



Facultad de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias

Mejoramiento en la calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento de TEJIDOS PINTEX S.A. para su reutilización en los procesos industriales.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos para optar por el título de

Ingeniero Ambiental

Profesor Guía

Ing. Fernando Armas

Autor

Humberto David Re Carrera

Año

2010

### DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación."

A handwritten signature in black ink, enclosed within a faint circular outline. The signature is stylized and appears to read 'F. Armas'.

Fernando Armas

Ingeniero Agrónomo

CI. 1711257632

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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



Humberto David Re Carrera

CI. 1721201489

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Fernando Armas por su colaboración y acertada dirección de la presente tesis.

Al Ing. Alex Torres por su guía y apoyo para la construcción del filtro.

Al personal del laboratorio.

Al personal y autoridades de la fábrica Tejidos Pintex S.A.

A todas las personas que colaboraron en la realización del presente estudio.

DEDICATORIA

A mis padres, novia y sobre  
todo a Dios.

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se comparó el funcionamiento de dos tratamientos terciarios de gran efectividad, con el objetivo de mejorar en la calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria textil TEJIDOS PINTEX S.A., para su reutilización en los procesos industriales mediante una metodología descriptiva experimental.

Se utilizaron dos tratamientos terciarios de filtración, siendo el primero un filtrado de arenas y gravas más conocido como filtro multimedia y el segundo un filtrado de carbón activado. Utilizando una columna de acero al carbono de 0,61 m de diámetro y 1,52 m de altura, logrando tratar la sexta parte del caudal descargado por la planta de tratamiento al servicio público, con un valor de entre 0,7 a 0,85 l/s (litros por segundo) siendo el caudal máximo a tratar para obtener una calidad de agua adecuada para su reutilización en los procesos industriales.

Los tratamientos propuestos arrojaron resultados adecuados con lo esperado inicialmente, teniendo para el filtro multimedia porcentajes de eficiencia en remoción de carga contaminante para los parámetros de mayor interés e importancia como: Sólidos suspendidos con una clara eficiencia ya que la remoción de estos es del 33,33 % al igual que en detergentes, donde se logra una remoción del 58,33 % del tensoactivo. Mientras parámetros de importancia como DQO, DBO<sub>5</sub> y Color no tienen un porcentaje de eficiencia significativa.

El tratamiento realizado con el filtro de carbón activado si cumplió con todos los parámetros y disminuyendo los porcentajes de la DQO que tiene un porcentaje de eficiencia del 37,21 %, la remoción de detergentes está en un 75%, la DBO<sub>5</sub> tiene una eficiencia del 39,29 %. En metales pesados como el cadmio se tiene una remoción del 85,38 %, en el cromo hexavalente una eficiencia del 80 % y en el Zinc con un 16,66 %. El color ha sido removido en un 10,25 %. Esto gracias a la adsorción que permite una remoción significativa de detergentes y cloro residual logrando la transparencia del agua, con lo que

se obtuvo la calidad óptima para poder reutilizar sin que exista alteración alguna dentro de los procesos productivos de la industria. Quedando en algunos parámetros mejor que la calidad del agua de pozo, que para este proyecto de tesis es la referencia ya que con esta se realizan las operaciones industriales.

El carbón activado resulta ser el tratamiento más efectivo, poco costoso y recomendable para todo tipo de agua residual que haya tenido un tratamiento previo y se encuentre en condiciones altas de calidad para que el filtrado sea total y el material filtrante tenga un tiempo largo de vida útil. Así podemos obtener un agua casi potable o lista para su reutilización. Para el caso de este proyecto de tesis solamente se requerirá este tratamiento para obtener la calidad necesaria para su reutilización.

## ABSTRACT

In the featured paper we compared two of the most effective third phase treatments, that work with the sole purpose of improving residual waters from the textile company TEJIDOS PINTEX S.A and water to be reused in the same industrial needs. We used experimental and descriptive methodologies to do so.

Thanks to the experimental methodology we accomplish a comparison between two each third phase treatments: The first being an active carbon filter, the second consisting of a sand and stone pellets most commonly known as multimedia filter. We accomplish this by building a steel column to the carbon of 0,61 m in diameter and 1,52 m height, which reached the sixth part of the reservoir, unloading and distributing to the public, being an in-between value of 0,7 and 0,84 l/s (liters per second) to obtain excellent water quality.

The results show the desired outcome. Multimedia filter has higher parameters of importance in percents of efficiency like, 33,33 % suspended solids, detergents with 58,33 % which they fall into the norm, even though cadmio element didn't follow its rule or color; It didn't allow transparency for water re-use.

Through a descriptive method, of teaching, the use of charts, figures, schematics and graphics we will represent the efficiency and differences of each third phase treatments, we hope to obtain to obtain the desired results to re utilize water in the productive processes.

Being the active carbon filter the one to best fit the parameters lowering percents of efficiency in DQO with 37,21 % including color with 10,25 %,  $\text{DBO}_5$  with 39,29%, cadmium 85,38 %, Cr 6+ with 80 %, Zinc with 16,66 %, absorption allowed the removal of detergents in 75 % and bleach reaching transparent water, and using it for industrial needs. Making this water be the best option and the purest even when compared to well water used for this Project.

Active Carbon ends up being more effective, a bit expensive but recommended for any kind of residual waters that has had some kind of previous treatment. To prolong the useful life of the filters material it is recommended that prior filtration is needed. This how we can obtain potable water or water ready for its intended use. For this paper it is necessary to use this treatment to obtain useful results.

## INDICE

1. Capítulo I .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos del Proyecto .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
1.5. Alcance .....	4
2. Capítulo II MARCO TEORICO	
CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA TEXTIL .....	5
2.1. Industria textil en el Ecuador .....	5
2.2 Principales contaminantes de los efluentes en una textilera .....	7
2.3 Procesos que originan efluentes en una textilera. ....	9
2.3.1 Procesos Mecánicos .....	9
2.3.2 Operaciones de acabado .....	10
2.3.2.1 Principales contaminantes de los efluentes y cantidades utilizadas en cada proceso productivo de la industria textil Tejidos Pintex S.A. ....	12
2.3.3 Algodón .....	16
2.3.4 Fibras artificiales .....	17
2.4 Principales parámetros indicadores de la contaminación. ....	18
2.4.1 Oxígeno Disuelto .....	18
2.4.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	19

2.4.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	19
2.4.4	Turbidez.....	20
2.4.5	Color.....	20
2.4.6	Temperatura.....	21
2.4.7	Potencial Hidrógeno.....	21
2.4.8	Sólidos .....	22
2.5	<b>MARCO LEGAL, Normativas y Legislación Nacional sobre vertidos industriales .....</b>	<b>22</b>
2.5.1	Instituciones y organismos reguladores. ....	28
2.6	<b>Tratamientos Terciarios .....</b>	<b>28</b>
2.6.1	Adsorción.....	29
2.6.2	Carbón activado .....	30
2.6.2.1	Principios del proceso. ....	35
2.6.3	Filtros multimedia .....	36
2.7	Reutilización de Aguas Residuales. ....	38
3.	<b>Capítulo III Características del área de Estudio</b>	
	<b>LINEA BASE Y DESCRIPCION DE LA SITUACIÓN ACTUAL SOBRE EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TEJIDOS PINTEX S.A.....</b>	<b>42</b>
3.1	Tratamiento previo o pretratamiento. ....	42
3.2	Tratamiento Primario .....	43
3.3	Tratamiento Secundario .....	45
3.4	Fangos Activados .....	47
3.5	Coagulación .....	48
3.6	Floculación.....	49

