de oxígeno (DBO) al igual que el DQO establece la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica que cuenta con los cuerpos naturales de agua, el DBO es una medida en donde la materia orgánica biodegradable se estabiliza en un periodo de incubación de cinco días a una temperatura promedio de 20 °C³⁶, para este método los intervalos aceptados van desde 2 a 5000 mg/L, el método que se emplea es un ensayo de DBO a los 5 días en el cual se determinara la demanda química de oxígeno por medio de una titulación la cual se realizara al inicio de la prueba y pasando los 5 días. La diferencia de los dos datos obtenidos nos permitirá obtener el DBO de las muestras; este proceso se realizará siguiente la metodología de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 3630.

Procedimiento

Procedimiento de incubación de cinco días

a) Se agrega 1 ml de las soluciones preparadas a cada una de las botellas winkler.

³⁶ Instituto Colombiano de Normal Técnicas (ICONTEC). Calidad del agua "Demanda Química de Oxígeno". Primera actualización (2002). NTC 3630. Bogota

- b) Los criterios de dilución de la muestra se expresan con aguas superficiales contaminadas que se toman 5 ml.
- c) Las muestras se incuban durante los 5 días para establecer los valores de oxígeno disuelto.

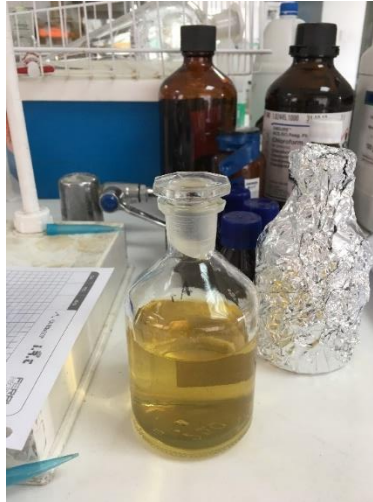
Foto 4. Muestra A antes de la incubación de 5 días.



Nota del procedimiento

- La determinación de oxígeno disuelto de la muestra inicial sin incubación se realiza con el mismo parámetro que establece la guía de laboratorio NTC 3630.

Foto 5. Volumen Precipitado con Ácido sulfúrico



Los datos experimentales que se encontraron a la muestra inicial, se muestran en la tabla 12, esto muestra la cantidad de oxígeno que contiene la muestra al salir de la planta.

Tabla 10. Oxígeno disuelto inicial

muestra	ml O_2	desviación estándar	promedio
A 1	3.40		
A 2	3.10	0.21	3.25
B 1	4.20		
B 2	4.70	0.35	4.45

El proceso de incubación de la muestra es de 5 días, se titula la muestra determinando la cantidad de sulfato manganoso, los datos relacionados se muestran en la tabla 13 con la cantidad de solución gastada para su cambio de color.

Tabla 11. Oxígeno disuelto 5 días después

muestra	ml O_2	desviación estándar	promedio
A 1	4.00		
A 2	3.70	0.21	3.85
B 1	4.50		
B 2	5.30	0.57	4.90

La concentración de la demanda biológica de oxígeno se puede calcular de la ecuación 6, en la que se compara el valor de oxígeno disuelto inicial y el oxígeno que se consume 5 días después.

Ecuación 6. Demanda biológica de oxígeno

$$DBO = \frac{(OD_5 - OD) * 300}{5}$$

El límite permisible es de 200 mg/L según la resolución 0631³⁷, para la muestra que se tiene de la empresa A y B, los valores arrojados se muestran en la tabla 12.

³⁷ Resolución 0631 del 2015 de ministerio de ambiente y desarrollo sostenible: "Fabricación de productos textiles. Recuperado". En línea: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Tabla 12. Demanda biológica de la muestra A y B

muestra	resultado DBO	unidades
muestra A	36	mg O_2 /L
muestra B	27	mg O_2 /L

La concentración para la muestra A es de 36 mg O_2 /L y para la muestra B es de 27 mg O_2 /L, este rango de concentraciones permite establecer que ambas empresas cumple con lo permitido en la resolución siendo el valor máximo de 200 mg O_2 /L.³⁸

2.1.8 Análisis de Fenoles. Los fenoles son solubles en agua, estos son el resultado de residuos industriales que combinados con cloro forman cloro fenoles que presentan problemas ambientales³⁹, el método que se aplica es para calcular intervalos de 0.01 a 0.4 mg/L es un método espectrofotométrico en el que se determina directamente los compuestos fenólicos, la guía de laboratorio que se emplea en este caso es la del código TP0456, en donde los compuestos fenólicos reaccionan con 4-aminoantipirina a un pH de 10 y se extrae con cloroformo medidos a una absorbancia de 460 nm. La muestra se guardó en frasco de polipropileno de 500 ml, estos están sujetos a oxidación biológica y química es por esto que se debe preservar en un pH menor 4 con ácido sulfúrico y la toma de la muestra no exceder los 28 días de la recolección, los análisis se realizaron para la muestra B que presenta al momento de la deposición en los efluentes hídricos no contiene ningún pre-tratamiento para su descontaminación⁴⁰.

Procedimiento de análisis

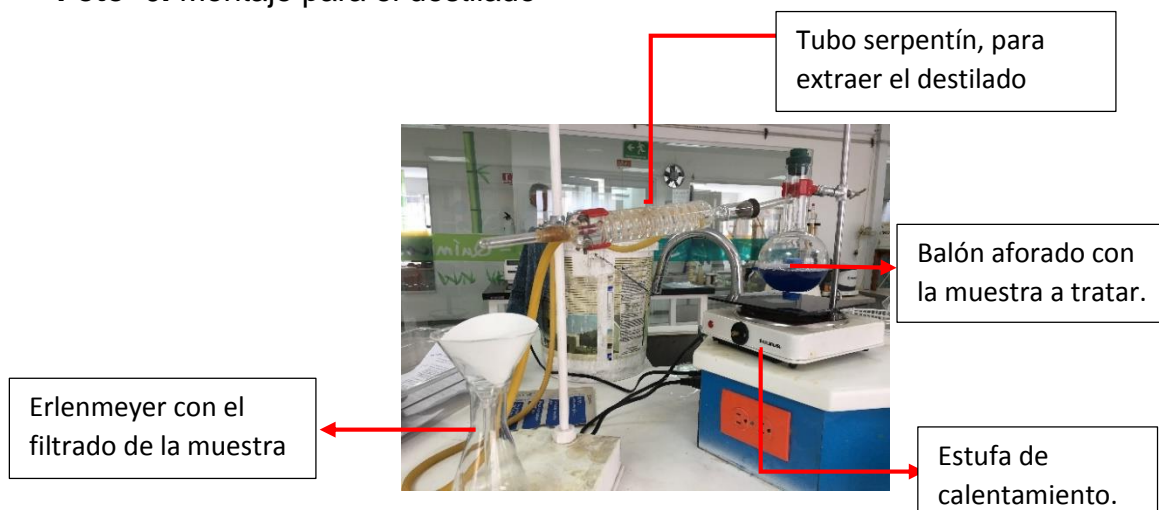
- La muestra se ajusta un pH de 4,0
- Se realiza todo el montaje de la destilación para extraer la mayor cantidad de fenoles presentes en la foto 9.

³⁸ Resolución 0631 del 2015 de ministerio de ambiente y desarrollo sostenible: "Fabricación de productos textiles. Recuperado". En línea: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

³⁹ Barba Ho, Luz Edith." Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición). Universidad del Valle. Santiago de Cali (2002)

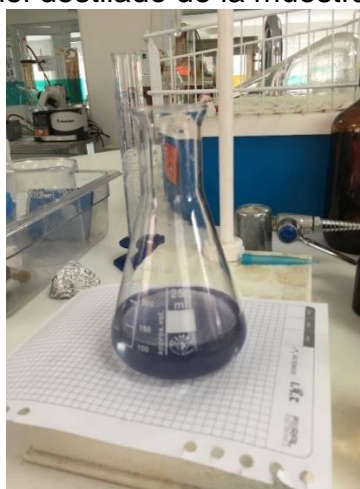
⁴⁰ Rodríguez, C. "Fenoles en agua por destilación, extracción con cloroformo y determinación espectrofotometría". IDEAM. Bogota (2007).

Foto 6. Montaje para el destilado



- c) Se destila aproximadamente 150 ml, se deja reposar por 20 min, se llena nuevamente el balón y se destila hasta reunir 200 ml.
- d) Se filtra cada muestra evitando así el arrastre de impurezas.
- e) Se transfiere cualitativamente los 200 ml obtenidos a un embudo de destilación.

Foto 7. Extracto del destilado de la muestra residual



- f) Agregar 2 ml de Hidróxido de amonio a cada muestra y solución patrón.
- g) Se ajusta el pH a 10, adicionando buffer de fosfato.
- h) A la solución agregar 1 ml de solución 4-aminoantipirina y 1 ml de solución de ferrocianuro de potasio
- i) Se agrega 20 ml de cloroformo a cada embudo y se tapa para separar las dos fases.
- j) Se filtra cada extracto sobre papel filtro con sulfato de sodio anhidro y se acumula el filtrado en vasos de 50 ml.

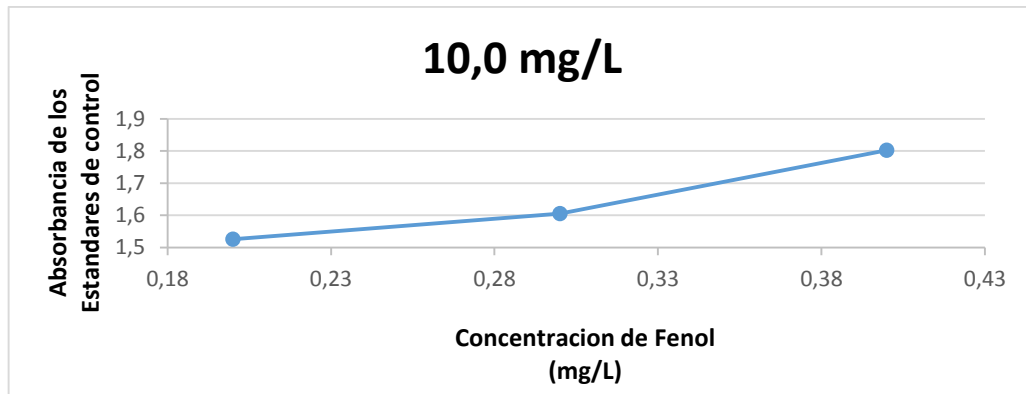
Nota de procedimiento

- El valor de absorbancia que arroja el espectrofotómetro para la muestra destilada fue de 0,513, con este valor se calcula la concentración aproximada en la muestra B.

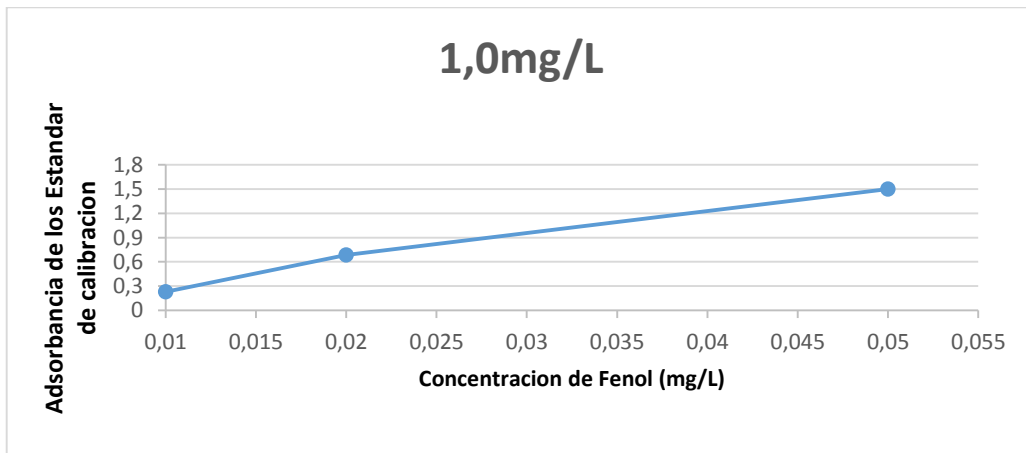
Datos y cálculos de resultados

Al momento de obtener todo el destilado la norma exige que se caracterice el valor de la absorbancia dependiendo la concentración que contenga la muestra, los patrones preparados se dividen en dos grupos, estándares de 10 mg fenol /L y los estándares de 1.0 mg fenol /L, para cada uno de estos se calcula la curva de calibración obteniendo la ecuación de la recta, mediante la lectura de cada solución preparada se lee la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm. Dando como resultado las siguientes graficas:

Gráfica 2. Curva de calibración para una concentración de 10 mg de fenol/L.



Gráfica 3. Curva de calibración para una concentración de 1 mg de fenol/L.



Las gráficas 2 y 3 corresponde a la curva para la determinación de fenoles de la muestra B la cual se determinó por los parámetros de la tabla 53 el cual se encuentra en el anexo C, en la que se determina que para las dos curvas esta se obtiene a partir 3 tres puntos.⁴¹Para los valores de 10 mg/L la ecuación 7 muestra la relación entre la absorbancia de los estándares respecto al valor de la muestra destilada, si el valor se encuentra alrededor de 10 mg/L el resultado será un valor positivo de la concentración de fenol.

Ecuación 7. Concentración de 10 mg/L de la muestra

$$y = 1,38 * x + 1,2303$$

Los valores de X en la ecuación de la recta corresponden a la concentración de los patrones respectivamente preparados y los valores de Y es la absorbancia medida previamente, de esta forma se despeja el valor de la concentración, a continuación, se muestra en la tabla 15 los resultados obtenidos.

Tabla 13. Concentración de 10 mg de fenol/L

X	Y	resultado
0,01	0,23	
0,02	0,68	-0,52
0,05	1,5	

Al momento de obtener la concentración este arroja un valor negativo, se descarta la concentración de los estándares de 10 mg/L, es por esto que los resultados en la ecuación 8 para una concentración de 1 mg de fenol /L se ajustan mucho mejor a los valores obtenidos en la medición de la absorbancia de la muestra destilada se obtiene de la misma forma que la anterior concentración a partir de esta se puede evaluar los resultados que tiene este tipo de agua residual.

Ecuación 8. Concentración de 1 mg/L de la muestra

$$y = 30,746 * x - 0,0162$$

Para la tabla 16 los parámetros de medición y el valor que arroja el despeje de la ecuación 8 para calcular el valor de x, que muestra la concentración aproximada de fenol en la muestra.

⁴¹ RODRÍGUEZ, C. "Fenoles en agua por destilación, extracción con cloroformo y determinación espectrofotometría". IDEAM. Bogotá (2007).

Tabla 14. Concentración de 1 mg/L

X	Y	Resultado
0,2	1,53	
0,3	1,61	0,02
0,4	1,80	

- **Resultado de Fenoles de la muestra.** El resultado que se obtiene del valor de despejar X , la concentración es de 0.017 mg/L, muestra condiciones aptas que pide la resolución ambiental para este tipo de efluentes, el límite permisible para este tipo de vertimiento es de 0.20 mg/L , este parámetro muestra que la muestra B contiene niveles bajos en el uso de fenol y formación en el mismo, debido a que la muestra B no tiene ningún proceso previo como en la muestra A, se determinó con la ayuda de los gestores del laboratorio que la muestra A tendría un valor cercano a la muestra B o menor de fenoles es por esta razón que no se determinó experimentalmente los fenoles de la muestra A.

2.1.9 Determinación de la concentración de colorante en la muestra. La determinación de la concentración de colorante en las aguas residuales de las dos muestras que se está tratando, es un parámetro importante para nuestra investigación debido a que nuestro proyecto se basa en la reducción del colorante. Por otra parte, no tenemos un dato para comparar el resultado con los límites permisibles que pide la resolución de la cual se basó el análisis para determinar las condiciones del agua; pero si se tendrá un dato para poder comparar la reducción de colorante después de tratar la muestra.

El procedimiento para determinar la concentración de colorante en las aguas muestras se encuentra en el anexo D donde se muestra los elementos y equipos necesarios para realizar la curva de calibración y posteriormente determinar la concentración de colorante en las muestras. La determinación de concentración se realizó mediante el método de espectrofotometría basándonos en una guía metodológica de la universidad de Antioquia.⁴²

PROCEDIMIENTO DE DATOS Y CÁLCULOS DE RESULTADOS

En la tabla 17 se muestra los datos obtenidos para determinar la curva de calibración la cual se puede observar en la gráfica 4 que mediante la regresión de

⁴² DEYMER GÓMEZ, Emilson Lean. “determinación de colorante en bebidas” universidad de Antioquia. En línea: <<https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/lab-3-determinacion3b3n-de-colorantes-en-bebidas.pdf>>. recuperado: 2017- noviembre- 1

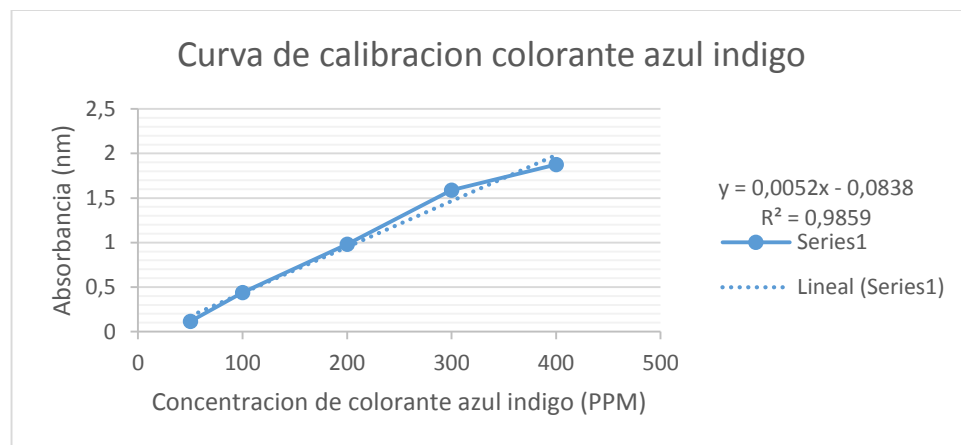
la gráfica podemos obtener la ecuación para así determinar la concentración de la muestra A y B.

Tabla 15. datos para la curva de calibración.

diluciones	concentración (g/L)	ppm	absorbancia
1	0,40	400	1,88
2	0,30	300	1,59
3	0,20	200	0,98
4	0,10	100	0,44
5	0,05	50	0,12

Con los datos obtenidos en la tabla 17 se gráfica y se determinar una ecuación mediante la regresión lineal de la gráfica para así poder obtener la concentración de colorante en las muestras.

Gráfica 3. Curva de calibración concentración de colorante.



Despejando la regresión lineal. Da como resultado:

Ecuación 9. Determinación de concentración de colorante en la muestra.

$$X = \frac{(Y + 0,0838)}{0,0052}$$

Donde:

Y: es la absorbancia que dio la muestra en el espectrofotómetro.

X: es la concentración del colorante en PPM.

Mediante la ecuación 9 se determinó la concentración de las dos muestras las cuales se pueden observar en la tabla 18.

Tabla 16. Concentración de colorante de la muestra A y B.

muestra	ABS (nm)	PPM	g/l	desviación estándar	Promedio (g/l)
A 1	0,84	177,65	0,18	1,36	178,62
A 2	0,85	179,58	0,18		
B 1	0,97	202,65	0,20	2,72	204,58
B 2	0,99	206,50	0,21		

2.1.10 Tabla Resumen de los resultados obtenidos. Los datos obtenidos aclaran un tema importante del estado actual de las aguas a tratar, donde muestra resultados favorables como los sólidos suspendidos, pero un tema importante como la demanda química de oxígeno contiene un valor elevado sobrepasando los límites permisibles, se busca minimizar estos problemas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 17. Datos obtenidos de la muestra A

Prueba	Límite permisible	Dato Obtenido	Estado
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	200	0,081	Aceptable
Sólidos disueltos totales (mg/L)	NA	1,985	Aceptable
Sólidos totales (mg/L)	NA	1,857	Aceptable
Sólidos sedimentados (ml/L)	2	7,487	No aceptable
Análisis pH	6,0 - 9,0	7,420	Aceptable
Demanda química de oxígeno (mg/L O₂)	400	747,740	No aceptable
Demanda Biológica de oxígeno (mg/L O₂)	200	72,483	Aceptable
Fenoles (mg/L)	0,2	0,017	Aceptable
Concentración de colorante (ppm)	NA	180.434	Aceptable

Tabla 18. Datos obtenidos de la muestra B

Prueba	Límite permisible	Dato Obtenido	Estado
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	200	0,131	Aceptable
Sólidos disueltos totales (mg/L)	NA	4,870	Aceptable
Sólidos totales (mg/L)	NA	5,393	Aceptable
Sólidos Sedimentados (ml/L)	2	15,852	No aceptable
Análisis pH	6,0 - 9,0	7,250	Aceptable
Demanda química de oxígeno (mg/L O₂)	400	672,030	No aceptable
Demanda Biológica de oxígeno (mg/L O₂)	200	54,362	Aceptable
Fenoles (mg/L)	0,2	0,017	Aceptable
Concentración de colorante (ppm)	NA	206.229	Aceptable

3. SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL ÍNDIGO POR MEDIO DE UN DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES EMPLEADOS

El fundamento del desarrollo experimental se base en la mejor configuración para la reducción del colorante en las muestras. Mediante la investigación se determinó que el pH de la solución a tratar (muestra A y B) y la concentración de $KMnO_4$ para impregnar nonaparticulas a la plantilla la cual será una fibra natural.⁴³ La impregnación de la fibra se realizó por medio de un ultrasonido el cual da como resultado la síntesis de MnO_4^- en algodón de Wang⁴⁴; la selección como plantilla para la impregnación fue la fibras del pseudotallo del plátano, la cual fue seleccionada, ya que se vio una oportunidad para obtener un uso adecuado para los remanentes de la cosecha de plátano en toda la región que se cultiva esta planta, el precursor en el ultrasonido es el permanganato de potasio $KMnO_4$. El permanganato de potasio se usa como reactivo en la formación de nano partículas en la plantilla escogida que será el bagazo de plátano por las capacidades en la degradación de colorantes industriales especialmente el azul índigo, el principal componente de las aguas contaminadas que se pretenden analizar, la actividad catalítica del óxido de manganeso se toma como referencia en los ensayos de peróxido de oxígeno como reacción modelo en el artículo *Oxidation of an organic dye catalyzed by MnOx nanoparticles*, en este muestra la degradación de colorantes orgánicos a partir de nanopartículas de óxido de manganeso⁴⁵.