3.7 Sedimentación.....	50
3.8 Resultados de las caracterizaciones de la Planta o Estación de tratamiento de aguas residuales de Tejidos Pintex S.A. ....	52
<b>4. Capítulo IV FASE EXPERIMENTAL</b>	
<b>METODOLOGIAS DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE PARA SU REUTILIZACION .....</b>	<b>55</b>
4.1 Pruebas con tratamientos Terciarios. ....	55
4.2 Diseño de la columna .....	55
4.2.1 Columna de carbón activado.....	58
4.2.2 Columna de filtro multimedia .....	60
4.3 Diferencias entre las columnas de carbón activado y filtro multimedia .....	62
4.4 Instalación del filtro.....	62
4.5 Operación del filtro .....	63
4.5.1 Servicio .....	65
4.5.2 Retrolavado .....	65
4.5.3 Frecuencia de Retrolavado.....	66
4.5.4 Duración del Retrolavado.....	66
4.5.5 Cambio del medio Filtrante.....	67
<b>5. Capitulo V Análisis de Resultados.....</b>	<b>71</b>
5.1 Caracterización del agua de pozo.....	71
5.2 Caracterización del agua tratada por la Estación de tratamiento biológica y físico-química.....	72
5.3 Caracterización del agua tratada por el filtro multimedia de arena. ....	73

5.4 Caracterización del agua tratada por el filtro de carbón activo.....	75
5.5 Análisis de resultados.....	76
5.5.1 Cuadro comparativo entre las caracterizaciones de agua de pozo con el agua tratada por el filtro multimedia.....	76
5.5.2 Cuadro comparativo entre las caracterizaciones del agua de pozo con el agua tratada por el filtro de carbón activo. ....	79
5.5.3 Cuadro comparativo del agua tratada por el filtro multimedia, filtro de carbón activo y el agua residual tratada por la planta de lodos activados ya existente en Tejidos Pintex S.A. ....	82
5.5.3.1 Cuadro del porcentaje de Eficiencia del tratamiento terciario de Filtro Multimedia. ....	85
5.5.3.2 Cuadro del Porcentaje de Eficiencia del tratamiento terciario con Carbón activado. ....	86
6. Capítulo VI Análisis costo beneficio del proyecto.....	89
6.1 Costos de implementación del tratamiento terciario de filtro multimedia (F.M) y carbón activado (C.A.). ....	89
6.2 Costos de operación. ....	89
6.3 Relación costo beneficio ....	90
7. Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones.....	92
7.1 Conclusiones.....	92
7.2 Recomendaciones ....	94
8. Bibliografía.....	96
9. ANEXOS.....	99

## INDICE ANEXOS

9.1 Anexo 1.....	99
9.2 Anexo 2.....	100
9.3 Anexo 3.....	101
9.4 Anexo 4.....	101
9.5 Anexo 5.....	102
9.6 Anexo 6.....	102
9.7 Anexo 7.....	103
9.8 Anexo 8.....	103
9.9 Anexo 9.....	104
9.10. Anexo 10 .....	104
9.11. Anexo 11 .....	105
9.12. Anexo 12 .....	105

## Capítulo I

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Las exigencias en cuanto a la eliminación de desechos industriales se tornan cada vez más estrictas en todo el planeta debido a los serios problemas originados por la contaminación de residuos líquidos, sólidos, gaseosos y radioactivos hacia el medio ambiente.

Toda industria genera contaminación según su magnitud de producción y directamente la cantidad generada de residuos. En el caso particular de la industria textil *Tejidos Pintex S.A.* es catalogada como una empresa de alto riesgo y de mediano impacto por el Ministerio de Trabajo. Esto se debe a que tiene más de cien trabajadores y está ubicada en una zona residencial y en suelo de uso múltiple según el IRM (informe de regulación metropolitana) del Distrito Metropolitano de Quito.

El proceso productivo generador de la mayor contaminación es el de la sección de acabados, donde la cantidad de residuos líquidos es voluminosa y su alto contenido orgánico es contaminante para cualquier cuerpo receptor.

En el Distrito Metropolitano de Quito rige la ordenanza municipal 213 y también está la Norma Técnica Ambiental en la Resolución 003-DMA-2008, que rigen los parámetros permitidos para descargar todo tipo de efluente. Desde al año 2007 en esta industria está en operación la planta de tratamiento de aguas residuales constituida por un sistema biológico de tratamiento y uno físico-químico, que conforme a transcurrido el tiempo se ha ido estabilizando hasta llegar a cumplir con todas la exigencias de las normativas y ordenanzas con parámetros físicos y químicos muy por debajo del máximo permisible.

La presente tesis tiene por objetivo mejorar la calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento de *TEJIDOS PINTEX S.A.* para

su reutilización en los procesos industriales mediante un sistema de tratamiento terciario para la optimización de recursos y la reducción de costo por el alto consumo de agua.

## 1.2. ANTECEDENTES

TEJIDOS PINTEX S.A. se inició en Agosto de 1959 como una empresa de procesos completos que desarrolla una integración vertical desde la hilatura hasta la comercialización de productos confeccionados con un aproximado de 36000 metros diarios de tela estampada.

Desde el año 2007, tiene en funcionamiento la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para los efluentes de sus instalaciones en el sector Norte de la ciudad de Quito, donde se generan y convergen varios caudales de agua que contienen una alta carga contaminante que requiere ser tratada, de tal forma que los efluentes combinados que se descarguen cumplan con los parámetros de calidad de agua tratada impuestas por la ordenanza municipal 213 de la ciudad de Quito y específicamente por la Resolución 003-DMA-2008.

La materia orgánica presente en el efluente puede ser fácilmente biodegradada a través de un tratamiento biológico aeróbico. Luego de los estudios pertinentes se optó por instalar una planta de tratamiento mixta que consiste en una planta de tratamiento biológico aeróbico basado en el proceso de lodos activados, y un proceso de clarificación físico-químico. La calidad del efluente tratado en la planta de tratamiento biológica excede los límites máximos permisibles para descargar a un cuerpo receptor que en este caso es el alcantarillado, obteniendo una remoción mayor al 90 % de los principales parámetros contaminantes.

A pesar de que la calidad del efluente está dentro de la normativa se quiere dar un reúso total o parcial del mismo para lograr un beneficio económico y ambiental, por lo cual es necesario un tratamiento final que

permita dejar en condiciones óptimas al efluente para su reutilización en los procesos de producción. Es por eso que en la presente tesis se plantean los tratamientos finales de forma experimental con la expectativa de llegar a una calidad apta para su reutilización. Siendo nuestra referencia el agua de pozo en aspectos de calidad, como la óptima para el uso en los procesos productivos de la sección de acabados de Tejidos Pintex S.A.

### **1.3. JUSTIFICACION**

La realización de este proyecto se debe a la necesidad de reducir la carga contaminante del agua utilizada en los procesos productivos de una industria textil Tejidos Pintex S.A. utilizando tratamientos primarios, secundarios y terciarios para optar por su reutilización y así crear un beneficio económico a la empresa y un aporte ambiental al consumo excesivo del recurso hídrico.

### **1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Mejorar en la calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento de TEJIDOS PINTEX S.A. para su reutilización en los procesos industriales.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Utilizar técnicas apropiadas de tratamiento para mejorar la calidad del efluente tratado.
- Evaluar los resultados de los tratamientos mediante análisis físico químicos.
- Comparar la efectividad de los tratamientos terciarios con carbón activado y filtros multimedia.

- Dar un tratamiento final al efluente para mejorar su calidad y así llegar a estándares similares al agua proveniente de pozo.
- Reducir el consumo y el costo del agua consumida proveniente del pozo (en caso de instalar un sistema que abastezca el volumen producido).

### **1.5. ALCANCE**

Se desea aumentar el proceso actual de tratamiento, implementando un sistema de bajo costo al final del proceso que permita eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos para mejorar su calidad y así llegar a valores similares al agua proveniente del pozo para reutilizar o reciclar el agua tratada.

## Capítulo II

### MARCO TEORICO

#### CONTAMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA TEXTIL

##### 2.1. Industria Textil en el Ecuador.

Los inicios de la industria textil ecuatoriana se remontan a la época de la colonia, cuando la lana de oveja era utilizada en los obrajes donde se fabricaban los tejidos.

Posteriormente, las primeras industrias que aparecieron se dedicaron al procesamiento de la lana, hasta que a inicios del siglo XX se introduce el algodón, siendo la década de 1950 cuando se consolida la utilización de esta fibra. Hoy por hoy, la industria textil ecuatoriana fabrica productos provenientes de todo tipo de fibras, siendo las más utilizadas el ya mencionado algodón, el poliéster, el nylon, los acrílicos, la lana y la seda.

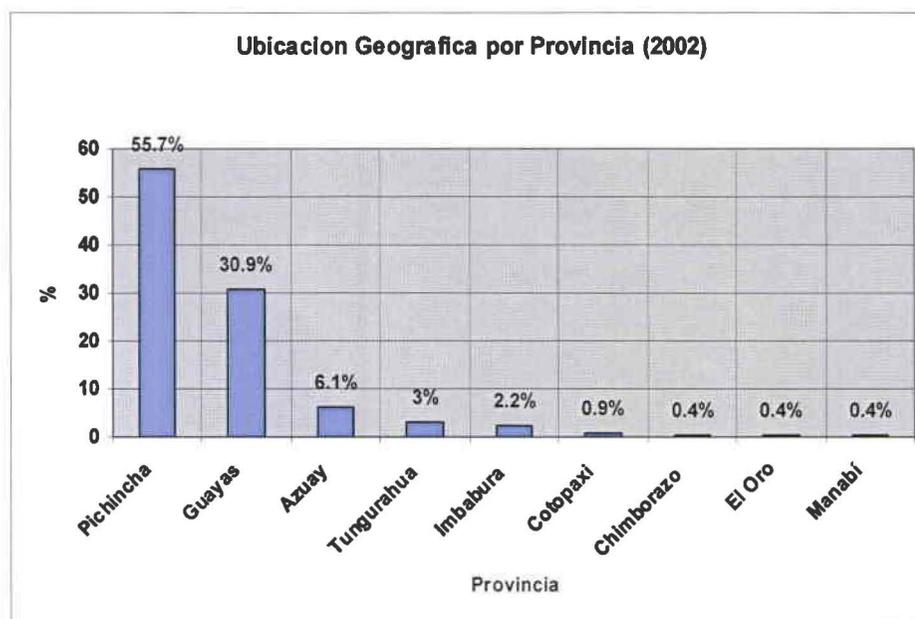
La diversificación en el sector ha permitido que se fabrique un sinnúmero de productos textiles en el Ecuador, siendo los hilados y los tejidos los principales en volumen de producción, como es el caso de Tejidos Pintex. No obstante, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles, tanto las de prendas de vestir como de manufacturas para el hogar.

La industria textil ecuatoriana (2002) genera 25.000 puestos de trabajo directos y más de 100.000 puestos indirectos. Representa aproximadamente el 3.1% del PIB total y el 19.2% del PIB manufacturero. En las Provincias Guayas y Pichincha, se sitúan el 78% de la producción y más del 70% de establecimientos. Tienen una

ocupación (empleo): 13% de la PEA<sup>1</sup>. De las exportaciones ocupa el 3,27 % del 22% de actividades no tradicionales<sup>2</sup>.

La localización de las empresas está distribuida de la siguiente manera: Pichincha 50%, Tungurahua 19%, Azuay 17% y Guayas 10%.

*Gráfico 2.1 Distribución general de la Industria*



*Fuente: Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y competitividad*

Según el INEC (2008) existen 99 empresas de fabricación de productos textiles que generan un total de 58.196.202 dólares americanos para nuestro país<sup>3</sup>. Pertenecientes a la asociación de industriales textiles del Ecuador en el sector de tejidos, encontramos 20 empresas en las cuales se encuentra Tejidos Pintex S.A.

<sup>1</sup> HERLINDA SABANDO (2003), II SEMINARIO TALLER SOBRE LOS TEXTILES Y EL VESTIDO, [www.aladi.org/nsfaladi/reuniones.nsf/.../\\$FILE/Ecuador.ppt](http://www.aladi.org/nsfaladi/reuniones.nsf/.../$FILE/Ecuador.ppt)

<sup>2</sup> Asociación de Industrias textiles del Ecuador, El Ecuador, Datos útiles (2009), <http://www.aite.com.ec/index>

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, Encuesta anual de manufactura y minería, 2007, [http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu\\_est/est\\_eco/enc\\_eco/enc\\_man\\_min](http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu_est/est_eco/enc_eco/enc_man_min).

## 2.2. Principales contaminantes de los efluentes en una textilera.

Los principales contaminantes de los efluentes textiles provienen de las impurezas naturales extraídas de las fibras y de los productos químicos empleados en los procesos<sup>4</sup>.

J Giraldo comenta que los contaminantes de los efluentes en una industria textil no varían significativamente en su cualidad sino en su cantidad de carga contaminante. Eso es lo que marca la diferencia entre los efluentes de una industria textil, por lo que también varían los tratamientos a utilizarse para su depuración<sup>5</sup>.

M.Crespi comenta que los principales contaminantes son<sup>6</sup>:

- Las fibras que dan una mala apariencia, impiden el paso de la luz solar y si son de origen orgánico estos van degradándose progresivamente, robando el oxígeno de los microorganismos depuradores.
- Aceites, grasas y tensoactivos a más de no ser agradables a la vista, causan espumas que impiden el ingreso de la luz solar y también el contacto directo del oxígeno del ambiente con el agua.
- DQO, DBO, metales pesados y tóxicos son el grupo de contaminantes más importantes ya que estos están disueltos, impiden la presencia de oxígeno para la degradación bacteriana, son bioacumulativos (exceptuando la DBO<sub>5</sub> y DQO), y pueden tener concentraciones de toxicidad para el ambiente y los seres vivos.

---

<sup>4</sup> Nemerov, N, Aguas residuales industriales, teoría aplicación y tratamiento”, Blume, Madrid, 1era Edición en español, 1977, p.263

<sup>5</sup> J. Giraldo, M. Hernandez, G. Peñuela..., Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis., Red de revistas científicas de América latina y el Caribe, España y Portugal, 2005, p 15-18.

<sup>6</sup> M. Crespi, J. Huertas, INDUSTRIA TEXTIL, ¿Depuración Biológica o Físicoquímica?,1985, pag 75-77.

- La temperatura es importante para la acción de microorganismos que permitan la degradación de materia orgánica disuelta y también para la acción efectiva de coagulantes y floculantes.
- Color es un contaminante típico de un efluente de origen textil ya que en los procesos de acabado debido a distintos tipos de colorantes como, reactivos, directos, dispersos, básicos y ácidos impiden un agua transparente y limpia imposible de ser reutilizada. En Tejidos Pintex S.A. utilizan solamente colorantes dispersos, reactivos y directos.
- Gusto y olor son aquellos contaminantes provenientes de disolventes, sulfuros, fenoles, etc. que a más de ser desagradables para nuestros sentidos, impiden su uso para cualquier actividad productiva o de consumo humano.