⁴³ CHACON PATIÑO, Martha; BLANCO TIRANO, Cristian; HINESTROZA, Juan; COMBARIZA Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Fique fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013).

⁴⁴ HUAN-QIN, Wang; MING-BO, Zheng; JIN-HUA, Chen; GUANG-BIN, Ji; JIE-MING, Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

⁴⁵ POLZER, Frank; WUNDER, Stefanie; YAN Lu; BALLAUFF, Matthias. "Oxidation of an organic dye catalyzed by MnO_x nanoparticles". Journal of Catalysis. (2012)

3.1.1 Caracterización de la plantilla. El plátano es uno de los cultivos más comunes en todos los países con clima tropical, Colombia según el periódico el colombiano debería considerarse como “republica platanera”, con una producción aproximada de 4.6 millones de toneladas, cifras que arroja el Censo Nacional Agropecuario (CNA) los cuales los bananos de exportación se encuentran en departamentos de Antioquia, Magdalena y la guajira, el banano es común en 20 departamentos, entre estos Cundinamarca⁴⁶. El fruto es la porción más consumido y comercializado de manera directa, sus otros componentes que son las hojas y los tallos, sencillamente son agentes de residuos que se desechan previamente por lo que genera grandes cantidades material orgánico, que sin un debido proceso esta materia se acumula causando un gran problema ambiental; el pseudotallo hace parte de estos desechos, por eso en los últimos años se han realizado investigaciones con el fin de buscar diferentes alternativas para sacarle el mayor provecho a estos residuos que genera la planta de plátano y como mitigar los problemas ambientales que afrontan ciudades con alto crecimiento industrial como lo es Bogotá.

El nombre científico *Musa Paradisiaca*, el cual costa de un sistema radicular que absorbe y conduce el agua del suelo a la planta, Rizoma que se considera el tallo verdadero que se encuentra debajo del suelo, de allí se forman las hojas y el pseudotallo, que se asemeja a un tronco, pero es un tallo falso que está formado por *vainas foliares*, tiene una alta resistencia que puede soportar hasta 50 kg⁴⁷, esta plantilla tiene un potencial aprovechamiento por el material desechado que se genera cada vez que se recolecta la cosecha, el pseudotallo, bagazo o vástago del plátano proporciona la mayor cantidad de masa de la plata de plátano tiene una altura aproximada de 2 hasta 5 metros y 25 a 35 centímetros de diámetro , por la gran composición química que tiene el pseudotallo; en la tabla 21 se muestra un porcentaje peso a peso de la composición química del material. El pseudotallo es utilizada para diferentes actividades comerciales en las cuales se encuentra; la elaboración de artesanías como sombreros, abanicos, zapatos entre otros; por su gran contenido de celulosa es utilizado para la creación de papel⁴⁸; harina para alimentación animal aunque sus propiedades nutricionales son bajas este es utilizado para la alimentación de cerdos y rumiantes⁴⁹; también es utilizado para la

⁴⁶ JIMÉNEZ, ferney arias. “*Inventario Agropecuario de Colombia*”. El Colombiano.(2016). En línea: <http://www.elcolombiano.com/negocios/inventario-agropecuario-de-colombia-NN3384078>

⁴⁷ Anne Vézina Margarita Baena. “Morfología de la planta de plátano”. Promesa. (2014) En línea: <http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>

⁴⁸ CORTEZ VEGA, Andrea Estefanía. “elaboración del papel a base de residuos del banano”. universidad católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil (2014).

⁴⁹RIVAS GONZALES, Mayra; GUADALUPE, M.; SÁNCHEZ, maría y BELLO PÉREZ, Luis.

“caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón del plátano oxidado y lintnerizado”. Agrocienca. Morelos (2008)

obtención de bioenergía debido a que este puede emplearse para generar biocombustibles, como el biogás metano o el bioetanol ⁵⁰.

Tabla 19. Composición química del pseudotallo

Componente químico	% P/P
Celulosa	55,65
Hemicelulosa	14
Lignina	11,58

Fuente. (EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A EMPLEARSE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL: materias primas para la elaboración del papel. Recuperado 5/agosto/2017. disponible en : http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com_content&view=article&id=210

3.2 PRE EXPERIMENTACIÓN

La pre-experimentación tiene como objetivo la disminución de diferentes variables, para cuando se realice el diseño experimental se tengan parámetros fijos. En esta pre-experimentación se obtiene el mejor pretratamiento que debe tener la plantilla, el tiempo de oxidación en el ultrasonido para las diferentes concentraciones y la geometría de la fibra que mejor se adapte al proceso.

3.2.1 Pre-tratamiento de la fibra. Se recolecta el pseudotallo en una finca de Girardot del departamento de Cundinamarca el cual cuenta con una cosecha de plátano, en la foto 11 en la parte izquierda se puede observar las plantas de plátano de donde fueron obtenidos nuestra fibra y en la parte derecha se ve una parte del pseudotallo que utilizamos para la impregnación.

⁵⁰. CORTINES VILLALOBOS, Victoria Andrea. “comparación de pretratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol de segunda generación: hidrólisis ácida y líquidos iónicos”. Universidad de Chile. Santiago de Chile (2010).

Foto 8. Planta de plátano y pseudotallo de la planta de plátano.



Del pseudotallo se extraen las diferentes fibras y mediante un bolillo se eliminó la mayor cantidad de agua posible, se utilizó este método para obtener un secado más rápido y evitar la formación de hongos y microorganismo que puedan afectar el desarrollo experimental. Para secar la fibra esta es expuesto a radiación solar para así poder ser utilizado con mayor facilidad para obtener las diferentes geometrías (hilos, molidos y cortarlo en cuadros), que serán utilizados en la impregnación, en la foto 12. Se observa la distribución en el proceso de secado.

Foto 9. Secado de las láminas de pseudotallo del plátano.



Antes de utilizar la fibra a impregnar se debe tratar previamente, este proceso se realiza con el protocolo de *Wang*, que consta de un vaso precipitado con la fibra sumergida con agua destilada, que es expuesta al ultrasonido durante una hora a temperatura ambiente, las condiciones del ultrasonido fueron de 22 KHz⁵¹, Este

⁵¹ HUAN-QIN, Wang; MING-BO, Zheng; JIN-HUA, Chen; GUANG-BIN, Ji; JIE-MING, Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

proceso se hace para eliminar la lignina, los carbonatos, la clorofila y las saponinas que contiene la fibra; ya que eliminada la lignina de la plantilla (polímero orgánico presente en la pared celular de tejidos vegetales)⁵² el permanganato de potasio interactúa con esta y se podrá impregnar las nanopartículas en la celulosa de la plantilla⁵³. La respuesta de este pretratamiento es el cambio de color del agua después de estar expuesta con el bagazo en el ultrasonido, la foto 13 muestra el cambio de color, en la parte izquierda se ve un color amarillo pardo del agua, allí se encuentra todos los componentes ya mencionados, que se desprenden de la fibra y en la parte derecha la fibra húmeda pre-tratada.

Foto 10. Pretratamiento de la fibra



3.2.2 Experimentación para el pre-tratamiento. En esta parte de la experimentación se buscar evaluar 3 posibles tratamientos hechos a la plantilla antes de realizar la impregnación; el primer proceso se realizó por medio de una solución acuosa de 5% V/P de ácido clorhídrico HCl durante 3 horas la cual se lava y se seca a 80 °C posteriormente se sumerge a 6% V/P de hidróxido de sodio NaOH durante 3 horas, esta fibra se lava y se seca a 80 °C ⁵⁴; el segundo proceso consta de sumergir la fibra en una solución de peróxido de hidrogeno H_2O_2 a una proporción de 10% V/V; y el tercer proceso o alternativa es no realizar ningún tratamiento a la fibra antes de la impregnación, solo fue necesario con la pre-tratamiento de la fibra.

Se expusieron estos 3 posibles procesos con el fin de determinar qué tan necesario era el pre-tratamiento de la fibra y si tiene alguna variación en el momento de la

⁵² GONZALES, Mónica. "Lignina- La química de la madera". La Guia.(2011). En línea: <https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera>

⁵³ CHACON PATIÑO, Martha; BLANCO TIRANO, Cristian; HINESTROZA, Juan y COMBARIZA, Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013),

⁵⁴ HUAN-QIN, Wang; MING-BO, Zheng; JIN-HUA, Chen; GUANG-BIN, Ji; JIE-MING, Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

impregnación en la plantilla o en la degradación del colorante en la muestra. En este proceso se impregnó a una concentración fija de permanganato de potasio $KMnO_4$ y el pH de la muestra a tratar también fue fija, para así escoger que proceso es el más conveniente; cabe resaltar que tanto la solución precursora como la muestra a analizar se encuentran en las mismas condiciones para determinar cuál método es mejor.

Con la plantilla impregnada y perfectamente secada, se lleva a contacto con el agua a tratar, posteriormente es puesta en una centrifuga, y es llevada al espectrofotómetro, donde arroja la absorbancia de la muestra ya tratada con una longitud de onda de 400 nm⁵⁵; los resultados del pre-tratamiento de la impregnación se encuentran en la tabla 22, el porcentaje de reducción de color es calculado, la prueba se realizó con dos repeticiones con el fin de poder obtener un dato más acertado.

Tabla 20. Análisis pretratamiento de impregnación.

Tipo de tratamiento	Absorbancia final 1	Absorbancia final 2	desviación estándar	promedio	% Reducción
Proceso 1	0,60	0,58	0,01	0,59	33,71
Proceso 2	0,62	0,61	0,01	0,62	30,34
Proceso 3	0,60	0,56	0,03	0,58	34,83

En la tabla 20 se muestra los diferentes procesos de tratamiento de la fibra, como se puede observar, la reducción del colorante de la muestra solo alterando el pre-tratamiento de impregnación, en conclusión, el proceso que mejor se adapta para el pre-tratamiento de la fibra, será el que genere bajos costos y menor tiempo. El proceso 3 es el seleccionado.

⁵⁵ CHACÓN PATIÑO, Martha; BLANCO TIRANO, Cristian; HINESTROZA, Juan; COMBARIZA MARIANNY. Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Fique fibers for efficient dye degradation. Green Chemistry. (2013)

3.2.3 Selección de la geometría de la fibra. Esta pre-experimentación tiene como finalidad seleccionar que tipo de fibra es la más adecuada para llevar a cabo el proceso en el momento de tratar el agua muestra con la solución precursora ya impregnada y realizar un escalamiento a un método adecuado en el diseño conceptual que posteriormente deberá ser planteado; en esta experimentación se escogen 3 tipos diferentes de geometría de la fibra las cuales fueron; la fibras de hilos, esta se seleccionó por la facilidad de ser manipulada en toda su transformación y proceso de implementación, la fibra molida muestra que a mayor área superficial de la fibra mostrara una mayor reducción en la cantidad de colorante y por ultimo fibras en trozos, que por su geometría y perfecto contacto con el agua reacciona con la solución precursora, los factores que se analizan para escoger esta geometría en la fibra son el método de recolección después del tratamiento ya que se determinara la facilidad que tiene la fibra para ser manipulada y la estabilidad que tiene la fibra al ser impregnada y utilizada en las aguas a tratar.

Foto 11. Fibras en Hilos, Molido, Cuadros



Los resultados de la experimentación y la selección de la geometría de la fibra son evaluados con la factibilidad del proceso en la modificación de la fibra junto con la aplicación de esta. Cada fibra fue expuesta en el ultrasonido a las mismas condiciones (22 KHz durante 45 minutos) y con la misma concentración del precursor de acuerdo con las normas descritas por Wang⁵⁶, el mejor resultado obtenido necesariamente no es la que arroje mayor porcentaje de reducción, estos datos tienen proximidad en los valores, lo que se quiere buscar es el manejo en el proceso de impregnación y uso en el tratamiento en la muestra. La experimentación dio como resultado que mejor geometría para la aplicación del proyecto fue la fibra en cortada en trozos, que permite un mejor manejo y una fácil manipulación, ya que este tipo de fibra permite separar de manera más rápida la fibra con el agua a tratar, la fibra en hilos tiene un buen manejo pero esta al impregnarse en concentraciones altas pierde gran porcentaje en masa volviendo su estructura muy débil, la fibra impregnada por ser delgada y larga es propensa a quebrarse lo que será más difícil

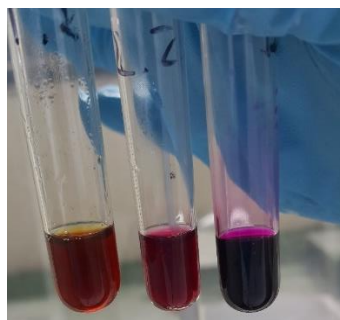
⁵⁶ Huan-qin, Wang; Ming-bo, Zheng; Jin-hua, Chen; Guang-bin, Ji; Jie-ming, Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

de separarlas en el momento de ser tratada con la muestra y por último la fibra molida fue la menos factible, en el momento de ser manipulada y ser expuesta con la muestra no se podría emplear en otro proceso, por su difícil recuperación, al estar molida en el momento de impregnación fue difícil la separación la fibra y el precursor, con estas razones la geometría que mejor se adaptó al modelo fue en trozos, debido a que tiene buena área superficial para poner en contacto con la muestra, es una fibra resistente y una recolección de forma sencilla.

3.2.4 Tiempo del precursor. El fin de la experimentación es determinar a las diferentes concentraciones del precursor (Permanganato de potasio $KMnO_4$) cuanto tiempo tiene que estar expuesto en el ultrasonido para ser reducido ya que el fin del ultrasonido es reducir el compuesto de permanganato de potasio en óxido de manganeso IV MnO_4^- , se espera con la formación de este óxido que se forme nanopartículas que al momento de ser impregnadas en la fibra se tenga un medio de transporte de la sustancia oxidativa⁵⁷. Para determinar la reducción de Permanganato de potasio en óxido de manganeso lo que se espera es una variación en el color, la solución de permanganato de potasio tiene un color púrpura y el dióxido de manganeso presenta un color amarillo pardo.

En la foto15 se observa que el tiempo de disposición del ultrasonido son directamente proporcionales con la concentración, por la variación de color púrpura que pasa a un amarillo pardo; el tubo 3 (primer de izquierda a derecha) con diferentes concentraciones, las cuales son; 5 mM, 10 mM y 30 mM, donde fueron expuestas durante 45 minutos⁵⁸ en el ultrasonido. La imagen refleja el cambio de color que se ve presente en los 3 diferentes tubos, dando como resultado la oxidación que se logra con las diferentes concentraciones respecto a tiempo.

Foto 12. Tubos de 5 mM, 10 mM y 30 mM expuestas durante 45 minutos en el ultrasonido.



⁵⁷ Huan-qin Wang; Ming-bo Zheng; Jin-hua Chen; Guang-bin Ji; Jie-ming Cao. "Synthesis of MnO_2 Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010)

⁵⁸ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO_2 and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

El experimento se realizó utilizando 4 diferentes concentraciones de permanganato de potasio donde se pusieron en el ultrasonido durante 30 minutos con un potencial de 22 KHz^{59, 60} se utilizó este potencial en el ultra sonido ya que es un parámetro fijo en las referencias bibliográficas con las que se realizó la investigación, el tiempo es aumentado cada 30 minutos hasta que todas las 4 concentraciones cambien su color. En la foto 16 se puede ver un cambio de color durante 90 minutos de las concentraciones en el ultrasonido durante este tiempo cambio el color la concentración de 5 mM, 10 mM y un cambio relativo de la concentración de 30 mM, en la parte A se ve las concentraciones de $KMnO_4$ de 5 mM, 10 mM, 30 mM y 100 mM respectivamente y en la parte B se ve las mismas muestras después de 90 minutos de exposición de ultrasonido.

Foto 13. A solución original del $KMnO_4$; B solución después de la impregnación.



Los tiempos se estipularon con la experimentación, donde muestran la magnitud que tiene que durar cada concentración de permanganato de potasio ($KMnO_4$) para

⁵⁹ Chacon Patiño, Martha; Blanco Tirano, Cristian; Hinestroza, Juan; Combariza, Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO_2 and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

⁶⁰ Huan-qin Wang; Ming-bo Zheng; Jin-hua Chen; Guang-bin Ji; Jie-ming Cao. "Synthesis of MnO_2 Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010)

que éste se reduzca a dióxido de manganeso (MnO_2), presente en la fibra para su posterior uso; en la tabla 23 se observan el tiempo necesario que debe estar expuesto las diferentes concentraciones del precursor en el ultrasonido; ya terminando las pre-experimentación se puede desarrollar el diseño experimental que buscará, el proceso que mejor se adapte a la reducción de color en la muestra.

Tabla 21. Tiempo de exposición del precursor en ultrasonido.

Concentración (mM)	Tiempo (Minutos)
5	30
10	60
30	100
100	150

3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño experimental tiene como objetivo analizar los efectos de la variación de los parámetros (pH de la muestra y la concentración de $KMnO_4$) sobre la variable respuesta la cual es la reducción del colorante en la muestra, lo que permitirá dar las condiciones y la planeación del proceso experimental, para tener la configuración de factores que arrojen mejores resultados.

3.3.1 Hipótesis. El diseño de experimentos es un procedimiento en el cual se busca crear diferentes pruebas con el fin de verificar una o varias hipótesis que han sido planeadas junto con un problema determinado, esto se realiza con el objetivo de medir el efecto de cambio de una o varias variables de entrada.⁶¹ Se realizaron las hipótesis de forma concreta, limitando el alcance de la experimentación para así realizar un análisis de resultados obtenidos en la variable respuesta.

a. Interacción del pH de la muestra con la concentración del precursor.

- **Hipótesis nula**

Si hay efecto entre la variación del pH de la muestra y la concentración de precursor en la reducción del colorante.

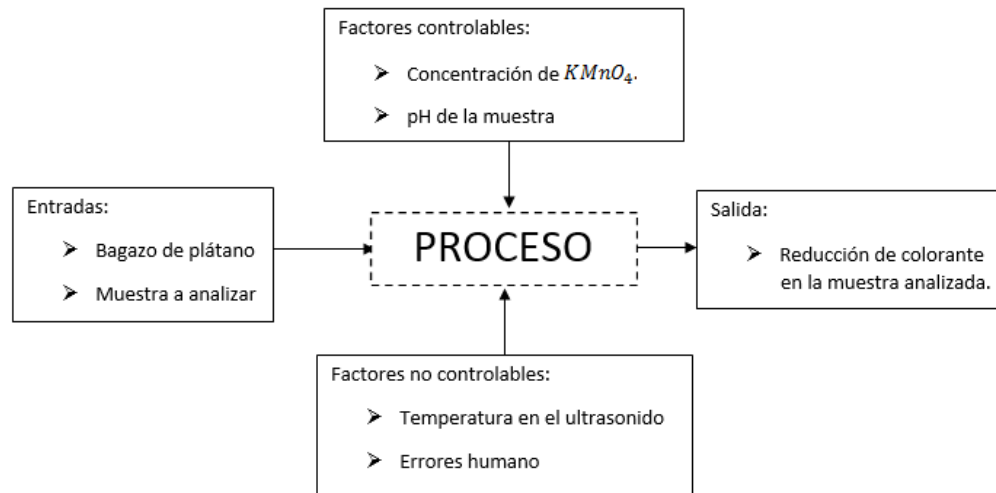
- **Hipótesis alternas**

No hay efecto entre la variación del pH de la muestra y la concentración de precursor en la reducción del colorante.

⁶¹ Sánchez Salvador, Gerardo "Medición del ruido en la línea de transmisión eléctrica generada por electrodomésticos, para aplicación de PLC-Unidad 4".UDLAP. México (2009).