Dentro de los distintos procesos que se realizan en la fabricación de telas por parte de esta industria, hay que distinguir los procesos mecánicos y los procesos de acabado. Los primeros no originan contaminación alguna debido a que no utilizan agua ni productos químicos en sus operaciones.

En cuanto a los procesos de acabado, si originan contaminación ya que se emplean una serie de productos químicos tales como sosa cáustica, detergentes aniónicos y diversos tipos de colorantes usados para la tinturación final de las telas. Los cuales al tomar contacto con el agua se vuelven el principal contaminante en esta industria.

La presente tesis se realizó en base a los efluentes de la fábrica Tejidos *Pintex S.A.*, ubicada en la ciudad de Quito. Debido a los procesos que allí operan se puede obtener una lista de los productos químicos utilizados en los procesos y que son los principales contaminantes del agua<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Información obtenida de la empresa Tejidos Pintex S.A., Sección Acabados, 2006.

- AKOTAN 55% (detergente aniónico)
- ATEBAN PW A.C (detergente aniónico)
- VISCOSIL ( aumenta la viscosidad del agua para formar una pasta madre)
- AMONIACO LIQUIDO (su fuerte e irritante olor contamina el agua)
- CARBONATO DE SODIO (altera el pH haciéndolo alcalino)
- PEROXIDO DE HIDROGENO (para el blanqueamiento de la tela)
- SOSA CAUSTICA (altera el pH haciéndolo alcalino)
- SULFATO DE SODIO
- COLORANTES:

AMARRILLO FLUORESCENTE, ANARANJADO FLUORESCENTE, ROSA FLUORESCENTE, ROJO FLUORESCENTE, AZUL FLUORESCENTE, VERDE FLUORESCENTE, BLANCO, PARDO, RUBI, VIOLETA, NEGRO, AMARILLO, ORO, PLATA, TURQUEZA y NEUTRO

### **2.3. Procesos que originan efluentes en una textilera.**

Dentro de la industria textil, hay que diferenciar dos actividades totalmente distintas, como son las operaciones mecánicas y las de acabado textil, como ya se mencionó anteriormente.

#### **2.3.1. Procesos Mecánicos**

Este tipo de operaciones tienen por objeto la hilatura y el tejido. La materia prima cruda se carda, se hila, se bobina, se urde, se espesa o engoma, se tensa y se teje para formar la tela antes de enviarla a la sección de acabado. Como ya se mencionó, aquí no se produce contaminación alguna que tenga como transporte el agua, excepto en el engomado, donde a la hebra de urdimbre se la trata con el fin de

obtener las características de suavidad y resistencia que son necesarias para seguir con el proceso de tejido.

### 2.3.2. Operaciones de acabado

Las distintas textileras se dedican al acabado de diversas fibras, sean estas naturales, tales como algodón, lino, lana, seda, o artificiales, tales como poliéster, acrílico, rayón, etc. Para este caso, Pintex S.A. utiliza solamente algodón y poliéster como materias primas para la fabricación de sus telas, por lo que vamos a conocer las características de los procesos que se involucran en el acabado de estas fibras para entender cómo se originan los efluentes del resultado de estas operaciones<sup>8</sup>:

#### CHAMUSCADO DESENCOLADO

- a) Proceso consiste en cepillar y chamuscar la tela para eliminar las fibrillas fluctuantes que se encuentran sobre el material textil.
- b) En las tinas de baño se realiza un descruce o desencolado de la tela.

#### BLANQUEO DE ALGODON.

- a) Proceso consiste en blanquear el algodón y eliminar cáscaras / pepa del genero textil mediante la acción de vapor y los productos químicos utilizados.

#### LAVADO

- a) Proceso consiste en eliminar excesos de productos químicos utilizados en el blanqueo, así como también de colorantes utilizados en las tinturas.

---

<sup>8</sup> P. Román, ex jefe de sección acabados Tejidos Pintex, Manual de proceso de acabados de Tejidos Pintex S.A,2006, p.6-17.

## SECADO TERMOFIJADO

- a) Proceso consiste en darle al género textil un ancho determinado mediante calor y choques térmicos de aire fríos para estabilizar el ancho.

## TINTURAS

- a) Inicio de proceso, preparar los baños de tintura según hojas de fórmula establecida para el foulard y Jet.
- b) Proceso consiste en darle al género textil un color determinado sea tinturando una o dos fibras dependiendo del proceso.

## ESTAMPADO

- a) Proceso consiste cubrir al género textil de un diseño, con pasta madre (de acuerdo a la hoja de fórmula) y colores con pigmentos solubles en agua.

## FIJADO

- a) Proceso consiste en fijar el pigmento en el material textil mediante calor.

## SECADO

- a) Proceso consiste en secar al género textil mediante aire caliente después del lavado de la tintura.

## TINTURA RAMA

- a) Proceso consiste en tinturar solamente el poliéster con colorantes dispersos a 130 °C.

### APRESTADO POLIMERIZADO

- a) El proceso consiste en impregnar de productos químicos al género textil para mejorar el peso y el tacto de la tela.

### CALANDRADO

- a) Proceso consiste en dar brillo al género textil mediante la acción de presión y un cilindro metálico caliente.

2.3.2.1. Principales contaminantes de los efluentes y cantidades utilizadas en cada proceso productivo de la industria textil Tejidos Pintex S.A.

Tabla 2.3.2.1 Productos químicos y cantidades

<b>FORMULA DE DESCRUDE</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Ateban	6
SUMAN	6

<b>FORMULA DE BLANQUEO</b>	
<b>PRIMERA CAMARA DE SEMANA</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	300,8
Ateban	0,6
Sosa caustica liquida	9

<b>DOBLE ANCHO</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	200,45
Ateban (detergente)	1,25
Sosa caustica liquida	16
Agua oxigenada	14,3

<b>LAVADO BLANQUEOS Y CRUDOS</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	300,8
Akotan (detergente)	2

<b>PASTA MADRE ESTAMPACION</b>
--------------------------------

<b>PASTA MADRE "A"</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	877,75
Antiespumante SHT	1,25
Amoniaco liquido	1

<b>PASTA MADRE "B"</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	791,5
Antiespumante SHT	1,5
Amoniaco liquido	1

<b>PIGMENTOS PARA ESTAMPACION</b>	
<b>COLOR</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Amarillo 2G	198
Azul B	153
Azul Marino 5 RF	75
Blanco 51	250
Pardo RRT	29
Rojo 2G	68
Rojo BE	51
Rubi 3 BF	28
Verde B	31
Violeta 2 BTL	21
Negro U	39
Amarillo Oro 3 R	82

<b>FORMULAS DE TINTURAS JET</b>
---------------------------------

<b>TINTURA JET(DISPERSO DIRECTO)</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Acido Formico	1,2
Sulfato de Sodio	25
Albaflow Jet	0,6
Acido Formico	1,5

<b>TINTURA JET(DISPERSO DIRECTO)</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Acido Formico	1,5
Sulfato de Sodio	100
Carbonato de Sodio	12,5
Carbonato de Sodio	12,5

<b>COLORANTES TINTURAS JET</b>	
<b>COLOR</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Terasil Amarrillo 4G	
Terasil Amarrillo Oro W 3R	
Terasil Amarrillo W 6GS	
Terasil Anaranjado 5 RL	
Terasil Azul 3RL 07	
Terasil Azul Bte BGE 200%	
Terasil Marino GRL C	
Terasil Negro MAW	
Terasil Rojo 3BL	
Terasil Rojo FBN	
Terasil Rojo R	
Terasil Rubi 2GFLL	
Solofenil Amarrillo ARLE	
Solofenil Amarrillo GLE	
Solofenil Azul BTE	
Solofenil Azul FGLE 200%	
Solofenil Azul SGLF 220%	
Solofenil Azul TLE	
Solofenil Burdeos 3 BLE	
Solofenil Escarlata BNLE	
Solofenil Rojo 4 GE	
Solofenil Turquesa BRLE	
Solofenil Verde BLE	
Novacron Amarrillo F 4G	
Novacron Amarrillo FN 2R	
Novacron Amarrillo H G	
Novacron Amarrillo S 3R	
Novacron Amarrillo WR 200	
Novacron Anaranjado RN	
Novacron Azul Bte FNG	
Novacron Azul Oscuro WR	