3.3.2 Metodología para la selección del diseño de experimentos.

Ilustración 3. Identificación de las variables de entra y salida en el proceso



- **Identificación del objetivo de la experimentación.** El objetivo del desarrollo experimental es evaluar los efectos que produce las diferentes variaciones en la concentración del precursor en la fibra y el pH de la muestra a analizar, este con el fin de conocer la configuración que cumpla con las hipótesis planeadas para así poder tener una mejor reducción del colorante en la muestra.
- **Determinación de los componentes.** El planteamiento del diseño de experimentos se requiere conocer el comportamiento de 2 diferentes variables como; la concentración de $KMnO_4$ y el pH de la solución; la primera variable determinara la concentración de dióxido de manganeso MnO_2 impregnado en la fibra ya que este es el encargado de reducir el colorante en la muestra.
- **Selección del diseño de experimentos.** Debido a que se debe establecer la mejor configuración en las variables controladas para seleccionar el mejor tratamiento es necesario desarrollar un diseño experimental factorial, en este caso se estudia dos o más variables simultaneas y donde los tratamientos se forman por la combinación de los diferentes niveles de cada uno de los factores⁶².

⁶² Castejón Sandoval, Osiris. "Diseño y análisis de experimentos con Statistix- unidad 5" Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo (2011).

- **Consideraciones para el diseño experimental**

- ✓ Los niveles se tomaron como las diferentes concentraciones de permanganato de potasio (5 mM 10 mM, 30 mM y 100 mM)⁶³ en el momento de impregnar en la fibra, se establece estos valores por recomendación bibliográfica en la cual usan dióxido de manganeso, donde estos parámetros arrojaban los mejores resultados y el otro es el pH de la muestra a tratar (3.5, 4.5, 5.5 y 7.8) en la que se pondrá en contacto con la plantilla ya impregnada, la configuración entre estas dos variables nos permite determinar que parámetros son los más adecuados para tener la mayor reducción del colorante en la muestra a tratar.⁶⁴.
- ✓ La temperatura en la experimentación se tomó como un factor no controlable debido a que no tiene ninguna alteración en la impregnación de la plantilla ni en el momento de ser utilizada en el agua muestra; solo se tiene en cuenta en el momento de la impregnación la temperatura no exceda los 65 °C esto con el fin de que la plantilla no tenga ninguna alteración ni pierda su resistencia.

- **Niveles del diseño de experimentos.** Los niveles de experimentación de las variables dependientes son la concentración del precursor $KMnO_4$ el cual será impregnado en la fibra de bagazo de plátano; la otra variable que debe ser manipulada es el pH de la concentración, la acción del pH es necesario para la muestra que arrojará un aporte importante para la reducción del colorante en la muestra⁶⁵. Estos datos se encuentran en la tabla 24

Tabla 22. Niveles del diseño de experimentos.

Variables	Niveles			
Concentración precursora (mM)	5	10	30	100
pH de la muestra	3,5	4,5	5,5	7,8

⁶³ Huan-qin Wang; Ming-bo Zheng; Jin-hua Chen; Guang-bin Ji; Jie-ming Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

⁶⁴ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

⁶⁵ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

- **Variables de respuesta del diseño de experimentos.** La variable respuesta será la reducción de color en la muestra, se calcula con la relación de absorbancias arrojada del espectrofotómetro, con un patrón de blanco de la solución original sin tratar.

3.3.2 Metodología para el desarrollo experimental. Para el desarrollo del diseño experimental se realiza la experimentación de acuerdo con las variables anteriormente mencionadas y evaluando los parámetros que más se ven afectados. (Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation, 2013)

- **Pre-tratamiento de la fibra.** Este proceso del pre-tratamiento de la fibra se realiza teniendo en cuenta la sección (Experimentación del tratamiento de la fibra) en donde se escoge de las 3 diferentes alternativas expuestas la más favorable para el proceso; esta parte de la experimentación no variara con respecto a los resultados ya que no es una variable controlada, por ende, se realiza el pre-tratamiento de la fibra en un solo lote para el desarrollo del diseño experimental.

- Equipos y materiales
 - ✓ Ultrasonido
 - ✓ Vaso precipitado de 1000 ml
 - ✓ Balanza analítica
 - ✓ Vaso precipitado de 500 ml

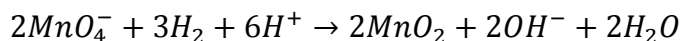
- Procedimiento

- a. Se pesa 40 g de fibra de bagazo de plátano en trozos ya seco en la balanza analítica.
- b. Los 40 g de la fibra se llevan al vaso precipitado de 1000 ml; a este se le agregara agua ultra pura hasta que se encuentre asegurado con la fibra aproximadamente 400 ml de agua ultra pura.
- c. La fibra con el agua es llevada al ultrasonido para poder eliminar los componentes no deseados de la fibra, las condiciones en las que trabajara el ultrasonido son de 22 KHz durante una hora sin tener control de la temperatura en el ultrasonido.
- d. Después de una hora en el ultrasonido la fibra se retira del agua por medio de un colador y se extrae la humedad utilizando un secado natural durante dos días en presencia sol.

- **Impregnación de la fibra.** En el proceso de la impregnación de la fibra es realizado con el fin de sintetizar dióxido de manganeso MnO_2 a partir del permanganato de potasio $KMnO_4$ para que las nanoparticulas del dióxido de manganeso queden impregnadas en el bagazo de plátano; la síntesis de este

proceso se lleva a cabo en el ultrasonido donde el potasio del precursor se une con un carbono lo que permite fijar el permanganato MnO_4^- , este con ayuda asistida por el ultrasonido se reduce para formar el dióxido de manganeso MnO_2 la cual es el objetivo del ultrasonido es que el compuesto reduzca el colorante en la muestra⁶⁶; en la ecuación 2. Se describe la reacción para la síntesis de dióxido de manganeso.

Reacción 3. Síntesis asistida por ultrasonido de MnO_2 a partir de MnO_4^- .



Fuente. Biocomposite of nanostructured MnO_2 and Figue fibers for efficient dye degradation: degradation route 2- Recuperado junio/13/2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259740083_Biocomposite_of_nanostructured_MnO2_and_figue_fibers_for_efficient_dye_degradation

- Equipos y materiales
 - ✓ Ultrasonido
 - ✓ Vaso precipitado de 1000 ml
 - ✓ Balanza analítica
 - ✓ Vaso precipitado de 500 ml

- Reactivos
 - ✓ Permanganato de potasio $KMnO_4$.

- **Procedimiento**
 - a. La primera parte de la experimentación es realizar la solución precursora la cual es el $KMnO_4$ en la cuales se van a tomar 4 diferentes concentraciones 5 mM, 10 mM, 30 mM y 100 mM la cual se disolverá con agua desionizada
 - b. Se pesaron aproximadamente 15 g del bagazo seco y pre-tratado en el paso anterior; este paso se repite 4 veces para las diferentes concentraciones (5, 10, 30 y 100) y se introducen en vasos precipitados de 100 ml rotulados con las diferentes concentraciones.
 - c. En cada vaso precipitado con el bagazo y rotulado con las diferentes concentraciones se agrega la solución precursora respectivamente y se llevan al ultrasonido.
 - d. Las condiciones en el ultrasonido son de 22 kHz y el tiempo que duran las diferentes fibras en sus diferentes concentraciones se encuentra expuestas en la tabla 24. la temperatura en el ultrasonido no es controlada.

⁶⁶ Huan-qin Wang; Ming-bo Zheng; Jin-hua Chen; Guang-bin Ji; Jie-ming Cao. "Synthesis of MnO_2 Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

e. Ya terminado el tiempo de las fibras en exposición con el ultrasonido son separadas en el precursor y la fibra es lavada con agua ultra pura y es secada en presencia del sol durante 2 días.

• **Tratamiento del agua muestra.** En el proceso de tratar la muestra de nuestra agua de interés es nuestro patrón para determinar que concentración es el ideal. Mediante la literatura se sabe que el colorante azul índigo tiene una respuesta electrónica aniónica lo que por medio del pH se puede interactúa con esa electronegatividad para que allá una interacción entre el dióxido de manganeso y el colorante para sí poder oxidar este y reducir el color en la muestra⁶⁷. Es por esto que se determinó la importancia del pH en la solución a tratar, este valor fue alterado por la adición de ácido acético CH_3COOH para así poder determinar la configuración para el método que reduzca el mayor porcentaje de colorante en la muestra.

- Equipos y materiales
- ✓ espectrofotómetro
- ✓ vaso precipitado de 150 ml
- ✓ Celdas de cuarzo
- ✓ Centrífuga
- ✓ Tubos de centrífuga
- ✓ PHmetro
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Vaso precipitado de 50 ml
- ✓ Probeta de 100 ml
- ✓ Mezclador magnético
- ✓ Plancha de agitación

- Reactivos
- ✓ Ácido acético CH_3COOH
- ✓ Hidróxido de sodio $NaOH$

Procedimiento

a. Se altera el pH de la muestra mediante la adición de ácido acético el cual será el agente ácido o hidróxido de sodio que será el agente básico hasta tener los diferentes 4 tipos de pH (3.5, 4.5, 5.5, 7.8) el dato del pH de la muestra se determinará mediante la medición del pHmetro.

⁶⁷ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

- b. Se pesa 0.5 g de la fibra de bagazo seca e impregnada de 5 mM; se seleccionó una relación de 1 g de fibra impregnada por cada 50 ml de agua a tratar ⁶⁸ y se agrega en un vaso precipitado de 50 ml. Este proceso se realiza 4 veces lo que corresponde a los 4 diferentes pH de muestra.
- c. En la probeta de 100 ml se mide aproximadamente 25 ml de la muestra de los 4 pH distintos los cuales irán a los vasos precipitados con la fibra y se rotulan con el diferente pH correspondiente.
- d. Cada vaso precipitado se lleva a la plancha mezcladora y se le agrega el mezclador magnético el cual se pondrá a 570 rpm durante 5 minutos esto con el fin de que la muestra y la fibra tengan un buen contacto con el agua muestra.
- e. Pasado los 5 minutos del tratamiento se separa la muestra de la fibra y se retira el mezclador magnético.

3.3.4 Datos experimentales. En la tabla 25 se presentan las diferentes configuraciones de los procesos a analizar, con los cuales se realizará el diseño experimental.

Tabla 23. *Composición del diseño experimental*

No. Muestra	concentraciones (mM)	pH	No. Muestra	concentraciones (mM)	pH
1	5	3.5	9	30	3.5
2	5	4.5	10	30	4.5
3	5	5.5	11	30	5.5
4	5	7.8	12	30	7.8
5	10	3.5	13	100	3.5
6	10	4.5	14	100	4.5
7	10	5.5	15	100	5.5
8	10	7.8	16	100	7.8

Se estudia los efectos de las 2 variables con 4 niveles y 2 repeticiones para obtener un total de 32 muestras según un diseño factorial.

3.3.5 Metodología para determinar la medición de la variable respuesta. Para la validación de la formulación se selecciona el siguiente método para evaluar la variable respuesta con el fin de obtener la configuración del método que arroje los mejores resultados. el método para determinar la variable respuesta es el porcentaje de reducción, usando un barrido espectral, la longitud de onda es analizada leída con el espectrofotómetro, en la cual se realizaron dos barridos, puesto que la

⁶⁸ Chacon Patiño, Martha; Blanco Tirano, Cristian; Hinestroza, Juan; Combariza, Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

muestra A y la muestra B tienen diferentes concentraciones de colorante debido a que vienen de distintas empresas.

Gráfica 4. Grafica barrido espectral de las muestras A y B.

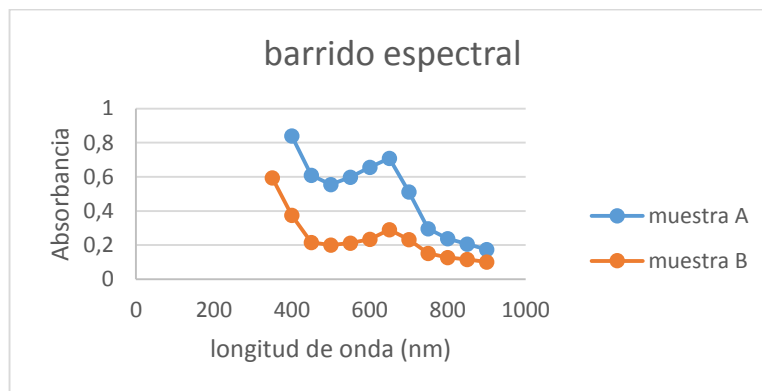


Tabla 24. Datos barrido espectral de las muestras A y B

Datos barrido espectral muestra A		Datos barrido espectral muestra B	
λ nm	ABS	λ nm	ABS
350	error	350	0.594
400	0.84	400	0.375
450	0.61	450	0.215
500	0.554	500	0.201
550	0.598	550	0.212
600	0.657	600	0.234
650	0.708	650	0.29
700	0.511	700	0.232
750	0.296	750	0.152
800	0.238	800	0.128
850	0.207	850	0.117
900	0.174	900	0.101

El resultado de esta curva espectral se puede reflejar en la tabla 26 o en la gráfica 5 en la cual se tomara como longitud de onda el pico más alto en la gráfica para cada respectiva muestra, dando como resultado una longitud de onda de 400 λ nm para la muestra A y 350 λ nm para la muestra B, con la ecuación 9 y 10 junto con los datos de absorbancia medidos a cada longitud de onda, será el dato inicial de la muestra sin tratar respectivamente, que se usará como base para calcular la reducción de la muestra.

Ecuación 10. Porcentaje de reducción de la muestra A.

$$\% \text{ reducción} = \frac{(0.84 - D_s)}{0.84} \times 100\%$$

Ecuación 11. Porcentaje de reducción de la muestra B.

$$\% \text{ reducción} = \frac{(0.59 - D_s)}{0.59} \times 100\%$$

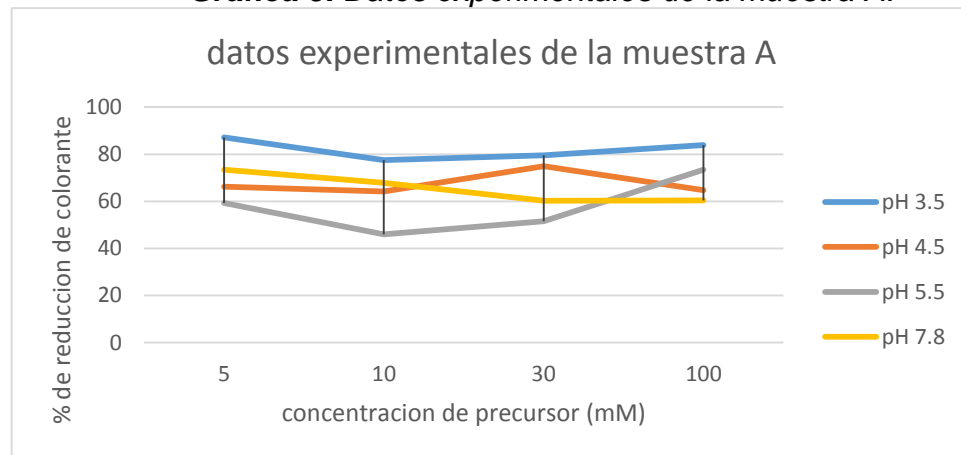
Donde 0.84 y 0.594 son los datos de absorbancia en la longitud de onda adecuada y D_s es el valor de absorbancia de la muestra después de ser tratada con la fibra de bagazo impregnado.

3.3.6 Desarrollo del diseño experimental muestra A. Con la experimentación se obtienen los datos registrados en la tabla 2 que serán usados en el desarrollo de todo el diseño factorial.

Tabla 25. Datos variables de salida del diseño de experimentos.

pH de la muestra	repetición	Concentración de precursor											
		A1 (5 mM)			A2 (10 mM)			A3 (30 mM)			A4 (100 mM)		
		datos	desviación estándar	promedio	datos	desviación estándar	promedio	datos	desviación estándar	promedio	datos	desviación estándar	promedio
B1 (3,5)	1	87,50	0,45	87,18	78,93	2,06	77,48	79,72	0,18	79,59	84,31	0,54	83,93
	2	86,86			76,02			79,46			83,55		
B2 (4,5)	1	67,50	1,91	66,15	65,71	2,23	64,13	74,74	0,18	74,87	64,16	0,81	64,74
	2	64,80			62,55			75,00			65,31		
B3 (5,5)	1	59,53	0,42	59,23	47,50	2,11	46,01	51,40	0,28	51,60	74,11	0,91	73,47
	2	58,93			44,52			51,79			72,83		
B4 (7,8)	1	72,19	1,73	73,42	66,71	1,57	67,82	58,80	1,99	60,21	57,91	3,51	60,40
	2	74,64			68,93			61,61			62,88		

Gráfica 5. Datos experimentales de la muestra A.



- **Análisis de la varianza muestra A.** Se realizó mediante un diseño factorial 4²; en donde el método exige hallar valores de suma de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios para encontrar los valores F calculados y contrastarlos con los valores teóricos.⁶⁹

Tabla 26. Resumen de datos para el análisis de la varianza.

pH de la Muestra	Concentración de precursor				Total
	A1 (5mM)	A2(10mM)	A3(30 mM)	A4(100mM)	
B1 (3,5)	87,5	78,93	79,72	84,31	656,35
	86,86	76,02	79,46	83,55	
B2 (4,5)	67,50	65,71	74,74	64,16	539,77
	64,80	62,55	75	65,31	
B3 (5,5)	59,52	47,50	51,40	74,11	460,59
	58,93	44,52	51,79	72,83	
B4 (7,8)	72,19	66,71	58,80	57,91	523,67
	74,64	68,93	61,61	62,88	
Total	571,95	510,87	532,52573	565,05	4360,78

PARAMETRO	DATO
a	4
b	4
n	2
N	32

- **Análisis de varianza**

- ✓ a, Numero de niveles que presenta la muestra de la empresa a
- ✓ b, Numero de niveles que presenta la muestra de la empresa b
- ✓ N, Numero de tratamientos que se realiza en la experimentación

⁶⁹ Uribe Julián. “Análisis de varianza (ANOVA) para la variable respuesta” (2017). En línea: <http://doestatistics.blogspot.com.co/2017/02/analisis-de-varianza-anova-para-la.html>

Tabla 27. Fórmulas para el análisis de varianza muestra

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo
factor A (entre grupos)	a-1	$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (y_i - y_{...})^2$	$MSA = \frac{SSA}{(a-1)}$	$\frac{MSA}{MSE}$
factor B (entre grupos)	b-1	$SSB = \sum_{i=1}^B n_i (y_i - y_{...})^2$	$MSB = \frac{SSB}{(b-1)}$	$\frac{MSB}{MSE}$
error (entre grupos)	(a-1)(b-1)	$SSE = SST - SSA - SSB$	$MSE = \frac{SSE}{(a-1)(b-1)}$	-
total	N-1	$SSB = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y)^2$	-	-

Fuente. Uribe, Julián. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable respuesta. En línea: <<http://doestatistics.blogspot.com.co/2017/02/analisis-de-varianza-anova-para-la.html>> recuperado 28/agosto/2017

Para poder analizar el resultado de la varianza con las hipótesis es necesario tener un F teórico es cual se calculó mediante las tablas de Fisher donde por medio de la ecuación 12 se sacaron los parámetros para buscar en la tabla; donde los numeradores se buscarán en la parte horizontal de la tabla y el denominador se buscará en la parte vertical de la tabla.

Ecuación 12. Parámetros tablas de Fisher.

$$F_T = \frac{a-1}{N-a}$$

Para la experimentación por medio de la ecuación anteriormente descrita se obtuvo el F_T .

$$F_T = \frac{4-1}{32-4} = \frac{3}{28} = 2.95$$

Mediante el valor de F_T se determina si la hipótesis se acepta o se niega ya que si F_o es mayor al F_T se niega la hipótesis, pero si F_o es menor al F_T se acepta la hipótesis.

Tabla 28. Resumen cálculos del análisis de varianza.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo
Entre concentración precursor	2500,70	3	833,57	322,13
Entre pH de la muestra	306,11	3	102,04	39,43
Interacción CP-pH	1052,13	6	175,35	67,77
Dentro de tratamientos/ error residual	41,40	16	2,588	-----
Total	3900,35	28	139,30	-----

Respecto a los datos suministrado en la tabla 30 con los grados de libertad obtenidos se puede calcular los cuadrados medios del análisis de varianza y de esta forma comparar el F_o , y mostrar el resultado entre si la hipótesis planteada al inicio del diseño factorial se aprueba o se rechaza, hablando de este modo se puede realizar los análisis para la muestra A y B.

3.3.7 Análisis de resultados muestra A. Como se mencionó anteriormente el resultado del análisis de varianza se compara con el F_T obtenido con anterioridad. Se puede observar que los resultados de las 3 fuentes de variaciones dieron mayores a los F_T el cual es de 2.95, por lo tanto, se obtiene que las hipótesis nulas de las 3 variaciones si se aceptan; por lo tanto el pH de la muestra a analizar si tiene efectos en la reducción del colorante de la muestra. En la tabla 28 se puede determinar que entre un pH más bajo tiene como resultado una mayor reducción de colorante. Como se puede observar en la tabla 27 los mejores resultados en reducción fueron los que tenían un pH de 3.5; esto es debido a que un pH ácido en la muestra permite que el colorante cambie su polaridad de aniónica a catódica y pueda interactuar con la fibra impregnada⁷⁰. Para la segunda variable que es la concentración del precursor en el momento de impregnar la fibra, se determina que la concentración de este precursor si tiene efecto al ser variado ya que por ser $F_o > F_T$ están aceptando la hipótesis nula del proyecto; por otra parte, se puede observar en la tabla 27 que las diferentes concentraciones para el precursor si tiene un efecto en la reducción de color dando como mejor resultado el nivel de concentración más

⁷⁰ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

bajo en la experimentación (5 mM); una concentración alta del precursor no da como resultado una reducción de colorante como el de 5 mM esto es a que a ser mayor la concentración del precursor no se impregna bien en la fibra y al momento de estar en contacto con la muestra se desprende el $KMnO_4$ de la fibra y contamina la muestra.