Novacron Naranja W 3R	
Novacron Negro WNN HC	
Novacron RojoFN R	
Novacron Rojo WR 150%	
Novacron Turqueza H GN	

<b>FORMULAS DE TINTURAS FOULARD</b>
-------------------------------------

<b>TINTURA FOULARD</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Carbonato de Sodio	4

<b>COLORANTES TINTURAS FOULARD</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Drimaren Amarillo CL-2R	
Drimaren Amarillo Oro K-2R	
Drimaren Amarillo K 4G	
Drimaren Anaranjado K 3K	
Drimaren Azul K2 RL	
Drimaren Naranja Blte K 4BL	
Drimaren Rojo CL 5B	
Drimaren Rojo Blte K 4BL	
Drimaren Verde Blte K 5BL	
Procion Rojo MX 5B	

<b>COLORANTES TINTURAS RAMA 3</b>	
<b>COLOR</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Foron Amarillo RD-4GRL	
Foron Azul E BL 150	
Foron Azul RD E	0,03
Foron Pardo Amarillo S2RFL	0,65
Foron Rubi S 2GFL 150%	0,26

<b>Apresto Rama 4 ( Bramante)</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	1000 LITROS
Viscosil SW-19	15
Ácido fórmico	0,2

<b>Apresto Rama 4 (Filamento)</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Agua	1000 LITROS
Viscosil SW-19	25
Perenin GNS	0,2

*Fuente: Tejidos Pintex S.A.*

*Listado de productos químicos y cantidades*

### 2.3.3. Algodón

El algodón es del género botánico "GOSSYPYUM" y pertenece a la familia de las malváceas. Hirsutum es la especie de más interés en todo el mundo por la uniformidad de sus fibras. Se cultiva principalmente en Norte y Centro América. La variedad "UPLAND" ocupa el primer lugar<sup>9</sup>.

Gossypium hirsutum:

Es un algodón de tierras altas, tiene de un 80 a 90 % de participación en el mercado mundial, posee fibras de corta a mediana longitud (2-3 cm; variedad de fibra mediana)<sup>10</sup>.

Esta fibra natural de origen vegetal es una de las más usadas gracias a la calidad, suavidad y confort que le han convertido en el material predilecto para la confección de telas en TEJIDOS PINTEX S.A.

El algodón aporta en la contaminación de las aguas residuales debido a que en el momento de lavarlo desprende una micropelusa que es parcialmente retenida en unas rejillas pero existen fibras que pasan y se encuentran suspendidas en el reactor biológico o tanque de aireación, causando molestias en este debido a que impide el contacto del agua con oxígeno del ambiente ya que la fibra por flotar se interpone. Esta al momento de degradarse comienza a utilizar el oxígeno del agua que es

<sup>9</sup> PORTER, J.J., LYONS, D.W., and NOLAN, W.F., "Water uses and wastes in the textile industry" Environmental Science and Technology, 1972, p. 35

<sup>10</sup> Asociación Naturland, agricultura orgánica en el trópico y subtrópico Algodón, 1era edición, 2000.

## 2.4. Principales parámetros indicadores de la contaminación.

Para determinar el grado de contaminación que posee un efluente residual lo podemos valorar cuantitativamente mediante parámetros físicos, químicos y biológicos que gracias a un valor numérico podemos encontrar medidas que permitan controlar la calidad del efluente.

Los parámetros más importantes son:

- Oxígeno disuelto (OD);
- Demanda Química de Oxígeno (DQO);
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO);
- Turbidez;
- Color;
- Temperatura;
- Potencial hidrógeno;
- Sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos; entre otros.

### 2.4.1. Oxígeno Disuelto

Este parámetro es necesario para la respiración de microorganismos y de cualquier forma de vida aerobia. Como ejemplo los peces que requieren un mínimo de 3mg/l para su supervivencia. La cantidad de oxígeno presente en el agua va a depender de factores como la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua<sup>13</sup>

La presencia de oxígeno disuelto en las aguas residuales es muy importante ya que evita la formación de olores desagradables que pueden existir debido a los procesos realizados en la industria.

---

<sup>13</sup> ROMERO ROJAS, J.A, Tratamiento de Aguas Residuales, editorial escuela colombiana de ingeniería, 1era edición, 2000, p. 64

#### 2.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Empleado para medir la cantidad de materia orgánica presente tanto en aguas naturales como residuales. Se la puede definir como el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse químicamente, se lo puede medir con un fuerte oxidante en un medio ácido. El dicromato de potasio resulta excelente para este fin<sup>14</sup>.

Lapeña <sup>15</sup>(1990) define a la DQO como el medidor de la capacidad de consumo de un oxidante químico, por las materias oxidables contenidas en el agua y se expresa en ppm de O<sub>2</sub>.

La demanda química de oxígeno es una prueba que puede sustituir a la DBO ya que esta se la realiza en cinco días mientras que la DQO se obtiene solamente en dos horas.

#### 2.4.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable en las aguas residuales y superficiales en cinco días. Determina la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos para degradar la materia orgánica en materia mineral. Su determinación permite dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de otros procesos.

Lapeña <sup>16</sup>(1990) define a la DBO<sub>5</sub> como el medidor del oxígeno consumido en cinco días en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios.

La DBO<sub>5</sub> se produce normalmente por la materia orgánica disuelta y coloidal. Es el parámetro más importante de todos ya que determina la fuerza de contaminación de los desechos domésticos e industriales en

---

<sup>14</sup> Ibid, p.54

<sup>15</sup> M. Lapeña, Tratamiento de aguas Industriales: aguas de procesos y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. 1990, p. 37.

<sup>16</sup> M. Lapeña, Tratamiento de aguas Industriales: aguas de procesos y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. 1990, p. 37.

términos del oxígeno que requerirán para su descarga en aguas naturales, en donde existen condiciones aerobias. Existe una desventaja en esta prueba y es la demora de 5 días para la obtención de un resultado, aunque ya existen instrumentos que pueden dar un resultado aproximado en pocos minutos pero que no es el real<sup>17</sup>.

#### 2.4.4. Turbidez

Medida de la propiedad de trasmisión de la luz en el agua y sirve como ensayo para indicar la calidad de los vertidos de las aguas residuales y aguas naturales con respecto a la materia coloidal que se encuentra finamente dividida y suspendida en el agua. La materia coloidal, dispersa o absorbe la luz evitando así su trasmisión<sup>18</sup>.

Marín (2003) define a la turbidez como la presencia de materias diversas en suspensión, arenas, limos, coloides orgánicos, plancton, entre otros organismos microscópicos dan lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas pueden ir desde 10nm hasta 0,1mm de diámetro y se las puede clasificar en tres grupos: minerales, partículas orgánicas húmicas (por ejemplo: descomposición o agregación de material vegetal) y partículas filamentosas (como ejemplo, restos de amiantos o de filosilicatos)<sup>19</sup>.

#### 2.4.5. Color

Característica de los efluentes provenientes de ciertas industrias, tales como: textiles papel, curtiembres, camales, etc.

Interfiere en la transmisión de la luz solar disminuyendo la acción fotosintética. Existen colores muy difíciles de ser removidos como son el rojo, marrón oscuro, mostaza entre otros que causan un impacto desagradable a la vista. No es posible establecer una relación entre el

---

<sup>17</sup> Ibid, p. 38

<sup>18</sup> Ibid, p. 70

<sup>19</sup> R. Marín, FISCOQUIMICA Y MICROBIOLOGIA DE LOS MEDIOS ACUATICOS, Tratamiento y control de calidad de aguas. Editorial Díaz Santos 2003, p.11-14

color y el grado de contaminación. Los colorantes sintéticos son nocivos para los seres vivos.

Existen dos tipos de color, el verdadero que se debe al material en solución y el aparente que se debe a las finísimas partículas que están en suspensión en agua. "El color se mide en unidades Pt-Co; una unidad equivalente al producido por 1ppm de platino en forma de ión cloroplatino"<sup>20</sup>

#### 2.4.6. Temperatura

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro ya que los procesos industriales y el uso de calderos incrementan este parámetro en un promedio de 10 °C a 30 °C. Esto es perjudicial para especies vivas ya que el oxígeno disuelto es menor en agua caliente que en fría. La carencia de oxígeno en las aguas determina la degradación biológica<sup>21</sup>.

"La temperatura es determinante en reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua en usos útiles"<sup>22</sup>.

#### 2.4.7 Potencial Hidrógeno

La concentración del ión hidrógeno es un importante parámetro de calidad para las aguas residuales. El óptimo para la existencia de vida biológica está entre 6,5 y 8,5 siendo 7 el más apto. El pH debe ser controlado tanto en los procesos industriales como en los de tratamiento de aguas residuales, en especial antes del tratamiento biológico y antes del proceso de coagulación y floculación<sup>23</sup>.

---

<sup>20</sup> INEN, Norma 970, "Agua potable. Determinación de color", 1990.

<sup>21</sup> ROMERO ROJAS, J.A., Tratamiento de Aguas Residuales, editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 70

<sup>22</sup> METCAF-EDDY, INC., "Tratamiento y Depuración de las aguas residuales", Laboe, Barcelona, 1<sup>era</sup> Edición Española, 1977, p. 246.

<sup>23</sup> Ibid, p 266.

#### 2.4.8. Sólidos

Afecta directamente a la cantidad de lodo en el sistema de tratamiento o disposición. Se consideran como sólidos totales de un agua al residuo de la evaporación del agua a 105 °C<sup>24</sup>.

También existen los sólidos sedimentables que son una medida de volumen de representa en ml/l.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, los cuales para ser removidos necesitan de oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos son la diferencia entre los sólidos totales no filtrados y los filtrados. En la práctica los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a 1,2 µm, mientras que los suspendidos son mayor a 1,2 µm<sup>25</sup>.

Los sólidos volátiles básicamente son la fracción orgánica de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de 550 ± 50 °C y los que se quedan se conocen como sólidos fijos.

### 2.5. MARCO LEGAL, Normativas y Legislación Nacional sobre vertidos industriales

La clave para determinar la calidad de las aguas residuales esta en conocer el umbral de afectación, el máximo de toxicidad para seres vivos, etc. Todo esto debe ser estipulado en una ley, reglamento o norma que escoja un valor máximo permitido para una nación, región o municipio.

Comenzando por la constitución de la República del Ecuador, en el TÍTULO VII Régimen del Buen Vivir, CAPÍTULO SEGUNDO,

---

<sup>24</sup> Ibid, p.244

<sup>25</sup> Ibid, p.245

Biodiversidad y Recursos Naturales. El Art 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales<sup>26</sup>:

- a. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
- b. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.
- c. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
- d. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Siguiendo con el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI: De la Calidad Ambiental, ANEXO 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, el punto 4.2.1.2, muestra las tablas # 11, 12 y 13 de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles<sup>27</sup>.

El TULAS es una guía para la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito donde se encuentra la Resolución N003 – Dirección

---

<sup>26</sup> Constitución de la República del Ecuador, TÍTULO VII Régimen del Buen Vivir, CAPÍTULO SEGUNDO, Biodiversidad y Recursos Naturales. Art 395, 2008.

<sup>27</sup> Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI: De la Calidad Ambiental, ANEXO 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, el punto 4.2.1, 2005.

Metropolitana Ambiental 2008 y en esta la Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios.

## NORMA TÉCNICA PARA EL CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS DE SECTORES PRODUCTIVOS<sup>28</sup>.

### 1. OBJETO

La presente norma tiene por objeto limitar la concentración de contaminantes en los efluentes líquidos de origen industrial, comercial y de servicios, vertidos a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado, sobre la base del objetivo de calidad fijado para salvaguardar la salud y el bienestar de la población así como para permitir usos adicionales de los recursos.

### 2. ALCANCE

Todo efluente líquido residual proveniente de actividades industriales, comerciales y de servicios, pública o privada está sujeto a la aplicación de la presente norma técnica.

### 3. DISPOSICIONES GENERALES

3.1 Toda descarga proveniente de actividades en plantas o bodegas industriales, emplazamientos agropecuarios o agroindustriales, locales de comercio o de prestación de servicios, actividades de almacenamiento o comercialización de sustancias químicas en general, deberá ser vertida al receptor cuando se haya verificado el cumplimiento de los valores máximos permisibles.

3.2 Las medidas técnicas que se implementen buscarán como prioridad la reducción del nivel de contaminación en la fuente. En segundo lugar

---

<sup>28</sup> Resolución N003 – Dirección Metropolitana Ambiental 2008, Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios.

los tratamientos, previos a la descarga, cuya eficiencia garantice el control de contaminación.

3.3 Se prohíbe la dilución intencional de descargas líquidas no depuradas utilizando el agua de las redes públicas o privadas, aguas subterráneas o aguas lluvias, así como el infiltrar en el suelo descargas líquidas no depuradas.

3.4 El regulado mantendrá para el control interno y control público, registros de los efluentes generados indicando: el proceso del que provienen, periodicidad de producción del efluente, tratamiento aplicado a los efluentes, características del efluente (análisis fisicoquímico), el caudal de los efluentes y su relación con datos de producción, dispositivos de medida y su control (frecuencia/tipo).

3.5 Como parte del control interno anual, se realizarán programas de control de las descargas líquidas y se presentarán los resultados de caracterización físico-química durante el mes de noviembre de cada año, utilizando el formulario establecido para el efecto.

3.6 Para la expedición de propuestas modificatorias a la presente norma técnica deberá previamente existir los estudios sociales, técnicos y económicos necesarios que justifiquen la medida, en concordancia con las políticas ambientales locales y considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados en la normativa nacional.

3.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los parámetros establecidos en la norma de descarga a cuerpos de agua.

3.8 Los sedimentos, lodos y sólidos provenientes de sistemas de potabilización de agua, o cualquier tipo de tratamiento doméstico, de servicios o industrial no deberán disponerse en cuerpos de agua, su

disposición deberá cumplirse con las normas específicas que correspondan.

#### 4. DEFINICIONES

4.1 Contaminación: Degradación de uno o más elementos o aspectos del medio ambiente, debido a desperdicios industriales, químicos o biológicos nocivos, provenientes de desechos de productos hechos por el hombre y por el mal manejo de los recursos naturales y ambientales.

4.2 Descarga puntual: es la descarga de agentes contaminantes en lugares específicos, por ejemplo a través de tuberías o alcantarillas, o en los cuerpos de aguas superficiales.

4.3 Cuerpo receptor o cuerpo de agua: Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

4.4 Efluente: líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad.

4.5 Receptor: alcantarillado o cuerpo de agua.

4.6 Carga contaminante para descargas líquidas: valor empleado en el seguimiento de las descargas líquidas no domésticas, determinado a través de la siguiente ecuación.