La última variable que se analiza es la interacción que hay entre el pH de la muestra a tratar y la concentración del precursor en la impregnación, este como los anteriores análisis dio como resultado la aceptación de la hipótesis nula. Lo cual permite identificar una configuración para tener el mejor tratamiento en el agua muestra ya que si $F_o < F_T$ hubiera significado que la interacción entre las dos variables implementadas no hubiera tenido un resultado significativo en el momento de tratar el agua. Dando como finalidad la mejor configuración para tratar la muestra A, la cual consta de la concentración de 5 mM para el precursor en el momento de ser impregnado la fibra y un pH de 3,5 para la muestra a tratar.

3.3.8 Desarrollo del diseño experimental muestra B. Mediante la experimentación se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se encuentran registrado en la tabla 30 con los cuales se desarrolla todo el diseño factorial.

Tabla 29. Datos variables de salida diseño experimental.

pH de la muestra	Concentración del precursor			
	A1 (5 mM)	A2 (10 mM)	A3 (30 mM)	A4 (100 mM)
B1 (3,5)	23,06	10,60	11,28	5,8922
	20,54	9,42	12,62	4,3771
B2 (4,5)	-3,70	11,11	14,48	-9,7643
	-4,21	13,13	15,66	-8,922
B3 (5,5)	-1,68	0,68	0,84	-0,1683
	-2,53	-1,01	0,05	-1,0101
B4 (7,8)	-10,77	3,53	7845	-66,16116
	-8,08	3,87	1,6835	-65,6565

3.3.9 Análisis de los resultados muestra B. Al realizar el tratamiento de la reducción de colorante en la muestra B resultaron factores no deseados en las muestras ya que en el momento de calcular el porcentaje de reducción del colorante en la muestra B algunos datos dieron negativos, esto es debido a que la absorbancia en la medición en el espectro de cada muestra dio mayor al valor de la muestra original también leída en el espectrofotómetro, esto es debido que la fibra impregnada no tiene una buena interacción con los componentes del agua tratada.

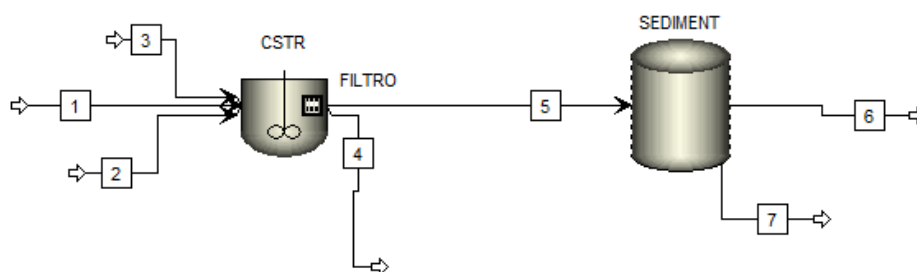
Aunque se observa el mismo comportamiento que en la muestra A la cual es que entre una concentración baja del precursor y un pH ácido de 3.5 el proceso da mejor resultado, una justificación de los resultados expuestos en la tabla 32 es debido a la composición que tiene esta agua, como se había mencionado en el capítulo 1 la muestra A tiene un pretratamiento del agua tratada muestra que la muestra B no se le aplica ningún tratamiento.

Al realizar el desarrollo del análisis de la varianza para la muestra B va a tener una alteración debido a los datos negativos, por lo tanto se descartó el desarrollo del diseño factorial con los datos obtenidos en la muestra B. Debido a los resultados obtenidos en la tabla 23 no se seguirá realizando el proyecto con la muestra B este con el fin de completar el desarrollo de la investigación sin tener alteraciones ya que comparando los datos de la muestra A con la muestra B, la A si tiene un buen comportamiento con los datos obtenidos para llevar a cabo siguiente parte que es el diseño conceptual.

4. DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS EN LA EMPRESA ASOCIADA DE DACETEX LTDA

Cuando se habla de un diseño conceptual se contemplan diferentes factores entre estos que flujo puede manejar la empresa, cantidad de agua que puedan almacenar y cómo es la debida disposición a ellos alcantarillados, con la empresa patrocinadora DACETEX LTDA., se pudo llegar a un acuerdo con la empresa asociada para establecer y brindar información confidencial de cada proceso con el cual ellos trabajan para surtir los pedidos que los clientes solicitan, para estos procesos se puede abordar el más común y con el cual se basará todo el diseño conceptual que es el blanqueo, que surge básicamente la disminución del color concentrado a un tono más claro conocido como un Stone Wash, en el que cada ciclo significa una deposición de agua directamente a la trampa de calor que ellos manejan, cabe resaltar que al interior de la planta se cuenta con 6 lavadoras de diferentes capacidades que van desde 300 litros hasta los 900 litros cada una, y en un proceso para obtener 82 prendas con una lavadora de capacidad de 300 litros se tiene 5 ciclos para este proceso de blanqueo, lo que se busca diseñar y exponer es como por medio de un proceso se podrá determinar el diseño para tratar el agua residual de esta empresa y por otra parte buscar beneficios económicos a la empresa; ya que se busca disminuyendo costos de sanciones y evitando el cierre parcial o total de la empresa, cabe denotar que internamente le hacen seguimiento a los vertimientos de la planta la entidad encargada como el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, donde cada una de las pruebas pueden variar entre 1,000,000 de pesos hasta 36,000,000 de pesos dependiendo la sanción, en el capítulo se muestra los diferentes balances de materia que la empresa asociada puede manejar y de esta forma diseñar un proceso con el cual puede mitigar la reducción de color y otras impurezas que pueda contener esta agua de vertimiento.

Ilustración 4. Diagrama del proceso para la reducción de colorante de agua residual de la industria textil.



4.1 BALANCE DE MATERIA AL INTERIOR DE LA EMPRESA PARA EL PROCESO DE BLANQUEO

En la ilustración 4 se refleja el diagrama de proceso para la reducción de colorante en la planta del agua que se analizó. Donde la corriente 1 es la composición que sale del proceso de la empresa esto quiere decir que es el agua que se va a tratar, la corriente 2 es nuestra plantilla de bagazo impregnado con la nanopartícula, la corriente 3 es la cantidad de ácido acético requerido para disminuir el pH del agua a tratar, como nuestra plantilla con las nanopartículas es un catalizador este se retirara la cual corresponde a la corriente 4 de proceso, la corriente 5 es el agua ya tratada la cual entrara a un tanque de almacenamiento donde sale la corriente 6 que es el agua con la reducción de colorante y la 7 es el precipitado que se forma por la reducción del colorante.

Los datos del proceso de blanqueo en la empresa se puede determinar en la ilustración 5 la cual dará las indicaciones para conocer la composición del agua que se va a tratar con las plantilla impregnada de nanopartículas de MnO_2 . Debido a que éste será la condición de entrada para el proceso de reducción de colorante y las condiciones en la cual se tratará el agua que sale del proceso de blanqueo.

Con los datos que se suministran en la ilustracion 5 se puede determinar el balance de materia masico global en la empresa la cual se evidencia en la ilustracion 6; los datos de la ilustracion 5 y 6 se representan en unidades de litros.

Ilustración 5. Datos del proceso de blanqueado.

datos de proceso de blanqueado														
etapa	cantidad litros													
	agua	cloro	soda	bisulfato	dispersante	humectante	secuestrante	azul 15	turqueza s6	sal	alcali	ofl	adaja	suma
1	1200	32	7		1,2									1
2	1200			1,8	0,6									
3	1200				0,6	1,2	0,6							
4	1100							0,197	3,608	44	2,2			
5	600						0,6					0,6		
total	5300	32	7	1,8	2,4	1,2	1,2	0,197	3,608	44	2,2	0,6	1	5397,205
Xi	0,9819898	0,005929	0,001297	0,000334	0,0004467	0,00022234	0,00022234	3,65E-05	0,00066849	0,0081524	0,0004076	0,0001112	0,0001853	1
tiempo min	90													
T °C	45													

Ilustración 6. Balance global del proceso de blanqueado de la empresa.

balance global del proceso de blanqueado de la empresa															
datos de entrada	compuesto	agua	cloro	soda	bisulfato	dispersante	humectante	secuestrante	azul 15	turqueza s6	sal	alcali	ofl	adaja	total
	total		5300	32	7	1,8	2,4	1,2	1,2	0,197	3,608	44	2,2	0,6	1
Xi		0,98199	0,00593	0,001297	0,0003335	0,00044675	0,000222337	0,000222337	3,65E-05	0,0006685	0,008152	0,000408	0,000111	0,000185	1
datos de salida	compuesto	agua	cloro	soda	bisulfato	dispersante	humectante	secuestrante	azul 15	turqueza s6	sal	alcali	ofl	adaja	total
	total	5300	32	7	1,8	2,4	1,2	1,2	0,197	3,608	44	2,2	0,6	1	5397,205
Xi	0,98199	0,00593	0,001297	0,0003335	0,00044675	0,000222337	0,000222337	3,65E-05	0,0006685	0,008152	0,000408	0,000111	0,000185	1	

Ya obteniendo la composición que tienen el agua que se va a intervenir se necesita conocer las condiciones de capacidad de la operación de la planta para así poder determinar el flujo de agua que se va a tratar. En la tabla 33 se muestran las condiciones de producción de la planta. Las cuales fueron suministradas por el coordinador de producción de la planta; el cual es un dato sacado por históricos de la empresa la cual trabaja los 7 días de la semana 24 horas al día.

Tabla 30. Datos de operación de la planta

Datos diarios de operación de la planta	
Tiempo de operación de la planta (H)	24
Cantidad de agua utilizada diaria(l)	24.000
Volumen de tanque de reposo(m^3)	12

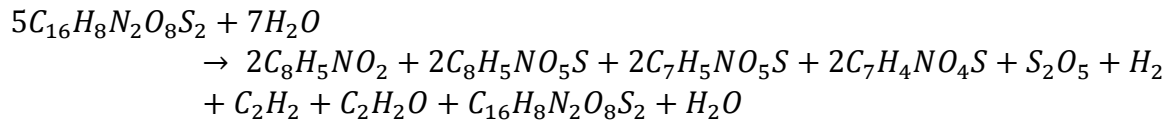
4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- La primera parte del proceso es la disposición del agua a tratar del tanque de almacenamiento hacia el reactor este se realizará con una bomba.
- En el reactor se agregará la cantidad de ácido acético para poder disminuir de pH del agua; la cantidad de ácido acético concentrado que se le agregará al agua será de 7.5 ml de ácido acético concentrado por cada litro de agua a tratar; esta relación se obtuvo mediante la experimentación.
- El reactor tendrá un método de agitación este podrá ser una bomba de agua la cual permitirá recircular el agua tratada en todo el reactor o en su defecto una bomba de aire lo que permitirá que el aire que entre en el reactor cause el movimiento del agua.
- Pasado el tiempo necesario para que la reacción 3, la cual hace referencia a la suma de las reacciones expuesta en la bibliografía.⁷¹ tenga su mayor conversión se pasará el agua tratada a un tanque de almacenamiento para que esté dispuesta para retirarla de la planta para un posterior uso o en su defecto podrá ser arrojado a los vertimientos cumpliendo con la normativa. El tiempo de reacción es de 5 minutos el cual se estimó mediante la experimentación del proceso y se corroboró con los referentes bibliográficos.⁷²

⁷¹ Chacon Patiño Martha; Blanco Tirano Cristian; Hinestroza Juan; Combariza Marianny. "Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation" Green Chemistry. (2013)

⁷² Huan-qin Wang; Ming-bo Zheng; Jin-hua Chen; Guang-bin Ji; Jie-ming Cao. "Synthesis of MnO₂ Microfiber with Secondary Nanostructure by Cotton Template". Journal of Nanotechnology. China (2010).

Reacción 4. Reducción del colorante azul índigo.



Fuente. Blanco Tirano, Cristian; Chacón Patiño, Martha; Combariza, Marianny Hinestroza, Juan; “Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation” Green Chemistry. (2013). pág. 9

- El precipitado que forma la reacción se retirará del tanque de almacenamiento para realizar un manejo de residuos industriales; ya que este precipitado tiene en su composición motas, y los precipitados del producto de la reducción del colorante.

4.3 BALANCE DE MATERIA

4.1.1 Balance de materia. Para realizar el balance de materia se tomó como prioridad el tanque principal de almacenamiento, donde se inicia el proceso para tratar el agua residual de la empresa, el reactor CSTR en el cual se dará la reacción de reducción de colorante del agua que por medio de la ecuación de diseño del reactor se puede determinar la datos de entrada y de salida del reactor y por último se tendrá en cuenta el tanque final de deposición del agua; en la tabla 31 se determina el flujo de agua a tratar. En el capítulo de caracterización del agua se determinó la concentración de colorante índigo en el agua a tratar ya que este dato es un valor importante para el diseño conceptual del proceso. En la tabla 32 se muestra el resumen de los datos con el cual se desarrollará el diseño conceptual.

Tabla 31. Resumen de datos para el desarrollo del diseño conceptual

Resumen de datos	
Concentración inicial de colorante (mol/l)	0,0004098
Concentración final de colorante (mol/l)	9,7234E-05
Constante de reacción (1/seg)	0,0021
Conversión total de la reacción	0,7627

- **Balance para el reactor.** Para determinar el balance de materia de la reacción se asume que las otras sustancias que están en el agua a tratar son inertes y no reaccionan entre sí ni por medio del catalizador del ácido acético que se emplea para bajar el pH de la solución; lo anterior se determinó mediante los resultados obtenidos después de tratar el agua ya que el resultado de esto se obtuvo un agua con una reducción de color y un precipitado el cual hace parte de los

productos obtenido en la reacción 3. El balance de materia del reactor se realizó mediante la tabla estequiometria de la reacción 3 la cual corresponde a los reactivos y productos que entraron y salieron en el reactor. El resumen de la tabla estequiometria se encuentra en la tabla 33.

Tabla 32. Tabla estequiometria de la reducción del azul índigo.

tabla estequiometrica		
especie	inicial	final
A ($C_{16}H_8N_2O_8S_2$)	C_A^0	$C_{Af} = C_A^0(1 - X_A)$
B (H_2O)	C_B^0	$C_{Bf} = \frac{7}{5} C_A^0(1 - X_A)$
C ($C_8H_5NO_2$)	-	$C_{Cf} = \frac{2}{5} C_A^0(1 - X_A)$
D ($C_8H_5NO_5S$)	-	$C_{Df} = \frac{2}{5} C_A^0(1 - X_A)$
E ($C_7H_5NO_5S$)	-	$C_{Ef} = \frac{2}{5} C_A^0(1 - X_A)$
F ($C_7H_4NO_4S$)	-	$C_{Ff} = \frac{2}{5} C_A^0(1 - X_A)$
G (S_2O_5)	-	$C_{Gf} = \frac{1}{5} C_A^0(1 - X_A)$
H (C_2H_2)	-	$C_{Hf} = \frac{1}{5} C_A^0(1 - X_A)$
I (H_2)	-	$C_{If} = \frac{1}{5} C_A^0(1 - X_A)$
J (C_2H_2O)	-	$C_{Jf} = \frac{1}{5} C_A^0(1 - X_A)$

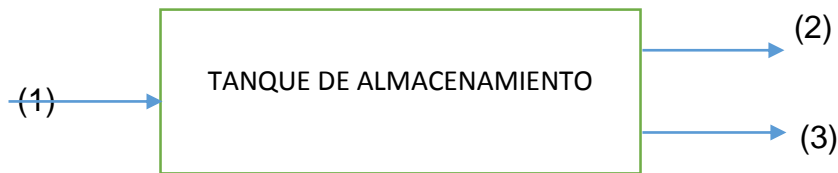
A partir de la tabla 34 se puede determinar el balance del reactor ya que este nos permite calcular la cantidad de producto que se tendrá después de haberse culminado los 5 minutos en el reactor, en la ilustración 7 se muestra el balance másico total del reactor.

Ilustración 7. Balance de reactor

balance del reactor															
	compuesto	agua	cloro	soda	bisulfato	dispersante	humectante	secuestrante	azul 15	turqueza s6	sal	alcali	ofl	MnO ₂	total
datos de entrada	total	5300	32	7	1,8	2,4	1,2	1,2	0,197	3,608	44	2,2	0,6	108	masico
	Xi	0,815422	0,004923	0,001076972	0,0002769	0,0003692	0,0001846	0,0001846	3,031E-05	0,0005551	0,00677	0,00034	9,2E-05	0,0166	6499,703
	compuesto	ofl	adaja	$C_{16}H_8N_2O_8S_2$	acido acetico	$C_8H_5NO_2$	$C_8H_5NO_5S$	$C_7H_5NO_5S$	$C_7H_4NO_4S$	S_2O_5	C_2H_2	H_2	C_2H_2O		total
	total	0,6	1	958,81	35,08806	0	0	0	0	0	0	0	0		fraccion
	Xi	9,23E-05	0,000154	0,14751597	0,0053984	0	0	0	0	0	0	0	0		1
datos de salida	compuesto	agua	cloro	soda	bisulfato	dispersante	humectante	secuestrante	azul 15	turqueza s6	sal	alcali	ofl	MnO ₂	total
	total	4981,503	32	7	1,8	2,4	1,2	1,2	0,197	3,608	44	2,2	0,6	108	masico
	Xi	0,76642	0,004923	0,001076972	0,0002769	0,0003692	0,0001846	0,0001846	3,031E-05	0,0005551	0,00677	0,00034	9,2E-05	0,0166	6499,703
	compuesto	ofl	adaja	$C_{16}H_8N_2O_8S_2$	acido acetico	$C_8H_5NO_2$	$C_8H_5NO_5S$	$C_7H_5NO_5S$	$C_7H_4NO_4S$	S_2O_5	C_2H_2	H_2	C_2H_2O		total
	total	0,6	1	731,3121151	35,08806	90,999154	90,999154	90,999154	90,999154	45,499577	45,4996	45,4996	45,4996		fraccion
Xi	9,23E-05	0,000154	0,112514696	0,0053984	0,0140005	0,0140005	0,0140005	0,0140005	0,0070003	0,007	0,007	0,007		1	

- **Balance para el tanque de almacenamiento.** Para determinar el balance del tanque de almacenamiento se tiene en cuenta que la entrada del tanque son los datos de salida del reactor en la ilustración 7 y la salida del tanque en la parte superior es el agua con los compuestos iniciales del agua a tratar que se encuentra en la ilustración 6 pero en la parte inferior sale productos como son la reducción del colorante los cuales están precipitados estos salen para un proceso de disposición de residuos ya que estos no pueden ser re-utilizados, mientras que el agua que sale por la parte superior esta puede ser re-utilizada en el proceso de lavado de cada etapa del proceso de blanqueado y así disminuir los costos en el gasto de agua. En la ilustración 8 se muestra las corrientes de entrada y salida del tanque de almacenamiento.

Ilustración 8. Flujo de entrada y salida del tanque de almacenamiento.



La corriente (1) hace parte de toda la sustancia que sale del reactor mientras que la (2) hace parte de la parte de la composición del agua a tratar en la cual se habla en la ilustración 6 y en el flujo (3) se corresponde a la reducción del colorante descrito en la reacción 3 el flujo másico de esta corriente se puede determinar con la balance del reactor en la ilustración 7 dando como resultado la tabla 34 donde se describe los flujo en el tanque de almacenamiento

Tabla 33. Balance de materia del tanque de almacenamiento.

Corriente	Cantidad en la corriente
1 (l/h)	6499,7031
2 (l/h)	5953,708608
3 (g/h)	545,994492

4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Para desarrollar el dimensionamiento de los equipos se tendrá en cuenta los datos del proceso de blanqueado esto quiere decir que estos equipos estarán diseñados para cubrir la demanda de capacidad del proceso por cada ciclo de blanqueado.

4.4.1 Diseño del reactor. Se escogió un reactor CSTR debido a el flujo de materia que se va a utilizar (el agua a tratar) ya que si en el caso de escoger un PFR o un PBR la geometría del reactor va a permitir una mayor disponibilidad de área para construir o implementar el reactor en la empresa; por otra parte, se escogió el CSTR por la disponibilidad de este en el mercado. Para desarrollar el diseño del reactor CSTR se obtuvo el volumen que tiene que tener el reactor de la fórmula de diseño de un CSTR⁷³ la cual se muestra en la ecuación 13.

Ecuación 13. Ecuación de diseño para un CSTR.

$$\frac{V}{F_a^o} = \frac{X}{-r_a}$$

Fuentes. Fogler Scott H. Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas. Prentice Hall. Tercera edición. México (2001). Pág. 33-67

Para poder obtener las dimensiones del reactor se tuvo que obtener experimentalmente la velocidad de reacción y el orden de la reacción. La metodología realizada para dicha experimentación se obtiene el en anexo F; los resultados para obtener la velocidad de reacción se encuentra en la tabla 36; también se encuentra la velocidad de reacción durante toda la experimentación y la constante de velocidad en un intervalo de 30 segundos.

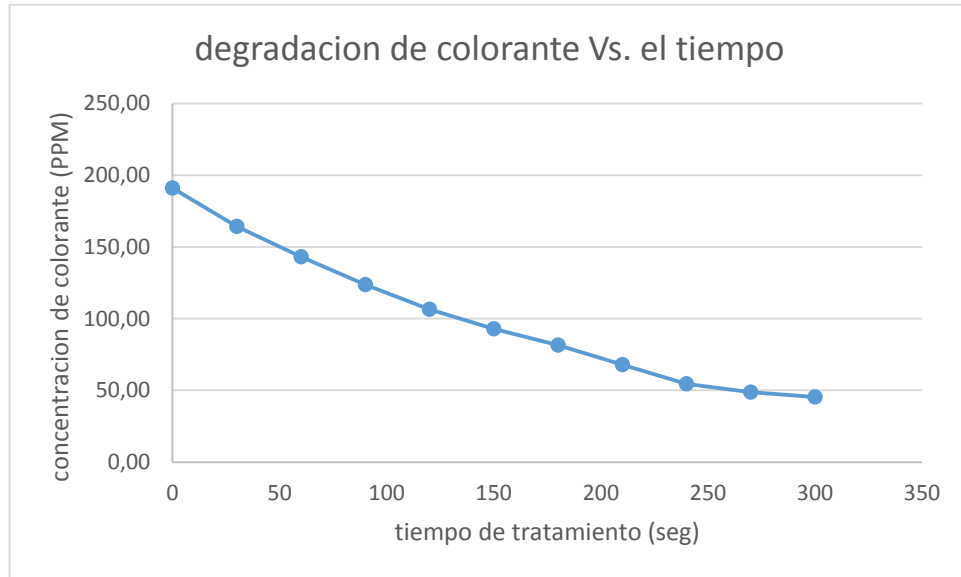
Tabla 34. Datos de la degradación de colorante durante 5 minutos.

t (seg)	ABS	C (ppm)	C(g/l)	C (mol/l)	v (mol/seg)	k (1/seg)
0	0,91	191,12	0,19	0,00	0,90	0,00470
30	0,77	164,19	0,16	0,00	0,71	0,00429
60	0,66	143,04	0,14	0,00	0,64	0,00448
90	0,56	123,81	0,12	0,00	0,58	0,00466
120	0,47	106,50	0,11	0,00	0,45	0,00421
150	0,4	93,04	0,09	0,00	0,38	0,00413
180	0,34	81,50	0,08	0,00	0,45	0,00551
210	0,27	68,04	0,07	0,00	0,45	0,00660
240	0,2	54,58	0,05	0,00	0,19	0,00352
270	0,17	48,81	0,05	0,00	0,12	0,00236
300	0,152	45,35	0,05	0,00	1,51	0,03333

⁷³ Fogler Scott H." Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas". Prentice Hall. Tercera edición. México (2001). Pág. 33-67

En la gráfica 7 se puede observar la degradación del colorante en la muestra respecto al tiempo, ya que en esta se representa en el eje Y la concentración de colorante (PPM) en el agua durante la experimentación (5 minutos)

Gráfica 6. Degradación de colorante Vs. Tiempo



Para poder determinar el volumen necesario del reactor se puede obtener por medio de la experimentación de la velocidad de reacción y con esta determinar el orden de la reacción dando como resultado de esta experimentación la cual se puede encontrar en anexos 2 da una velocidad de reacción de $0.001297543 \frac{mol.}{seg.L}$ para la conversión obtenida en el proceso; pero esta velocidad de reacción se puede obtener en cualquier momento de la reacción con la ecuación 14.

Ecuación 14. Velocidad de reacción en diferentes conversiones

$$-r_a = \frac{0.021}{seg} (C_a^0(1 + X))^{0.9}$$

En la ecuación 14 se muestra el orden de la reacción la cual es de 0.9 esta se determinó mediante la regresión lineal expuesta en las gráficas que se encuentra en el anexo E; el cual dio un $R^2 = 0.9963$. Con estos datos y la ecuación 12 podemos obtener el volumen necesario para que la reacción se lleve a cabo dando como volumen:

$$V = \frac{XF_a^0}{\frac{0.021}{seg} (C_a^0(1 - X))^{0.9}} = \frac{XC_a^0 v_0}{\frac{0.0021}{seg} (C_a^0(1 - X))^{0.9}}$$

Donde.

$$X = 0.7627$$
$$C_a^0 = \frac{0.0004098 \text{ mol}}{l}$$
$$v_0 = \frac{1.183648 l}{\text{seg}}$$

Dando como resultado un volumen de.

$$V = 719.1943 l$$

El volumen total del reactor es la sumatoria del volumen del reactor más el volumen del catalizador es de 160 l aproximadamente.

$$V_t = 719.1943 l + 160 l$$
$$V_t = 880 l$$

- **Sobredimensionamiento del tanque.** El volumen del tanque debe cubrir la necesidad del flujo de agua que se va a tratar es por eso que el volumen de tanque será la cantidad de agua a tratar en el proceso más el factor de seguridad el cual es del 15% este dato se obtuvo mediante bibliografía⁷⁴.

$$V_t = 880 \text{ Lts} * 1.15$$

$$V_t = 1012 \text{ lts}$$

$$V_t = 1.012 \text{ m}^3$$

Para determinar las dimensiones del tanque se debe realizar una estimación la cual es que el tanque debe tener un 75% máximo de su volumen ocupado. Esta estimación se obtuvo por medio del manual de cálculos de van industry, el cual se encuentra libre en la red. Se escogió un reactor con una geometría cilíndrica ya que es más fácil en el momento de fabricar y en el momento de ser limpiado es más fácil que si fuera un cubo o cualquier otra geometría. Con esta estimación se realiza los siguientes cálculos:

- **Diámetro interno del tanque**

$$h \geq 1.75$$

$$V_t = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot (1.75 \cdot r)$$

$$r = 0.5168 \text{ m}$$

$$D_i = 2r = 1.033668 \text{ m}$$

⁷⁴ Anónimo. "manual de cálculos- apartado 11". Van industry. En línea: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Altura del cilindro**

$$h = 1.75 * D_i$$

$$h = 1.8089m$$

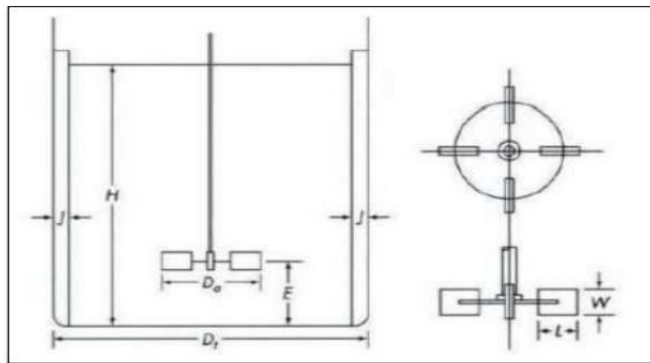
- **Volumen del cilindro**

$$V_c = \pi . r^2 . h = \pi . (0.5168m)^2 . 1.8089m$$

$$V_c = 1.5178m^3$$

- **Parámetros del agitador.** Lo que se busca con el agitador es que la cantidad de agua en el reactor este en constante movimiento permitiendo que haya una interacción entre el agua a tratar y las fibras impregnadas con el catalizador. Es por esto que se tomara un agitador de turbina ya que nos permite interactuar las 6 palas con el fluido dando mayor movilidad a esta misma, este agitador trabajara a 400 rpm; la frecuencia del agitador se especifico debía a que en la experimentación se cogió como variable fija de 400 rpm y siempre se obtuvo buenos resultados. Se calcula el dimensionamiento del agitador de acuerdo con las relaciones geométricas expuestas en el Manual de cálculos. Van industry. En la ilustración 9 se ve el dimensionamiento que debe tener el agitador en el reactor. ⁷⁵

Ilustración 9. Diseño del agitador de palas en el reactor.



Para determinar el dimensionamiento del agitador se lleva a cabo las siguientes ecuaciones.

Ecuación 15. Relación para la determinación del diámetro del agitador

$$D_a / D_t = \frac{1}{3}$$

⁷⁵ Anónimo. “manual de cálculos- apartado 11”. Van industry. En línea: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Ecuación 16. Relación para la determinación de las placas deflectoras

$$J/D_t = \frac{1}{12}$$

Ecuación 17. Relación para la determinación de la altura desde la turbina hasta el fondo del reactor

$$E/D_t = \frac{1}{3}$$

Ecuación 18. Relación para la determinación de la altura de las palas de la turbina

$$W/D_a = \frac{1}{5}$$

Ecuación 19. Relación para la determinación de la anchura de las palas de la turbina

$$L/D_a = \frac{1}{4}$$

Fuente. Manuela de cálculos: Diseño de Tanques y Cubetos. Recuperada 11/septiembre/2017. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Dónde:

Da: diámetro del agitador (m).

Dt: diámetro interno del reactor (m)

J: ancho de las placas deflectoras (m)

E: altura desde la turbina hasta el fondo del reactor (m)

W: altura de las palas de turbina (m)

L: ancho de las palas de turbina (m)

Mediante las ecuaciones descritas con anterioridad se obtuvo los siguientes datos:

$$D_a = 0.344556 \text{ m}$$

$$J = 0.08614 \text{ m}$$

$$E = 0.344556 \text{ m}$$

$$W = 0.0689 \text{ m}$$

$$L = 0.0861 \text{ m}$$

4.4.2 Diseño del tanque almacenamiento. Se tiene como consideración que el volumen del tanque debe ser 15% más grande esto es debía a un margen de seguridad dando como resultado la ecuación 19.⁷⁶

Ecuación 20. Volumen del tanque de almacenamiento

$$V_t = V * 1.15$$

Fuente. *Manuela de cálculos: Diseño de Tanques y Cubetos. Recuperada 11/septiembre/2017.* Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

El material del tanque será de PVC lo cual permite que disminuir los costos de un tanque en acero inoxidable se escogió esta materia debido a que el agua no va a hacer utilizadas o dispuesta para el consumo humano si no que se busca la forma de almacenarla primero para que se lleve a cabo la precipitación y segundo para la recolección del agua en la empresa o para ser dispuesta a él vertimiento.

- **Sobredimensionamiento del tanque.** El volumen del tanque debe cubrir la necesidad del flujo de agua que se va a tratar es por eso que el volumen de tanque será la cantidad de agua a tratar en el proceso más el factor de seguridad.

$$V_t = \frac{Q_m \cdot \tau}{\rho} \frac{6391.703066}{1053.7 \text{ Kg/m}^3} * 1.15$$

$$V_t = 6975.8 \text{ l}$$

$$V_t = 6.9758 \text{ m}^3$$

Para determinar las dimensiones del tanque se debe realizar una estimación la cual es que el tanque debe tener un 75% máximo de su volumen ocupado. Esta estimación se obtuvo por medio del manual de cálculos de van industry, el cual se encuentra libre en la red.

- **Diámetro interno del tanque**

$$h \geq 1.75$$

$$V_t = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot (1.75 \cdot r)$$

$$r = 0.98357m$$

$$D_i = 2r = 1.9671m$$

⁷⁶ Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Altura del cilindro**

$$h = 1.75 * D_i$$

$$h = 3.442m$$

- **Volumen del cilindro**

$$V_c = \pi . r^2 . h = \pi . (0.98357m)^2 . 3.442m$$

$$V_c = 10.4609m^3$$

4.1.2 Tabla especificaciones de equipos

Tabla 35. Tabla resumen de especificaciones de equipos

equipos	material	volumen (m^3)	especificaciones						
			altura (m)	Di (m)	Da (m)	J (m)	E (m)	W (m)	L (m)
reactor CSTR	acero inoxidable	1,518	1,809	1,034	-	-	-	-	-
tanque de almacenamiento	PVC	10,461	3,442	1,967	-	-	-	-	-
Agitador	acero inoxidable	-	-	-	0,345	0,086	0,345	0,069	0,086

5. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR TIPO CSTR AL INTERIOR DE UNA PLANTA COMERCIAL DE DACETEX LDTA

Las inversiones que participan en una estructuración de tipo financiero en un proyecto son de tipo dependientes como lo es la inversión de capital, los costos que se requieren en la elaboración del producto, esto con el fin de proyectar los periodos a un horizonte mucho más lejos que la planeación, es por esto que en este capítulo se resumen como a grandes rasgos la inversión inicial para obtener una reducción del colorante azul índigo al interior de una empresa comercial que cuenta la empresa patrocinadora, como se sabe este proyecto debe tener un horizonte claro, es por eso que se habla de diferentes etapas, entre ellas la etapa de instalación que hace parte de la mayor inversión en el proyecto, etapa de operación u funcionamiento de donde salen los costos y se producen los ingresos propios de la venta o de la prestación de servicio, para este caso en especial esta etapa de operación no genera ningún ingreso, pero su debido funcionamiento evitara que la mayoría de sanciones implantadas por el ministerio de ambiente y en ambientes extremos el sellamiento definitivo del establecimiento.

5.1 INVERSIÓN

A continuación, se muestra los componentes que se consideran inversión, entre estos esta la implementación de un reactor tipo CSTR al interior de la empresa y la compra de un ultrasonido de 30 litros de capacidad⁷⁷.

Tabla 36. Precio del Reactor CSTR puesto en Colombia, junto con el tanque de almacenamiento y ultrasonido.

	Precio
<hr/> <hr/>	
Reactor CSTR	
Acero inoxidable 316L (FYF-12000)	\$ 19.756.759
Ultrasonido marca RoHS	
600 W 45 Khz	\$ 1.353.990,00
Tanque de almacenamiento 11 metros cúbicos	
Tanque Rotocol	\$ 3.350.000
<hr/> <hr/>	

5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN

Los costos de fabricación son aquellos que se vinculan con la elaboración de producto, para el caso de la empresa Dacetex Ltda. Instalará el Reactor tipo CSTR al interior de la empresa, en donde por medio de un contrato fijo de recolección del

⁷⁷ Alibaba” Reactor CSTR”. En línea: https://www.alibaba.com/product-detail/China-supplier-cstr-reactor-syrups-mixing_60551001728.html?spm=a2700.7724838.2017115.105.6a691b9cqg1yIn

agua para la empresa comercial A contratará los servicios de recolección y tratamiento del vertimiento para su posterior tratamiento, en donde la empresa patrocinadora después de tratada se comercializará para generar mayor ingreso.

5.2.1 Costos directos. Se habla de materias primas, materiales directos para la fabricación del proyecto, la mano de obra que genere con sus respectivas prestaciones, para este caso la instalación del tanque en acero inoxidable, con el agitador de paletas, el empaquetamiento al interior de estas con la fibra ya tratada, motor para su funcionamiento, en general todo se describe de forma detallada al interior del capítulo.

- **Materia prima.** Para este caso la materia prima fundamental que es el pseudotallo del plátano será suministrada por la finca pionera en este proceso, localizada 3 km vía Nariño en Girardot, el otro componente esencial para la realización de este proyecto es el permanganato de potasio $KMnO_4$, el cual se encuentra en almacenamiento dentro de la empresa.

El precio por el cual se acordó en la finca recolectora es de \$ 25 pesos colombianos, en donde por cada tallo que se extraiga el producto neto aproximadamente será de 94 gramos para impregnar, este valor se obtiene del promedio de usar 3 tallos recolectados, extrayendo el material necesario, en donde el peso seco de estos último fue de 284 gramos, para las primeras experimentaciones la cantidad usada fue de 30 gramos para $\frac{1}{2}$ de tallo recolectado.

Tabla 37. Precio de tallo recolectado en la finca productora

Tallo recogido en Finca	
1 tallo	94,67
\$ 25 Por Tallo	

En la empresa asociada A tiene una capacidad de producción de $24 m^3$, teniendo un uso promedio de 28 días, durante 12 meses, eso nos da un valor de $8.064 m^3$, por el diseño experimental podemos establecer que por cada gramo de fibra se puede tratar aproximadamente 50 mL de agua con colorante, con esta relación se establece que la cantidad de gramos al años necesarios para satisfacer la demanda que tendrá la empresa es de 161.280.000 gramos, calculando la cantidad promedio de tallos necesarios es de 1.703.662 con un precio comercial de \$ 42.591.549 al año.

Tabla 38. Precio al año del bagazo de plátano

Precio de Bagazo de plátano	
m^3 año	8.064
Gramos año	161.280.000
Kg año	161.280
Tallos usados	1.703.662
Precio de tallos	\$ 42.591.549

El permanganato de potasio tiene un valor comercial de \$ 25.350 el kilogramo⁷⁸, para este caso el ultrasonido tiene una capacidad de 30 litros, utilizando la misma relación que se viene trabajando en la experimentación la cantidad de gramos que se puede hacer el pretratamiento y la impregnación es de 3 kg, el ultrasonido de marca RoHS tiene un consumo de 0.6 kWh, en donde el precio de kWh en la localidad de puente Aranda⁷⁹ es de 510 \$/kWh, resumiendo los valores de estos dos materiales indispensables para el proceso se define en la tabla 41 y 42 , donde explicamos la cantidad de permanganato a usar durante un año de trabajo hábil.

Tabla 39. Cantidad de permanganato usado en una tanda del proceso.

Precio por gramo tratado con ultrasonido	
\$/kWh	510
kWh	0,6
Tiempo (Pre y trata) h	2
Capacidad de tratar 2 h (gramos)	3.000
Precio de uso Ultrasonido	\$ 612
Precio de gramo usado energía	\$ 0.2

Tabla 40. Precio de permanganato por año

Precio por gramo de permanganato	
Gramos por tanda (gr)	3,5
Precio por gramo en tanda	\$ 89
Precio de gramos al año	\$ 4.769.856

⁷⁸ Quiminet, Precio estimado permanganato, Cali Colombia (2013). En línea: <https://www.quiminet.com/productos/permanganato-de-potasio-10350814/precios.htm>.

⁷⁹ Codensa, Tarifas 2017, Hogar, residencial, Industrial, Bogotá Colombia (2017). En línea: <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>.

Tabla 41. Materiales directos Dacetex

Materiales directos DACETEX			
Todos los procesos	los	\$	54.000.000
Nanopartículas		\$	1.000.000

Fuente. Informe suministrado por la empresa Dacetex Recuperado 10/noviembre/2017

Estos materiales son los que participan en el proceso para facilitar el resultado esperado, que en este caso es al interior del reactor CSTR es la disminución del colorante, para que esto ocurra es necesario un medio ácido al momento de iniciar la operación y un hidróxido para nivelar en pH a más o menos 7, para este caso Dacetex contaba ya en almacenamiento estos dos compuestos juntos con los demás necesarios para todos sus procesos productivos.

- **Mano de obra.** Estos operarios participan de forma directa en el proceso de fabricación, para la empresa se tiene una cantidad de 4 operarios para realizar el total de las operaciones descritas en la planta, para la implementación de este proyecto es necesario contratar a otro operario que cumpla con las especificaciones del todo el proceso, en la tabla 41 se muestra detalladamente el valor de la mano de obra durante el primer año.

Tabla 42. Mano de obra en un año vigente en la empresa DACETE-

Mano de obra	
Todos los procesos	\$ 38.400.000
Nanopartículas	\$ 10.200.000

5.2.2 Costos indirecto. Corresponde al personal de servicios auxiliares, entre estos el almacén, control de calidad, seguridad, imprevistos entre otros, los valores corresponden a un aproximado durante todo el año labor en la empresa, y se suma un valor de los implementos que pueda llegar a tener la implementación del proyecto, el valor total al año es de \$ 4.860.000.

- **Otros gastos indirectos**

Depreciación de la fábrica y Servicios. Para la depreciación de la fábrica el valor que se usa es de \$ 8.000.0000 este valor lo da la empresa DACETEX, es una proyección que tiene alrededor de todos los equipos al interior de la empresa. Para los servicios el gasto anual es de \$ 284.458.138, para el uso del ultrasonido se especifica los valores en la tabla 45 , que tiene un consumo de 0.6 kWh haciendo aproximaciones con la capacidad de tratamiento del ultrasonido se establece que por cada dos horas de uso el ultrasonido que involucra el pre tratamiento y el tratamiento se puede tratar 3000 gramos de fibra, esto permite hacer una relación gramo costo de energía con un valor de 510 \$/kWh, para un valor de 0.20 pesos por gramos usado en el ultrasonido, para un tratamiento de 161.280 kg al años el costo de energía es de alrededor de \$ 32.901.120 , a este precio se suma el consumo del reactor el cual estará en uso 8 horas diarias por todo el año , dejando 1 día de mantenimiento preventivo cada trimestre, el uso diario de este reactor FYF-1200 es de \$ 244.800 pesos colombianos diarios, esto representa anualmente para la empresa un valor de \$ 82.252.800.

Tabla 43. Precio diario del uso del reactor.