$CCI = [((2DBO+DQO)/3)+SS ] \times Q$ , expresado en kilogramos por horas (Kg/h)

Donde: CC. Carga Contaminante

DBO. Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO. Demanda Química de Oxígeno

SS. Sólidos Suspendidos

Q. Caudal.

5. LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LAS DESCARGAS LÍQUIDAS DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DE SERVICIOS POR CUERPO RECEPTOR<sup>29</sup>.

*Cuadro 2.5. Límites máximos permisibles para descargas líquidas de actividades Industriales, Comerciales, y de Servicios por cuerpo receptor.*

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR MAX PERMISIBLE
<b>Caudal</b>	l/kg de producción	140
<b>pH</b>	pH	5-9
<b>DQO</b>	mg/l	240
<b>Aceites y grasas</b>	mg/l	100
<b>Detergentes</b>	mg/l	0,5
<b>Temperatura</b>	°C	< 40
<b>Sólidos Sedimentables</b>	ml/l	10
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/l	95
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	120
<b>Cadmio</b>	mg/l	0,02
<b>Cobre</b>	mg/l	1
<b>Color</b>	Pt-Co	-----
<b>Cromo Hexavalente</b>	mg/l	0,5
<b>Zinc</b>	mg/l	2
<b>Mercurio</b>	mg/l	0,01
<b>Níquel</b>	mg/l	2
<b>Plomo</b>	mg/l	0,5

*Fuente: Resolución N003 – Dirección Metropolitana Ambiental 2008, Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas Líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios, Anexos A y B*

<sup>29</sup> Resolución N003 – Dirección Metropolitana Ambiental 2008, Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas Líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios, Anexos A y B

Esta norma técnica para el control de descargas líquidas estará vigente desde Junio del 2010 para el Distrito Metropolitano de Quito, siendo una de las más exigentes del país.

#### 2.5.1. Instituciones y organismos reguladores.

Tejidos Pintex S.A. se encuentra dentro del distrito metropolitano por lo que la entidad seguimiento a cargo de regular y monitorear trimestralmente las caracterizaciones y cada año la Auditoría ambiental es ALDIR, la cual es delegada por el municipio de quito para la centro norte de la ciudad.

## 2.6. Tratamientos Terciarios

Un tratamiento terciario es un tratamiento avanzado que incluye una serie de procesos destinados a conseguir una calidad de agua superior a la obtenida de los tratamientos secundarios. Entre los más conocidos están los de separación de sólidos en suspensión como es el caso de microtamizado, filtración con arenas y coagulación, los cuales son económicos y efectivos. Por lo que son tomados en cuenta, en especial el filtrado por arenas ya que su costo y fácil acceso al mismo<sup>30</sup>.

También encontramos el tratamiento por carbón activado que gracias al poder adsorbente del carbón existe una remoción significativa de contaminantes orgánicos, sólidos y colorantes de las aguas residuales. Su costo es moderado y dependerá de que tan contaminada este el agua a tratarse para que el carbón sea sustituido por uno nuevo. Por ello es uno de los más utilizados y tomados en cuenta para este trabajo de tesis.

Existe el tratamiento por Intercambio iónico, donde el uso de zeolita es el más común, la cual permite la separación de cationes metálicos en

---

<sup>30</sup> R.S. Ramalho, Editorial Reverté, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, cap 8, Tratamiento terciario de las aguas residuales, 2003, p 585-586.

solución que se difunden a través de intersticios (poros) del material, ocupando el sitio de iones fácilmente permutables hacia la solución, como el Na<sup>+</sup> y el K<sup>+</sup>. Es capaz de capturar algunos metales pesados y color, pero previo a este tratamiento es necesaria la separación de sólidos suspendidos que pueden saturar esos poros mediante una filtración o microtamización previa<sup>31</sup>. Con ello los costos de tratamiento incrementan y podemos descartar dicho tratamiento para el presente trabajo de titulación.

Osmosis inversa es uno de los tratamientos terciarios más eficientes que consiste en la separación del soluto del solvente a través de una membrana semipermeable debido a una fuerza igual a la presión osmótica. Existe varios tipos de membranas pero la más utilizada es la de acetato de celulosa. El tratamiento por osmosis puede llegar a la calidad de agua necesaria para el uso deseado siempre y cuando se manejen caudales razonables<sup>32</sup>. Es un tratamiento de costo muy elevado por m<sup>3</sup> tratado por lo que queda totalmente descartado para este proyecto de tesis.

El tratamiento terciario involucra la ejecución de uno o varios procesos unitarios adicionales tendientes a mejorar la calidad del agua residual. Entre los escogidos para este trabajo de tesis podemos señalar el tratamiento de adsorción por carbón activado y filtros de arena multimedia por su alta efectividad, costo moderado y la facilidad de adquirirlos en el mercado.

#### 2.6.1. Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles presentes en una solución por una interfase conveniente. La interfase

---

<sup>31</sup> M. vaca, L. Magdaleno, M. Sosa..., TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES POR FILTRACION E INTERCAMBIO IONICO, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México D.F., 1996.

<sup>32</sup> Obtenido del artículo, ¿Qué es la osmosis inversa?, [http://www.quiminet.com/ar6/ar\\_bcBuadddsazgt-que-es-la-osmosis-inversa.htm](http://www.quiminet.com/ar6/ar_bcBuadddsazgt-que-es-la-osmosis-inversa.htm), 2007.

puede encontrarse el líquido y un gas, un sólido u otro líquido. En el caso del carbón activo la interfase es entre un líquido-sólido.

La adsorción puede describirse como el proceso en que las moléculas abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces físicos y químicos. A las moléculas se las llama adsorbatos y al sólido se lo denomina adsorbente. Existe la quimioadsorción que es irreversible debido a los fuertes enlaces y también existe la adsorción física que es reversible debido a enlaces más débiles como por ejemplo las fuerzas de Van der Waals. La adsorción física es el proceso que ocurre con el carbón activo y los constituyentes del agua residual<sup>33</sup>.

La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función no solo de la concentración  $C$  del adsorbato (constituyentes del agua residual), sino también de la temperatura  $T$ . Por lo general, la cantidad de materia adsorbida se determina como una función de  $C$  a temperatura constante, llamándose a la resultante isoterma de adsorción<sup>34</sup>.

#### 2.6.2. Carbón activado

En la actualidad, el carbón activado es el elemento más comprometedor dentro del tratamiento por adsorción de las aguas residuales. Se usaba mucho en el pasado para la remoción de compuestos orgánicos causantes de malos olores o sabores en potabilización de agua. Pero actualmente en tratamiento de aguas residuales se han obtenido buenos resultados.

El carbón activo se prepara haciendo, en primer lugar, carbón. Un material, como madera o carbón, se lleva al rojo vivo en una retorta para expulsar los hidrocarburos, pero con una aportación insuficiente de aire

<sup>33</sup> METCAIF-EDDY, INC., "Tratamiento y Depuración de las aguas residuales", Laboe, Barcelona, 1<sup>era</sup> Edición Española, 1977, p. 363.

<sup>34</sup> C. Gomella – H. Guerree, TRATAMIENTO DE AGUAS PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO, Adsorción y Carbón Activado, p 197-199. 1977.

para mantener la combustión. La partícula de carbón se activa seguidamente exponiéndola a un gas oxidante a elevada temperatura. Este gas desarrolla una estructura porosa en el carbón natural y crea así una gran superficie interna. Las propiedades de superficie resultantes son función del material inicial usado y del procedimiento exacto de preparación, de modo que son muchas variaciones posibles.