Precio por uso del reactor	
\$/kWh	510
kWh	60
Tiempo h	8
Precio por Ciclo Diario	\$ 244.800

El consumo de agua está ligado al pre tratamiento que se use en el ultrasonido, se sabe que tiene una capacidad de 30 litros es por eso que se saca la relación por cada tanda que se debe hacer al año, donde 53.760 son las veces que se debe hacer el pretratamiento y la impregnación, con un costo promedio de uso industrial el metro cubico de agua proveniente del alcantarillado de Bogotá⁸⁰ es de 3.173,52, entonces la relación de uso para el ultrasonido es de \$ 85.304.218 millones de pesos al año.

⁸⁰ Empresa de alcantarillado y acueducto de Bogotá (EAAB-ESP) , Tarifas Metro Cubico Zona residencial, Bogotá , Colombia , (2017) , En línea: <http://www.acueducto.com.co/>

Tabla 44. Consumo para alcantarillado de Bogotá al interior de la planta

Precio de Consumo de agua	
M3 al año	\$ 85.304.218
Precio metro día	\$ 3.173,52

Todo este costo nos permite establecer el flujo de costo alrededor de los primeros 7 años, se recuerda que los datos suministrados fueron de periodos que la empresa escoge para su labor académica, estos valores se muestran a continuación.

Tabla 45. Flujo total de costo

Periodo	Mano de obra, insumos, gastos administrativos Costos de Operación (Recursos Propios)						
	1	2	3	4	5	6	7
Costos de Fabricación	\$ 277.591.549	\$342.501.127	\$359.626.183	\$377.607.492	\$396.487.867	\$416.312.260	
Materia Prima	\$ 222.591.549	\$233.721.127	\$245.407.183	\$257.677.542	\$270.561.419	\$284.089.490	
Materiales directos	\$ 55.000.000	\$57.750.000	\$60.637.500	\$63.669.375	\$66.852.844	\$70.195.486	
Mano de obra	\$ 48.600.000	\$51.030.000	\$3.581.500	\$56.260.575	\$59.073.604	\$62.027.284	
Prestaciones							
Otros Materiales directos							
Gastos de Fabricación	\$ 20.815.380	\$ 21.856.149	\$ 22.948.956	\$ 24.096.404	\$ 25.301.224	\$ 26.566.286	
Materiales indirectos							
Mano de obra indirecta	\$ 4.860.000	\$ 5.103.000	\$ 5.358.150	\$ 5.626.058	\$ 5.907.360	\$ 6.202.728	
Prestaciones	\$ 15.955.380	\$ 16.753.149	\$ 17.590.806	\$ 18.470.347	\$ 19.393.864	\$ 20.363.557	
Otros gastos indirectos	\$ 291.019.138	\$ 313.970.094	\$ 329.668.599	\$ 346.152.029	\$ 363.459.631	\$ 381.632.612	
Depreciación de Fabrica	\$8.000.000	\$8.400.000	\$8.820.000	\$9.261.000	\$9.724.050	\$10.210.253	
Servicios	\$ 284.458.138	\$ 298.681.044	\$ 313.615.097	\$ 329.295.852	\$ 345.760.644	\$ 363.048.676	
Mantenimiento	\$ 4.374.000	\$ 4.592.700	\$ 4.822.335	\$ 5.063.452	\$ 5.316.624	\$ 5.582.456	

Tabla 46. Flujo total de costo (continuación).

Mano de obra, insumos, gastos administrativos Costos de Operación (Recursos Propios)							
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7
Seguros		\$ 2.187.000	\$ 2.296.350	\$ 2.411.168	\$ 2.531.726	\$ 2.658.312	\$ 2.791.228
Amortización de diferidos							
Otros							
Gastos Administrativos		\$ 201.600.000	\$ 211.680.000	\$ 222.264.000	\$ 233.377.200	\$ 245.046.060	\$ 257.298.363
Sueldos		\$ 144.000.000,0 0	\$ 151.200.000	\$ 158.760.000	\$ 166.698.000	\$ 175.032.900	\$ 183.784.545
Prestaciones		\$ 57.600.000,00	\$ 60.480.000	\$ 63.504.000	\$ 66.679.200	\$ 70.013.160	\$ 73.513.818
Flujo de Costo		\$ 791.026.067	\$ 890.007.370	\$ 934.507.739	\$ 981.233.126	\$ 1.030.294.782	\$ 1.081.809.521

5.2.3 Presupuesto de producción

- **Ventas.** El ingreso por venta es un aproximado que la empresa cliente no puede brindar, todo por el tema de confidencialidad, es por eso que se habla de periodo 1 al periodo 7, para el primer periodo la empresa registra unas ventas de \$ 850.577.370,24 esto corresponde al valor normal de ventas hechas al año y el valor que tendría el proyecto de tratar agua y su posterior retroventa. La empresa fijo el precio de venta para el agua tratada para un valor de \$4.500 el metro cubico tratado y para la recolección de este establece un valor de \$ 9.500, esto calculado con la producción anual a la cual se someterá da un valor de ingresos brutos de \$ 112.896.000 millones de pesos.

Tabla 47. Precio de venta para metro cubico de agua tratada y recolectada

Venta de metro cubico de agua		
\$/m3	\$	36.288.000
Vendida		
\$/m3	\$	76.608.000
Recolectada		
Total	\$	112.896.000

- **Costo Total e Impuestos.** El valor de costo total será el flujo completo de los costos de operación que se encuentra en la sección 5.2.1., seguido de un descuento por parte del 35% de las utilidades que corresponde al impuesto de renta que es cobrado anualmente a la empresa.

Tabla 48. Presupuesto de producción

Periodo	Ventas						
	Presupuesto de producción						
	1	2	3	4	5	6	7
Ingreso por Ventas	\$ 830.577.370	\$872.106.239	\$915.711.551	\$961.497.128	\$	\$	\$
Costo total	\$ 791.026.066	\$ 830.577.370	\$ 872.106.239	\$ 915.711.551	\$ 961.497.128	\$ 1.009.571.985	\$ 1.060.050.584
Utilidad antes de impuestos	\$ 39.551.303,34	\$ 14.535.104	\$ 15.261.859	\$ 16.024.952	\$ 16.826.200	\$ 16.826.200	\$ 17.667.510
Impuestos 35%	\$ 13.842.956	\$ 14.535.104	\$ 15.261.859	\$ 16.024.952	\$ 16.826.200	\$ 16.826.200	\$ 17.667.510
Util. Después de impuestos	\$ 25.708.347	\$ 8.400.000	\$ 8.820.000	\$ 9.261.000	\$ 9.724.050	\$ 9.724.050	\$ 10.210.253
+ Depreciaciones	\$ 8.000.000	\$ 8.400.000	\$ 8.820.000	\$ 9.261.000	\$ 9.724.050	\$ 9.724.050	\$ 10.210.253
Flujo de producción	\$ 33.708.347	\$ 35.393.765	\$ 37.163.453	\$ 39.021.625	\$ 40.972.707	\$ 40.972.707	\$ 43.021.342

5.3 FLUJO DE CAJA

Para el presente proyecto se establece el flujo de caja con los valores pertinentes, en donde se muestran cada uno de los estándares para llegar a los indicadores de gestión.

5.4 INDICADORES DE PROYECTO

Para el VPN se usó la fórmula en Excel = NVA() en donde indica los Flujos de caja para cada espacio con una tasa de oportunidad del 15%

Tabla 49. Valor VPN calculado por Excel

Tasa de oportunidad	1,15
VPN	65.279.807

El VPN de \$ 65.279807, significa que además de recuperar toda la inversión el valor de ganancia será de un poco más de \$65 millones de pesos en un periodo de 7 años.

Para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) con ayuda de la fórmula de Excel =IRR(), esta nos establece el valor presente neto debe ser igual a 0, es decir que el valor de la TIR encontrada no puede aceptar un porcentaje mayor al calculado por que se entraría en pérdidas el proyecto, para este caso la TIR encontrada fue del 40%, donde se deben aceptar proyectos con un valor igual o menor al establecido.

Tabla 50. Valor TIR calculado por Excel

TIR	40%
------------	-----

Para el cálculo del beneficio costo es necesario obtener la suma de los ingresos, egresos y la inversión, con estos valores haciendo la diferencia entre la inversión y los egresos, se puede realizar la división del resultado, que nos arroja el indicador beneficio costo, que para este caso es de 1,024, esto quiere decir que por cada peso invertido en el proyecto se tendrá una ganancia de 0,24 por peso.

Estos parámetros son aptos para la evaluación financiera que demuestra que la recolección venta y tratamiento del agua contaminada por parte de la empresa DACETEX, no solamente mitiga riesgos ambientales, sino que también se abre a un nuevo mercado de la reutilización del agua ya contaminada con agentes de nanos compuestos, en la tabla 50 se detalla el flujo de caja proyectado a los 7 periodos que brinda la empresa patrocinadora.

Tabla 51. Flujo de caja Neto, para la evaluación financiera de la empresa DACETEX

Flujo de caja neto								
Recursos propios								
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7
Flujo de inversión	- \$81.476.266						\$ -	\$11.485.253
Flujo de producción		\$ 3.708.347	\$ 35.393.764	\$ 37.163.452	\$ 39.021.625	\$ 40.972.706	\$ 43.021.342	\$ -
Flujo neto de caja	- \$81.476.266	\$ 33.708.347	\$ 35.393.764	\$ 37.163.452	\$ 39.021.625	\$ 40.972.706	\$ 54.506.595	\$ -
VP	- \$81.476.266	\$ 29.311.606	\$ 26.762.770	\$ 24.435.573	\$ 22.310.740	\$ 20.370.676	\$ 18.599.313	

6. CONCLUSIONES

- En el desarrollo experimental para determinar las condiciones en la cuales son vertidas los residuos de la muestra A y B, se realizaron las pruebas de caracterización del agua siguiendo la Norma Técnica Colombiana, en donde se toman las pruebas de mayor peso en la resolución de calidad del agua 0631 en la sección *fabricación y manufacturación de bienes*. Dando como resultado que para las dos muestras las pruebas no aceptados fueron la de sólidos Totales sedimentados que para la muestra A excedió 374% y la muestra B 792% del límite máximo permisible; la DQO con un porcentaje de 186% en la muestra A y 168% para la muestra B. esto se debe a los niveles elevados de materia orgánica por la descomposición del componente activo del azul índigo, sea sulfatos compuestos aromáticos y otros componentes que formen una degradación de la materia orgánica, sumado a este los residuos de motas y trazos de material remanente que contiene un porcentaje de algodón en su estructura.
- Se escogió como plantilla para la impregnación la calceta de plátano por la disponibilidad que se tiene en el territorio nacional; en la cual se evaluó diferentes geometrías en la plantilla para determinar cuál de estas facilita el proceso, dando como resultado que la fibra molida no es conveniente, debido a que es difícil de manipular en la recolección del proceso, la fibra en hilos en el momento de la impregnación se debilita y al ser utilizada con el agua se rompe con facilidad, dando como resultado que la mejor geometría para el proceso de impregnación y reducción de color es la forma de cuadros, de esta manera se tiene una buena interacción de la fibra con la muestra permitiendo un proceso de reducción de colorante adecuado para el proceso.
- El diseño experimental se realizó mediante un diseño factorial 4^2 donde se evaluaron 4 niveles para la concentración del precursor y el pH de la muestra, El diseño experimental dio como resultado que si existe una interacción entre los diferentes niveles de cada variable dando como mejor configuración una concentración del precursor de 5mM y un pH 3.5 en la muestra, lo que permitió dar una reducción de colorante del 87% para la muestra A y un 22% para la muestra B.
- Se determinó mediante la experimentación que la velocidad de reacción para la reducción de colorante depende de la concentración del mismo, dando como resultado que el orden de la reacción es de 0.9; el cual es utilizado para el dimensionamiento del reactor CSTR.
- El desarrollo del diseño conceptual se realizó utilizando los datos obtenidos para determinar el dimensionamiento de los equipos, dando como resultado que el diseño consta de un reactor CSTR con un volumen de $1.518m^3$ el cual cuenta con un agitador de 4 aletas y un filtro y un tanque de sedimentación con un

volumen de $10.460m^3$, todo esto con el fin de satisfacer las necesidades del proceso, debido a la cantidad de desechos que maneja la empresa ($24m^3$ diarios) y porque nos permite agregar o retirar la fibra en el dispositivo debía al filtro que se aconseja en las salidas del reactor.

- Por medio de la evaluación financiera con una proyección de 7 años, se puede expresar que el diseño es viable económicamente, las ventas realizadas al año por la recolección y venta del agua a la empresa comercial DACETEX, cuenta con una tasa interna de retorno por un valor de 40%, garantizando la devolución del dinero invertido y una oportunidad de negocio en un mercado de alta demanda.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar la experimentación descrita por las NTC, tomando la muestra ya sedimentada, de esta forma evaluar si tiene un efecto negativo la cantidad de sólidos que contenga la solución al momento de realizar los protocolos exigidos por el ministerio de ambiente.
- Realizar el análisis de la muestra del capítulo 2 (caracterización de la muestra de vertimientos de la industria textil colombiana) en más empresas para así tener un patrón considerado de las condiciones de los residuos de la industria textil colombiana para buscar diferentes métodos para tratar estos residuos.
- Evaluar diferentes tipos de plantillas para llevar a cabo la impregnación, con el fin de mirar cual es la plantilla que mejor se adapte a el proceso, tanto por disposición de esta como para los factores analizados en el trabajo, el fácil manejo de esta plantilla y la efectividad de la impregnación de las nano partículas.
- Mirar la composición de la muestra A y B antes y después de ser tratada para determinar qué efecto causa la composición de estas aguas para determinar qué factores no dejaron que el tratamiento de la muestra B diera los mismos resultados de la muestra A.
- Se recomienda que para la reutilización de la fibra no sea necesario el desperdicio de esta, sino por el contrario se vuelva a impregnar y analizar los valores de reducción del colorante en el agua, comparando sus similitudes con una fibra no utilizada.
- Mirar las posibilidades para utilizar el residuo de la impregnación de la plantilla con el precursor.
- Con el análisis financiero se muestra el valor de cada tallo a \$ 25 pesos, es necesario poder reducir el precio con el proveedor de bagazo, buscando un destinatario mucho más cercano, estos valores crecen como crece la cantidad de agua a tratar.
- Al momento del secado es necesario controlar los valores de humedad y cantidad de calor, porque solo se realizó un secado normal con radiación solar, y la extracción del agua se hace manual esto aumenta el valor de pre tratamiento de cada uno

BIBLIOGRAFÍA

ADAN , Singler W. y JIM, Bauder. Well Educated . *Eduacion en el agua en pozo* . [En línea] 2005. [Citado el: 16 de agosto de 2017.] http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf.

ALIBABA. Reactor CSTR. [En línea] , 27 de Noviembre de 2017. https://www.alibaba.com/product-detail/China-supplier-cstr-reactor-syrups-mixing_60551001728.html?spm=a2700.7724838.2017115.105.6a691b9cqq1yln.

ANNE VÉZINA, Margarita Baena. Promusa. *Morfologia de la planta de platano*. [En línea] 30 de Mayo de 2014. <http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>.

BARBA HO, luz edith. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y PARAMETROS DE MEDICIÓN. *Universidad del Valle*. [En línea] 2002. [Citado el: 10 de septiembre de 2017.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>.

BLANCO TIRANO, Cristian; CHACÓN PATIÑO, Martha; COMBARIZA, Marianny HINESTROZA, Juan; “Biocomposite of nanostructured MnO₂ and Figue fibers for efficient dye degradation” *Green Chemistry*. (2013). pág. 10.

Chatterjerr, P. K. y Gupta, B. S. *Absorbent Technology*. Amsterdam : Elsevier, 2002. 0-445-5000-6.

CHEN RONGJI, Zavalij Peter y WHITTINGHAM, Stanley. *Hydrothermal Synthesis and Characterization of KxMnO₂ , H₂O₂*. New York : s.n., 1995.

CORTEZ VEGA, andrea estefania. *elaboracion del papel a base de residuos del banano*. guayaquil : universidad catolica de santiago de guayaquil, 2014.

CORTÍNEZ VILLALOBOS, victoria andrea. *COMPARACIÓN DE PRETRATAMIENTOS EN RESIDUOS FORESTALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN: HIDRÓLISIS ÁCIDA Y LÍQUIDOS IÓNICOS*. SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE , 2010.

GE, Jiantuan y QU, Jiuhui. *Degradation of azo dye acid red B on manganese dioxide in the absence and presence of ultrasonic irradiation.*. China : s.n., 2003.

CRUZ, Julián Alejandro *Revista Virtual Pro procesos industriales* . 63, Zaragoza : Polifonía Editores, 2007. 1900-6241.

EMAMI, S; TABIL, L.G; TYLER R y CRERAR W. 2005. *starch-protein separation from chickpea flour using a hydrocyclones*. Canada : Canadian society of bioengineering, 2005.

EnColombia. [En línea] Productos Textil. [Citado el: 16 de Enero de 2018.] <https://encolombia.com/economia/info-economica/algodon/industriatextil/>.

Gobierno de la Republica de Panama. *minsa*. [En línea] Proyecto saneamiento de la ciudad de panamá. [Citado el: 18 de Enero de 2018.] <http://www.minsa.gob.pa/proyecto/proyecto-saneamiento-de-la-ciudad-y-la-bahia-de-panama>.

GONZÁLEZ, Velandia y KRYSTLE, Danitza. *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A EMPLEARSE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL.*. 2016, revista científica lunazul.

GONZALES, monica. la guia. [En línea] 11 de JULIO de 2011. [Citado el: 11 de OCTUBRE de 2017.] <https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera>.

HERNANDÉZ RIVERA, José Luis y GARCÍA ROCHA, Jorge. Ciencia y desarrollo. *Los materiales compuestos y su desarrollo actual* . [En línea] febrero de 2010. [Citado el: 27 de agosto de 2017.] <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos6.html>.

ICONTEC. Calidad del agua. Demanda química de oxígeno (DBO). *norma tecnica colombiana 3630*. 2002.

IDEAM. FENOLES EN AGUA POR DESTILACIÓN, EXTRACCIÓN CON CLOROFORMO Y DETERMINACIÓN ESPECTROFOTOMETRÍA. [aut. libro] C. Rodriguez. *El Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 2007, Vol. 2.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 33p. c.

_____. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto. 1998. 23p.

_____. Calidad del agua- determinación de contenido de sólidos. NTC 897. Bogotá D.C.: El instituto. 2015. 23p.

_____. Calidad del agua- determinación de pH. NTC 3651. Bogotá D.C.: El instituto. 1998. 23p.

_____. Calidad del agua- demanda Química de Oxígeno. NTC 2330. Bogotá D.C.: El instituto. 2002. 23p.

Instrumentos de Laboratorio. instrumentos de laboratorio. *Phmetro*. [En línea] 25 de octubre de 2014. [Citado el: 9 de septiembre de 2017.] <http://instrumentosdelaboratorio.org/phmetro>.

JIMÉNEZ ARIAS, ferney. El Colombiano. *Inventario Agropecuario de Colombia*. [En línea] 4 de Enero de 2016. <http://www.elcolombiano.com/negocios/inventario-agropecuario-de-colombia-NN3384078>.

JIMENEZ GARZON, Rossana Catherine. *Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por Hongos y Bacterias*. Bogota : Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, 2009.

KEYTRADE. *Ficha tecnica Del permanganato de potasio*. Mexico D.F : s.n.

LITMAN, Tamara Gonzales. 2017. FASHION NETWORK. *La participación del textil en el PIB colombiano registra una caída histórica*. [En línea] 18 de septiembre de 2017. [Citado el: 22 de enero de 2018.] <http://mx.fashionnetwork.com/news/La-participacion-del-textil-en-el-PIB-colombiano-registra-una-caida-historica,869234.html#.WmZ2d4FYHqA>.

LUZ QUINTERO, Santiago Cardona. *Tecnologías para la Decoloración de tintes Índigo e Índigo Carmín*. Medellín : Universidad Nacional , 2009, Vol. III.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MINAMBIENTE). Resolución 0631 del 2015: Fabricación de productos textil.

PETRUCCI, Ralph H.,. 2010. *General Chemistry: Principles and Modern Applications*. toronto : Pearson , 2010. 978-0-13-206452-1.

PL, Phillips; RD, Wolcott; J, Fletcher y GS, Schultz. *Biofilms made easy*. Florida, miami : 3, 2010, Vol. 1.

RIVAS GONZALES , mayra, *CHARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, MOLECULAR Y FISICOQUÍMICA DEL ALMIDON DEL PLATANO OXIDADO Y LINTNERIZADO*. MORELOS MEXICO : AGROCIENCIA, 2008.

Toro, inisterio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones Edificio Murillo. 2018. Datos Abiertos. [En línea] Cadena Productiva Plátano - Area, Producción Y Rendimiento, 2018. [Citado el: 17 de Enero de 2018.] <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Cadena-Productiva-Platano-Area-Produccion-y-Rendimiento/uw9z-pgwy/data>.

PALMA GOYES, Ricardo E.; MACÍAS URIBE, Juliana, Ignacio González. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA*.. Medellín, México D.F : Revista Colombiana de Materiales, 2013, Vol. IV.

Universidad Nacional de Educacion a Distancia. *Funcamentos Químicos de la ingeniería* . Madrid, España : s.n., 2012.

URDANETA, universidad rafael. 2017. uru.edu. [En línea] 29 de septiembre de 2017. <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/cap5.pdf>.

URIBE, Julian. 2017. Estadística, analisis y diseño de experimentos . *Análisis de varianza (ANOVA) para la variable respuesta*. [En línea] 8 de febrero de 2017. [Citado el: 23 de agosto de 2017.]

<http://doestatistics.blogspot.com.co/2017/02/analisis-de-varianza-anova-para-la.html>.

WANG, Huan-qin. 2010. *Synthesis of Microfiber MnO₂ with Secondary Nanostructure by Cotton Template*. Nanjing : s.n., 2010.

XICOTA, Esther. 2015. Expok comunicación de sustentabilidad y RSE. *impactos del proceso de teñido textil*. [En línea] 6 de noviembre de 2015. [Citado el: 23 de septiembre de 2017.] <https://www.expoknews.com/impactos-del-proceso-de-tenido-textil/>.

YOLANDA CORTÉS, Martín. *Estudio de la degradación electroquímica de la Desmetrina en medio acuoso*. Barcelona, España : 2013, 2013, Vol. I.

ANEXO A

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SÓLIDOS.

1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

1.1. LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos:

- Horno mufla Nabertherm
- Balanza analítica
- Bomba al vacío

Materiales y vidriería

- Matraz Kitasato
- Embudo para filtración al vacío
- Desecador
- Papel filtro
- Probeta de 100 ml
- Crisoles

Procedimiento

El proceso para el análisis de esta muestra se lleva a cabo basándose de la NTC 897, de la siguiente forma:

- a. Se preparó el filtro o disco de fibra de vidrio el cual siempre debe ser manejado con pinzas y no hacer contacto con la mano ya que esta gana peso con la humedad de estas mismas.
- b. Rotular las muestras para tener un control de las muestras a analizar.
- c. Se coloca el papel filtro entre el soporte y el embudo de filtración al vacío de tal forma que la parte rugosa del filtro esta boca arriba.
- d. Se lava el papel filtro 3 veces consecutivas con 20 ml de agua destilada.
- e. Se agita las muestras y calcula en una probeta 50 ml de la muestra.
- f. Cuidadosamente y con ayuda de unas pinzas se retira el filtro y se coloca dentro de un crisol.
- g. El crisol con el filtro se seca en el horno ya precalentado a una temperatura de 105 °C durante 1 hora.
- h. Se lleva el conjunto a un desecador durante 15 minutos hasta tener una temperatura constante.
- i. Se lee el papel filtro en una balanza analítica.
- j. Se repite el procedimiento (h.; j.) hasta tener un peso constante.

2. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

2.1. LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos

- Horno mufla Nabertherm

- Balanza analítica
- Bomba al vacío

Materiales y vidriería

- Matraz Kitasato
- Embudo para filtración al vacío
- Desecador
- Papel filtro
- Probeta de 100 ml
- Crisoles de 20 ml
- Pinzas metálicas

Procedimiento

Preparación de la cápsula de porcelana

- a. Rotular las cápsulas con un marcador permanente para identificar las muestras
- b. Lave las cápsulas con bastante agua destilada para retirarles todos los residuos antes puestos en las capsulas
- c. Seque la cápsula en el horno precalentado a 105 °C durante 2 horas, posteriormente se lleva la capsula al desecador y deje enfriar durante 2 horas.
- d. Pese y registre el peso de la cápsula después de ser sacado del desecador.
- e. Después de pesar introducir la cápsula al desecador para su posterior uso.

Procedimiento de la muestra

- a. Se prepara el filtro o disco de fibra de vidrio debe ser manejado con pinzas y no hacer contacto con la mano ya que gana la humedad de estas mismas.
- b. Rotular las muestras para tener un control de las muestras a analizar.
- c. Se coloca el papel filtro entre el soporte y el embudo de filtración al vacío de tal forma que la parte rugosa del filtro esta boca arriba.
- d. Se lava el papel filtro 3 veces consecutivas con 20 ml de agua destilada.
- e. Se agita las muestras y calcula en una probeta 50 ml de la muestra.
- f. Cuidadosamente y con ayuda de unas pinzas se retira el filtro y se coloca dentro de un crisol.
- g. Se retira del matraz kitasato la muestra ya filtrada y esta es dirigida a una probeta
- h. Se agrega 20 ml de la muestra a un crisol y este es secado a una temperatura de 103 °C
- i. Se espera el tiempo necesario para que la muestra quede seca y se depositan en el desecador durante 2 horas hasta tener una temperatura ambiente
- j. Se pesa y se registra el peso del crisol en la balanza analítica.

3. SÓLIDOS TOTALES SECADO A 103 – 105°C

Procedimiento análisis sólidos totales.

Preparación de la capsula de porcelana

- a. Rotular las cápsulas con un marcador permanente para identificar las muestras

- b. Lave las cápsulas con bastante agua destilada para retirarles todos los residuos antes puestos en las cápsulas
- c. Seque la cápsula en el horno precalentado a 105 °C durante 2 horas, posteriormente se lleva la cápsula al desecador y deje enfriar durante 2 horas.
- d. Pese y registre el peso de la cápsula después de ser sacado del desecador.
- e. Después de pesar introducir la cápsula al desecador para su posterior uso.

Procesamiento de la muestra

- a. Saque del desecador la cápsula correspondiente a la muestra que va a procesar
- b. Agite la muestra invirtiendo el recipiente varias veces y tome rápidamente en una alícuota de 100 ml y diríjalo al crisol de 20 ml.
- c. Calentar la muestra a una temperatura de 103 – 105 °C hasta que el agua de la muestra se seque totalmente
- d. Lleve la cápsula a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 2 horas hasta tener una temperatura ambiente.
- e. Lleve la cápsula a la balanza analítica para registrar el peso de la muestra.

Equipos

- Horno mufla Naberthem
- Balanza analítica

Materiales y vidriería

- Vasos precipitados 50 ml
- Cápsulas de porcelana o crisoles de 20 ml
- Desecador
- Pinzas metálicas
- Micro espátula metálica
- Probeta de vidrio 100 ml
- Frasco lavador

4. Sólidos Totales Sedimentados

Procedimiento sólido sedimentales

- a. Se lavan y rotulan todos los tubos de centrifuga para poder identificarlos con las diferentes muestras
- b. Se agita cada muestra y se agregan 40 ml de la muestra rápidamente en cada tubo de la centrifuga
- c. Antes de depositar los distintos tubos en la centrifuga se colocan de lado opuesto a el mismo volumen para que hagan contra peso los tubos de la centrifuga en cada estremo y no se desajuste el rotor de la centrifuga. x
- d. Se calculan los parámetros de la centrifuga el cual son 400 RPM durante 20 minutos y a una temperatura de 15 °C para que los sólidos que precipiten se mantenga fijos.
- e. Ya terminado el proceso de la centrifuga se retiran rápidamente el líquido de cada tubo para que en estos solo queden el precipitado.

- f. Se calcula y registra el peso de los tubos con el precipitado en la balanza analítica

Equipos

- Centrífuga
- Balanza analítica

Materiales y vidriería

- Tubos de centrifuga de 50 ml
- Probeta de 100 ml

ANEXO B

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE DQO

Reactivos

Reactivos para la preparación del digestor

- Agua ultra pura obtenida por medio del desionizador de agua.
- Solución digestora de dicromato de potasio: 250 ml de agua destilada, 5.108 g de dicromato de potasio ($Kr_2Cr_2O_7$), 83.5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y 16.65 g de sulfato de mercurio (HO_2).
- Reactivo de ácido sulfúrico: en 500 ml de agua destilada agregar 5 g de sulfato de plata ($AgSO_4$) y 0.917 g de ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- Solución de biftalato de potasio (KHP): triture ligeramente y ponga a secar biftalato de potasio ($HOCC_6H_4COOK$) a 110 °C hasta peso constante disolver 0.425 g de biftalato de potasio en 100 ml de agua destilada.

Reactivos para la calibración de espectrofotómetro

- Solución estándar de biftalato de potasio: secar a 120 °C hasta un peso constante de biftalato de potasio ($HOCC_6H_4COOK$), disolver 8.5034 g en agua desionizada y diluir a 1000 ml. Esta solución tiene un contenido de 1000 mg/l de DQO

Equipos, materiales y vidriería

Equipos

- Termo reactor: Es un equipo diseñado para digerir las muestras de agua para la prueba de demanda química de oxígeno (DQO), también es utilizado para pruebas como nitrógeno total y fósforo total. Ya que este instrumento garantiza una digestión completa de la muestra, pues mantiene la alta temperatura de reacción (150°C) durante la totalidad del lapso definido.

Foto 14. Equipo Digestor



- Balanza analítica

- **Espectrofotómetro:** el espectrofotómetro es un instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en dilución de la longitud de onda. La relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiación. También es utilizado en los laboratorios de química para la cuantificación de sustancias y microorganismos. Este equipo está compuesto por:
 - a. **Fuente de luz:** la fuente de luz que ilumina la muestra debe cumplir con las siguientes condiciones: estabilidad, direccionalidad, distribución de energía espectral continua. Esta luz son lámparas de wolframio, lámparas de xenón y lámparas de deuterio.
 - b. **Monocromador:** es aquella encargada de aislar las radiaciones de longitud de onda deseada que inciden o se reflejan desde el conjunto, se usa para obtener luz monocromática. El monocromador está compuesto por las rendijas de entrada y salida, colimadores y el elemento de dispersión.
 - c. **Detector:** es quien detecta una radiación a su vez lo deja en evidencia. Para posterior estudio; existen dos tipos los que responden a fotones y los que corresponden al calor.
 - d. **Registrador:** convierte el fenómeno físico, en números proporcionales al e. analítico en cuestión.

Foto 15. Espectrofotómetro



Materiales y vidriería

- Balones aforados de 50 ml
- Erlenmeyer de 150 ml
- Pipetas aforadas de 5 y 10 ml
- Probeta de 50 ml
- Pipeteado
- Vidrio reloj
- Espátula metálica
- Frascos winkler
- Tubos de digestión de vidrio con tapa rosca que soporten temperaturas de 200 °C

ANEXO C

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO

Reactivos

Preparación de los reactivos

- Solución tampón de fosfatos donde se empleó 1.7 gramos de KH_2PO_4 , 4.3 gramos de K_2HPO_4 , 6.7 gramos de $Na_2HPO_4 * 7 H_2O$ y 1.7 gramos de NH_4Cl , todo en aproximadamente 500 mL de agua ultrapura, se debe tener en cuenta que el pH debe estar entre 7.1 y 7.3.
- Solución de sulfato de magnesio, se diluye 5.6 gramos de $MgSO_2 * 7H_2O$, en aproximadamente 250 mL de agua ultrapura.
- Solución de cloruro de calcio, se agrega 6.9 gramos de $CaCl_2$ que igualmente se diluye en 250 mL.
- Solución de cloruro de hierro (III), disolver 0.25 gramos de $FeCl_2 * 6H_2O$ que se diluye en 1 L de agua ultrapura, si presenta crecimiento bilógico se descarta ese reactivo.

Reactivos para determinar el Oxígeno Disuelto en la muestra

- Solución de sulfato manganoso, disolvemos 24 gramos de $MnSO_4 * 4H_2O$ que se diluye en 50 mL de agua ultrapura.
- Reactivo álcali-yoduro-azida, se disuelve 25 gramos de NaOH y 6.8 gramos de Na en agua ultrapura, se agrega 2.5 gramos NaN_3 en 10 mL, para después mezclar completamente.
- Ácido sulfúrico, agregamos 1 ml H_2SO_4 por cada 3 mL de reactivo álcali.
- Solución de almidón, se disuelve 2 gramos de almidón y 0.2 gramos de ácido salicílico en 100 ml de agua destilada caliente.

Equipos, materiales y vidriería

Equipos

- pHmetro, se compara el valor necesario para cada una de las soluciones, los rangos establecidos entre 7.1 y 8.2.

Materiales y vidriería

- Botellas winkler
- Probeta 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 25 ml
- Gotero de 1 ml

Titulación

- a) Se agregan 20 gotas de sulfato manganoso y 20 gotas de reactivo álcali
- b) Se precipita hasta mitad se agrega ácido sulfúrico 1 ml

- c) Se mide 100 ml y se traspasan a un Erlenmeyer de 250 ml
- d) Se titula con tiosulfato de sodio (cambio de amarillo a azul termina la titulación)
Calcular el volumen gastado.

ANEXO D

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE FENOLES

Reactivos

Reactivos para soluciones patrones

- Preparación Fenol con una concentración de 1000 mg/L
- La concentración de 1000 mg/L tomamos 5 ml y es transferido a 500 ml para un valor final de 10 mg/L
- De este último se toma 10 ml de la solución y es transferido a 100 ml de solución para una concentración de 10 mg/L

Reactivos para la destilación

- Agua ultrapura
- Acido fosfóricos 1:9 H_3PO_4 , 10 mL de ácido fosfórico del 85 % a 100 mL con agua ultrapura.
- Hidróxido de amonio 0.5 N, Se diluye 35 ml de NH_4OH en 1L dependiendo las cantidades a usar.
- Solución Tapón de fosfato, Se disuelve 5.3 gramos de K_2HPO_4 , y 3.6 gramos de KH_2PO_4 y se diluye en 50 mL con un pH 6,8.
- Solución de 4-aminoantipirina, se disuelve 2 gramos de 4-aminoantipirina en agua y se diluye a 100 ml.
- Solución de Ferrocianuro de potasio, se disuelve 4 gramos de $K_3Fe(CN)_6$ en 50 mL de agua ultrapura.
- Cloroformo , $CHCl_3$
- Solución NaOH 6 M, Disolver 6 gramos de hidróxido de sodio en 25 ml de agua ultrapura.
- Sulfato de sodio anhidro, Na_2SO_4 .

Equipos, materiales y vidriería

Equipo de Destilación:

- *Balón aforado de 1 L*
- *Tubo serpentín*
- *Erlenmeyer 500 ml*
- *Soporte universal*
- *Estufa*
- *Filtro*
- *Embudo de decantación*
- *Baker (100 ml)*

Procedimiento

Procedimiento de preparación de estándares

- a) Las soluciones patrones de cada uno de los fenoles se deben tomar como muestra la tabla de la guía de laboratorio del IDEAM TP0456.⁸¹

Tabla 52. Soluciones patrón

Estándar de calibración y/o control (mg Fenol/L)	Alícuota estándar de 10,0 mg Fenol/L (ml)	Alícuota estándar de 1,0 mg Fenol/L (ml)	Volumen de estándar preparado (ml)
0,01 Curva	-	2.0	200
0,02 Control	-	4.0	200
0,05 Curva	-	10.0	200
0,2 Curva	4.0	-	200
0,3 Control	15.0	-	500
0,4 Control	10.0	-	250

- b) Para cada una de las soluciones preparadas se guardan en frascos ámbar para su posterior uso.
- c) Con los estándares ya preparados se procede a medir su absorbancia en el espectrofotómetro.
- d) Se registra los datos para graficar y determinar la curva con la cual se aproximará a un valor de fenoles presentes en la mezcla.

⁸¹Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (28, Diciembre, 2007) , Fenoles en agua por destilación , extracción con cloroformo y determinación espectrofotométría , Versión 5, P 1-11

ANEXO E
GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA
CONCENTRACIÓN DE COLORANTE

1. Lista de equipos, materiales y reactivos

1.1. Lista de equipos y materiales

- Espectrofotómetro
- Celda de espectrofotómetro
- pHmetro
- vaso precipitado de 1000 ml
- vaso precipitado de 150 ml
- balanza analítica
- pipeteador
- pipeta de 20 ml
- probeta de 250 ml
- mufla

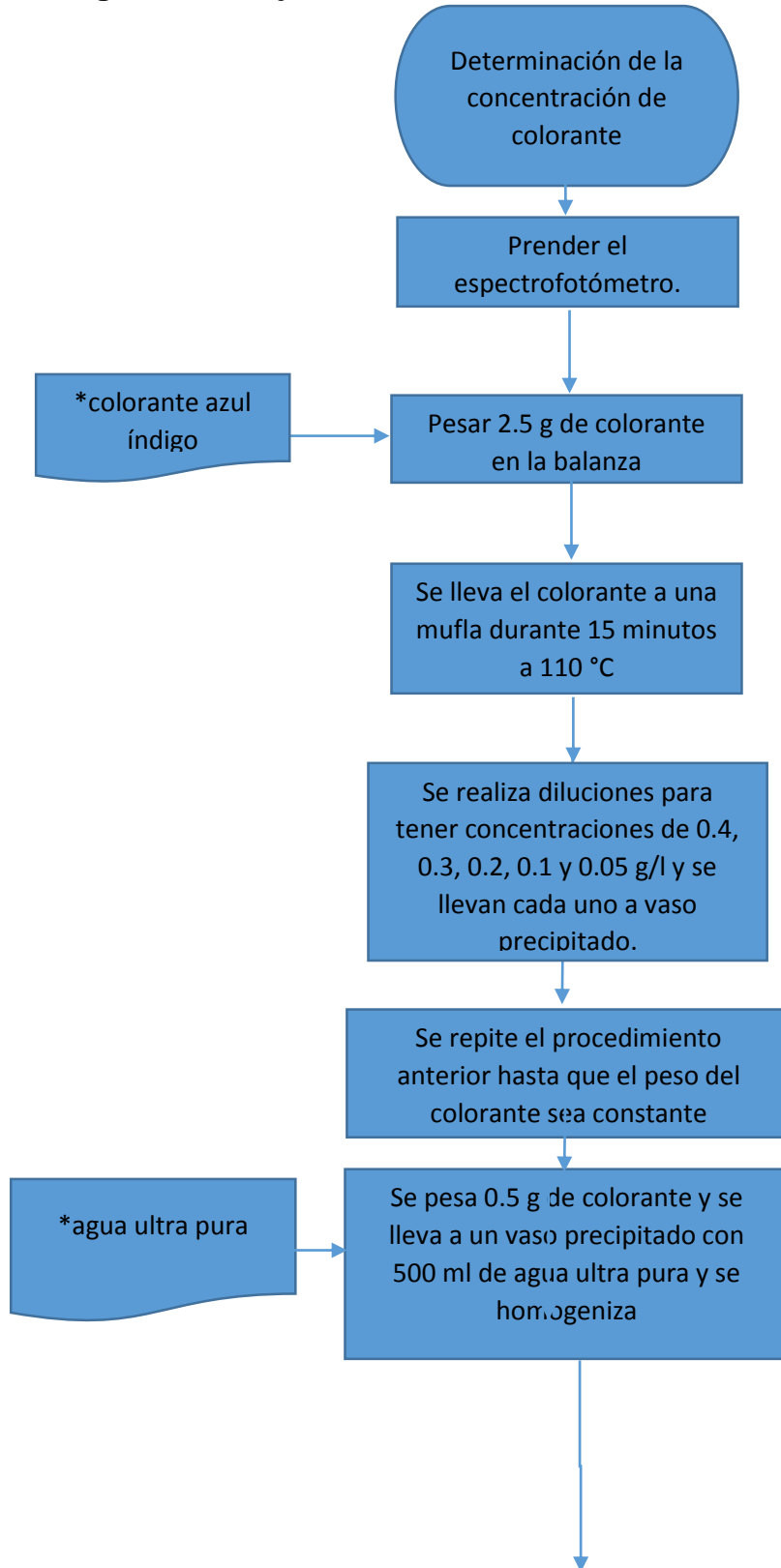
1.2. reactivos

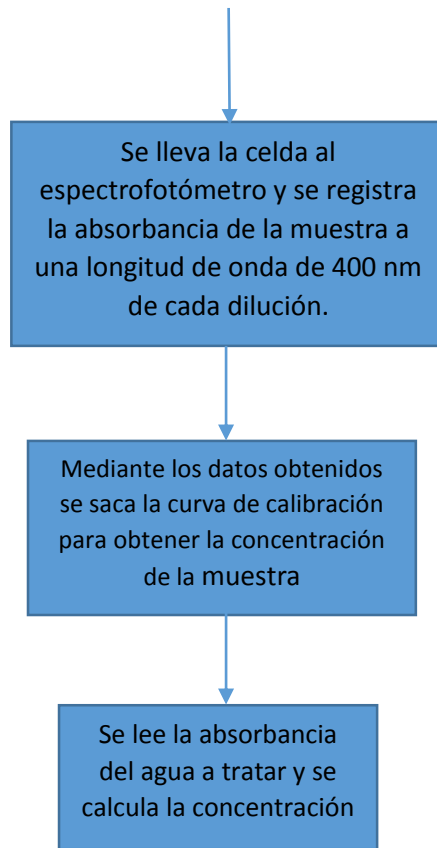
- colorante añil o azul índigo
- agua ultra pura

2. procedimiento

- se prende el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm
- se pesa 2.5 g de colorante azul índigo en la balanza analítica
- se lleva el colorante a la mufla a 110 °C durante 15 minutos. este con el fin de que el colorante pierda toda su humedad ya que estas soluciones adsorben humedad del medio ambiente.
- Se saca de la mufla el colorante y se lleva al desecador durante unos 5 minutos y se pesa en la balanza analítica. Ya pesado se devuelve el colorante a la mufla y se repite el procedimiento hasta que el peso del colorante se vuelva constante.
- Ya constante el peso del colorante se pesa en la balanza en la balanza 0.5 g de colorante y se lleva a un vaso precipitado de 1000 ml con 500 ml de agua ultra pura.
- Ya homogenizado la solución se saca diluciones para obtener concentraciones de 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 y 0.05 (g/l).
- Hechas las respectivas disoluciones se leyeron en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm.
- Se registra y se saca la curva de calibración para determinar la concentración de colorante en la solución a tratar.
- Ya obtenida la curva de calibración se lee la absorbancia del agua a tratar y se determina la concentración de colorante que tiene el agua.

3. Diagrama de flujo





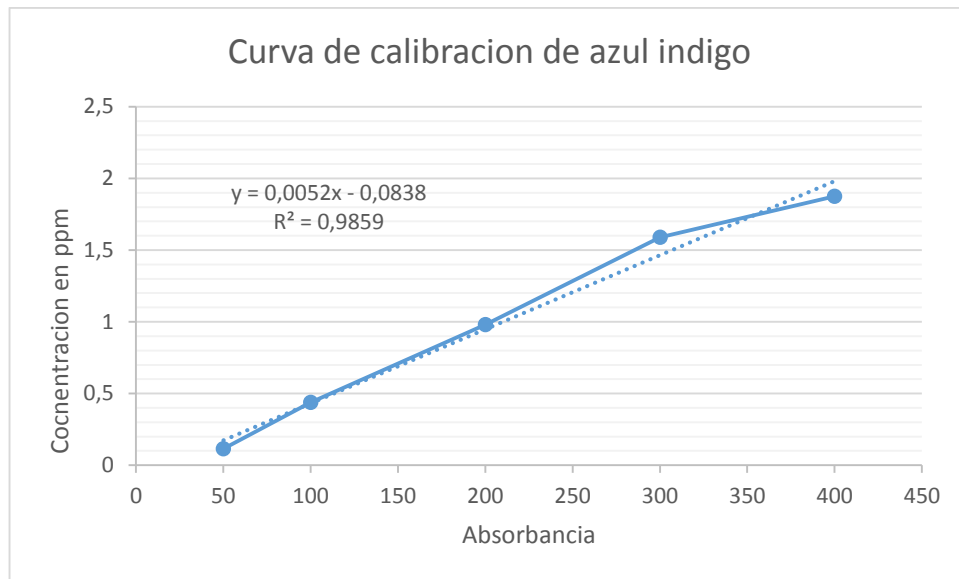
4. Resultados y conclusiones de resultados

5.

Mediante la metodología expuesta con anterioridad se calculó la curva de calibración dado los siguientes resultados.

datos para curva de calibración		
concentración (g/L)	ppm	absorbancia
0,4	400	1,8756
0,3	300	1,59
0,2	200	0,98
0,1	100	0,438
0,05	50	0,115

La cual se puede representar en la siguiente grafica con su respectiva regresión lineal



La ecuación de la regresión lineal nos permite determinar la concentración de la muestra a tratar la cual se puede expresar en la siguiente tabla.

concentración de las muestras tratadas					
datos muestra A			datos muestra B		
ABS	ppm	g/l	ABS	ppm	g/l
0,84	177,6538462	0,17765	0,97	202,653846	0,17765
0,842	178,0384615	0,178038462	0,99	206,5	0,2065

ANEXO F

GUÍA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

1. Lista de equipos, materiales y reactivos

1.1. Lista de equipos y materiales

- Espectrofotómetro
- Celdas de espectrofotómetro
- pHmetro
- Plancha agitadora
- Mezclador magnético
- Vaso precipitado de 1000 ml
- Balanza analítica
- Bomba de aire
- Gotero
- Jeringa
- Filtro para jeringa

1.2. Reactivos

- Ácido acético CH_3COOH
- Hidróxido de sodio NaOH
- Agua ultra pura

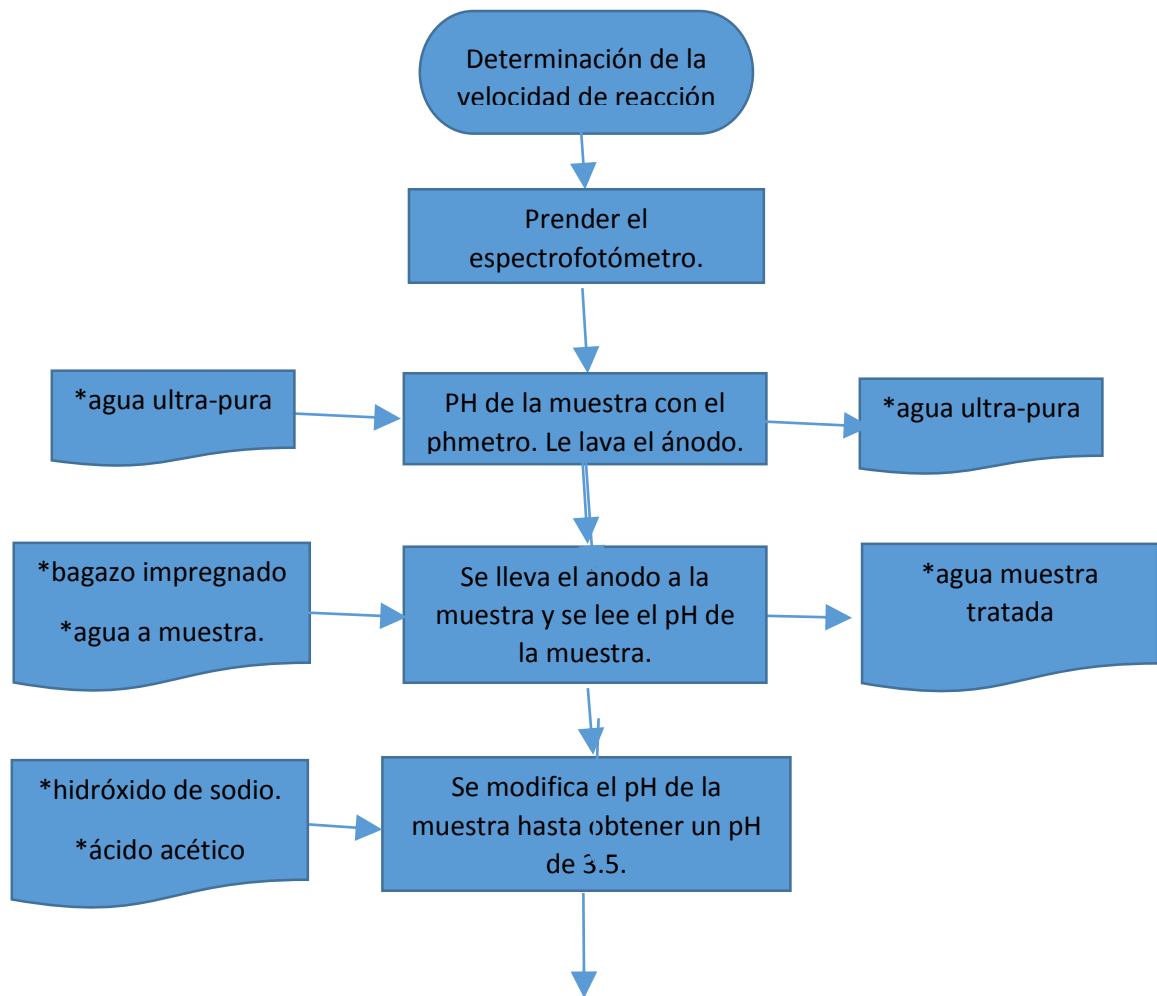
2. Procedimiento

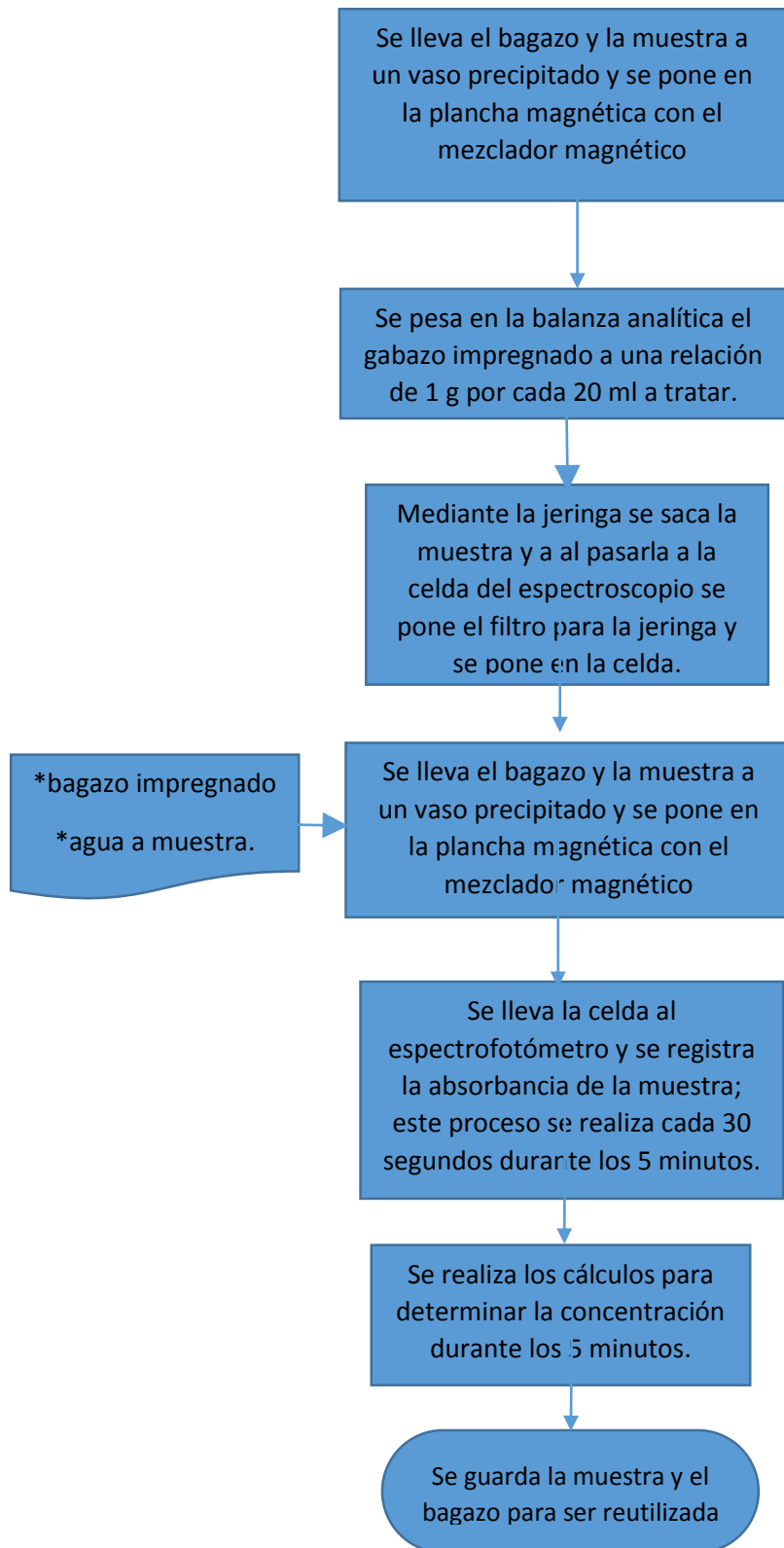
- Se procede prendiendo el espectrofotómetro para que se caliente la bombilla de este. Este proceso se hace para que al leer el resultado del agua no tenga alteraciones.
- Se determina el pH de la muestra por medio del phmetro el cual para ser utilizado hay que separar el ánodo de la solución buffer, se lava el ánodo con agua ultra pura y se registra el pH de la muestra, el ánodo se vuelve a lavar y se pone dentro de la solución buffer
- Se ajusta el pH de la muestra el cual mediante el ácido acético se disminuye y con el hidróxido de sodio se aumenta, en cada alteración de pH de la muestra hay que registrar el pH por medio del phmetro como se indicó en el proceso anterior. Este proceso se realizará hasta que el agua a analizar tenga un pH de 3,5
- Ya teniendo el pH de la muestra en 3,5 se procede a pesar en la balanza analítica la cantidad de bagazo impregnado con las nano partículas para tratar el agua, este cálculo se realizará con la relación la cual indica que por cada gramo de bagazo impregnado se tratara 20 ml de agua muestra.
- El agua y el bagazo impregnado se lleva a un vaso precipitado de 1000 ml el cual es dirigido a la plancha magnética, a este se le agrega un mezclado

magnético. La condición de operación de la plancha magnética es de 600 rpm durante 5 minutos y la temperatura no varía.

- Ya en funcionamiento la plancha magnética se saca muestras por medio de la jeringa la cual después se pone el filtro de la jeringa y se pasan a la celda del espectrofotómetro y se lleva al espectrofotómetro ya encendido con una longitud de onda de 560 nm y un blanco para calibrar de agua destilada. Este proceso se realizará cada 30 segundos durante los 5 minutos.
- Se lee la absorbancia que arroja el espectrofotómetro y se registra en la hoja de análisis
- Este proceso también se llevará a cabo mediante la implementación de una bomba de aire. Durante el proceso en el que se trata el agua en la plancha magnética se adaptara una bomba de aire.
- se realiza el mismo procedimiento, pero en el montaje de la plancha de agitación se le añadirá una bomba de aire para determinar la eficiencia del oxígeno en el proceso.

3. Diagrama de flujo



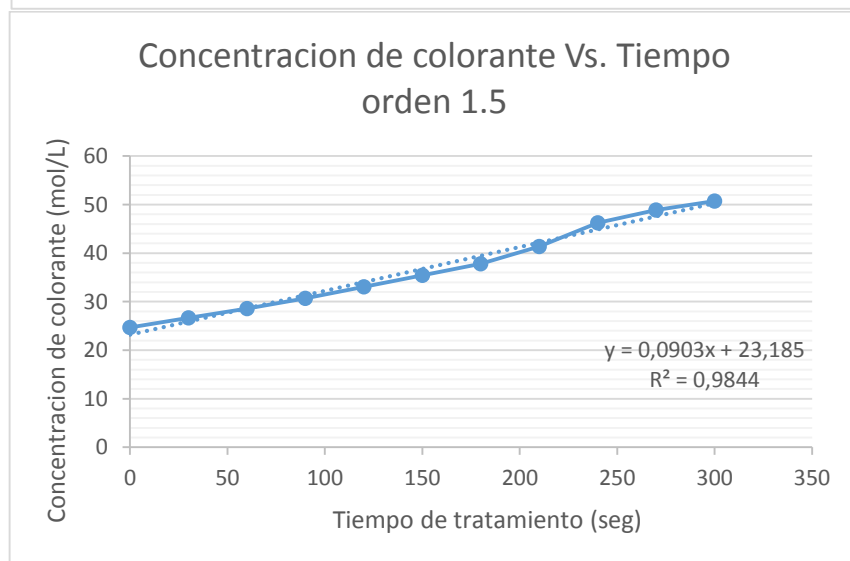
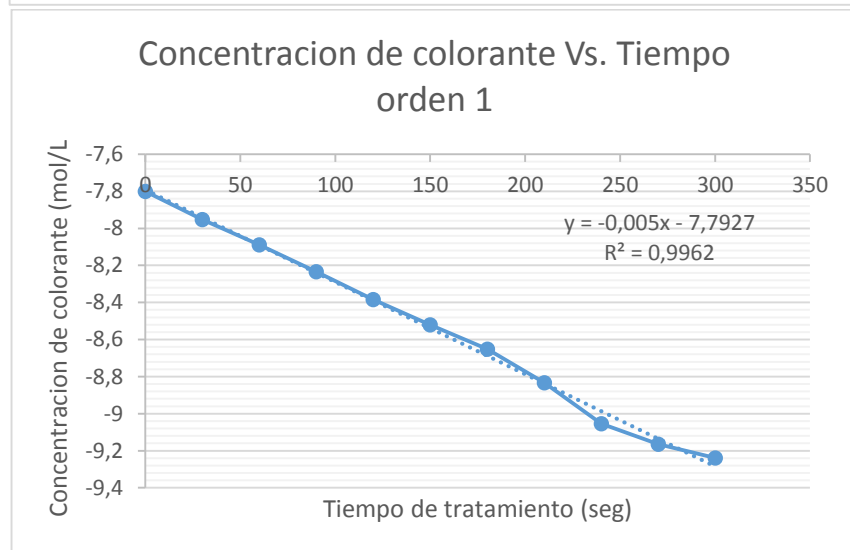
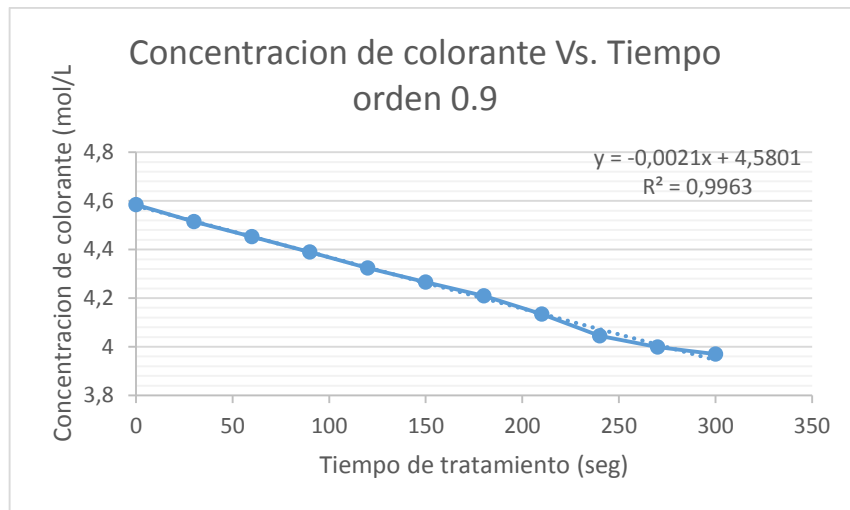


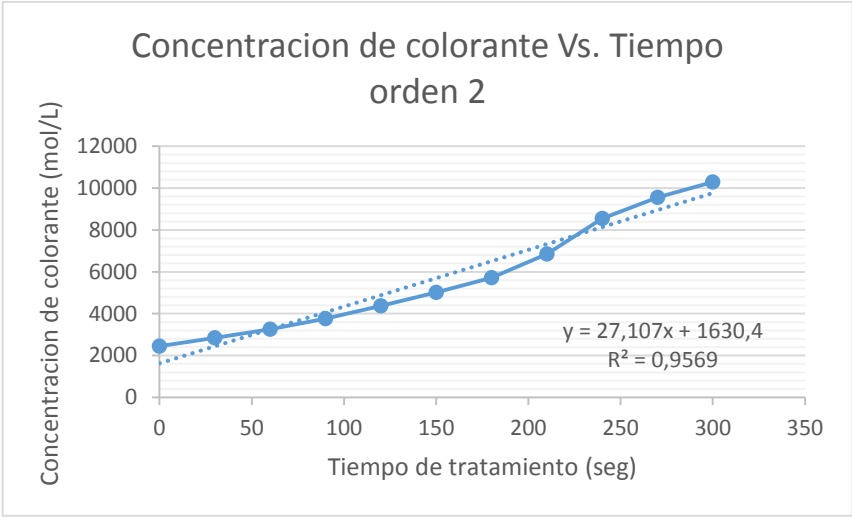
4. Resultados y conclusiones de resultados


Mediante la experimentación descrita anterior mente se obtuvo los datos para determinar la velocidad de reacción en diferentes partes de la reacción durante los 5 minutos

Datos obtenidos por la experimentación						
t (seg)	abs	C (ppm)	C(g/l)	C (mol/l)	v	k
0	0,91	191,115385	0,19111538	0,0004098	0,8974359	0,00469578
30	0,77	164,192308	0,16419231	0,00035207	0,70512821	0,00429453
60	0,66	143,038462	0,14303846	0,00030671	0,64102564	0,00448149
90	0,56	123,807692	0,12380769	0,00026548	0,57692308	0,00465983
120	0,47	106,5	0,1065	0,00022836	0,44871795	0,00421331
150	0,4	93,0384615	0,09303846	0,0001995	0,38461538	0,00413394
180	0,34	81,5	0,0815	0,00017476	0,44871795	0,00550574
210	0,27	68,0384615	0,06803846	0,00014589	0,44871795	0,00659506
240	0,2	54,5769231	0,05457692	0,00011703	0,19230769	0,00352361
270	0,17	48,8076923	0,04880769	0,00010466	0,11538462	0,00236407
300	0,152	45,3461538	0,04534615	9,7234E-05	1,51153846	0,03333333

Obteniendo los datos anteriores podemos determinar el orden de la reacción para así poder determinar la ecuación de velocidad de reacción.





 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros Juan Camilo Acosta Torres y Johnnie Briley Brisneda Rodríguez en calidad de titulares de la obra Propuesta para la reducción de colorante azul índigo en aguas residuales de industria textil mediante la oxido reducción para la empresa comercia DACETEX Ltda., elaborada en el año 2017 , autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial - compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 5 días del mes de Febrero del año 2018.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Juan Camilo	Acosta Torres
Documento de identificación No	Firma
1014262787	JUAN CAMILO ACOSTA. T.

Autor 2

Nombres	Apellidos
Johnnie Briley	Brisneda Rodríguez
Documento de identificación No	Firma
1013659942	