La primera forma de activación de aun carbón es la activación física, el precursor se carboniza en atmósfera inerte y el producto carbonizado se activa con gases como dióxido de carbono, vapor de agua, o una mezcla de ambos, a una temperatura del orden de 800°C<sup>35</sup>.

Durante la activación se produce una reacción entre el gas y los átomos de carbono más reactivos, es decir los más insaturados, eliminándolos como monóxido de carbono. La pérdida selectiva de átomos de carbono produce un ensanchamiento de la porosidad, de forma que los microporos del carbonizado se hacen accesibles a las sustancias, y aumenta el volumen de poros tanto más cuanto más se prolongue la activación.

La segunda estrategia para preparar carbón activado es la activación química, donde un producto químico, clásicamente cloruro de cinc, ácido fosfórico o hidróxido de potasio, se mezcla homogéneamente con el precursor y luego se carboniza. Como la mayor conversión a carbono se produce a 450-500°C, es común que la activación química con cloruro de Zinc y con ácido fosfórico finalice a esta temperatura<sup>36</sup>.

El contenido de O e H de un carbón recién activado es bajo porque la mayoría de los grupos que contienen enlaces C-H y C-O han descompuesto, dando CO<sub>2</sub>, CO y H<sub>2</sub>O. Al quedarse en su estructura

---

<sup>35</sup> F. Rodríguez, Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales, El carbón activado como adsorbente en descontaminación ambiental, 2004, p.42.

<sup>36</sup> D. Luna, A. González, M. Gordon y N. Martín, Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco, 2007, p. 42, [http://www.iztapalapa.uam.mx/contactos/n64ne/carbon\\_v2.pdf](http://www.iztapalapa.uam.mx/contactos/n64ne/carbon_v2.pdf)

átomos de carbono muy reactivos, quimisorbe oxígeno cuando se expone al aire y forma los denominados grupos superficiales de oxígeno.

A temperatura ambiente, la cantidad de grupos superficiales es pequeña, ya que sólo los átomos de carbono más reactivos son capaces de quimisorber oxígeno, y los grupos formados se denominan básicos, porque se pueden neutralizar con ácidos. En cambio, si se oxida el carbón activado con aire a 200°C, o con disoluciones de ácido nítrico o peróxido de hidrógeno, la cantidad de oxígeno que forma enlaces con el carbono es elevada, y los grupos de oxígeno que se originan se denominan ácidos, porque pueden ser neutralizados por bases. Como resultado, el carbón se hace más hidrofílico, y aumenta la afinidad hacia la adsorción de moléculas polares porque se establecen interacciones específicas con los grupos de oxígeno<sup>37</sup>.

En particular, si los contaminantes son moléculas orgánicas y apolares se unen fuertemente a la superficie del carbón por fuerzas de dispersión, ya que el carbón es de naturaleza apolar.

Como ejemplo, la retención de Cr (VI) en carbones activados ocurre preferentemente en el rango de pH ácido cuando la especie dominante es  $\text{HCrO}_4^-$  o  $\text{CrO}_4^{2-}$  y el proceso de retención ocurre con una reducción parcial de Cr (VI) a Cr (III). En el caso del Hg (II) se informa que la retención es mayor a pH neutro que básico. En general se ha encontrado que para numerosos metales pesados existe un "borde de adsorción" en la zona de pH ácido y así el cambio de algunas unidades de pH en el rango 3-6 provoca un fuerte aumento en la capacidad de sorción del metal en los carbones activados<sup>38</sup>.

<sup>37</sup> F. Rodríguez, Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales, El carbón activado como adsorbente en descontaminación ambiental, 2004, p.44.

<sup>38</sup> R. Arriagada, R. García, R. Cid., RETENCION DE Hg(II) Y Cr(VI) EN CARBONES ACTIVADOS DE ORIGEN LIGNOCELULÓSICO., Facultad de Ciencias Químicas, 2002, Universidad de Concepción . Chile.  
<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/B1-213.pdf>

Tras la activación, el carbón puede separarse, o prepararse, en diferentes tamaños. Los dos más corrientes son granular y en polvo. El diámetro del carbón el polvo es menor al granular de malla 200, mientras que el carbón granular tiene un diámetro superior a 0,1 mm. El tamaño del poro desarrollado durante la activación tiene importancia en la adsorción de la fase de vapor pero no generalmente en la fase líquida<sup>39</sup>.

C. Moreno menciona El carbón activado en polvo (CAP) se usa con los mismos propósitos que el CAG. La diferencia es el tamaño más pequeño del polvo (aproximadamente 44  $\mu\text{m}$  del polvo frente a 0,6 - 4 mm del granular) que permite velocidades de adsorción más rápidas. Sin embargo, un inconveniente del CAP es que es más difícil de manejar y no puede utilizarse en columnas de lecho fijo pues se produciría una caída de presión<sup>40</sup>.

Los poros:

El carbón activado tiene un gran volumen de poros muy pequeños que crea una gran superficie. Típicamente carbones activados tienen superficies entre 600 y 1.200  $\text{m}^2 / \text{g}$  con algunos de hasta 3.000  $\text{m}^2 / \text{g}$ <sup>41</sup>. Estos poros internos se clasifican en función del tamaño, bien como microporos (10 a 1.000 Angstroms) o macroporos (mayor de 1.000 A). La adsorción ocurre principalmente en los microporos con la calidad de macroporos conductos.

<sup>39</sup>Textos Científicos, El carbón activo como adsorbente,2006, URL:

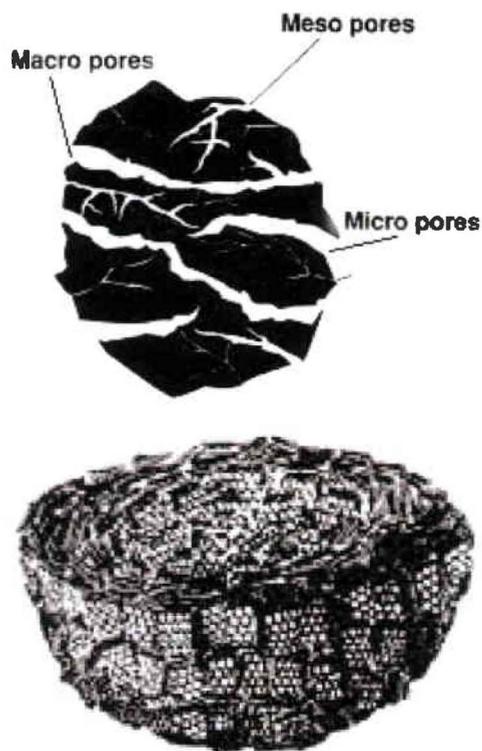
<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbente>.

<sup>40</sup>C. Moreno, ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS AGUAS MEDIANTE ADSORCIÓN EN MATERIALES DE CARBÓN, Universidad de Granada España, departamento de ciencias, 2004, p. 53.

<sup>41</sup>Nordic Water S.A., 2001, URL: <http://nordicwatersa.com/activatedcarbon/properties.htm>.

Para F. Rodríguez los poros tienen una estructura ramificada donde los microporos (tamaño menor a 2 nm), mesoporos (tamaño entre 2 y 50 nm) y macroporos, están conectados<sup>42</sup>.

Gráfico 2.6.2. Tipos de poros dentro de un Carbón Activado Granular



Fuente: Carbotecnia S.A.

<http://www.carbotecnia.info/carbonactivado.html>

Microporos  $r < 1$  nm

Mesoporos  $r$  1-25 nm

Macroporos  $r > 25$  nm

Los macroporos se utilizan como receptor a la entrada del agua, el mesoporos para el transporte y los microporos de adsorción. Una distribución de microporos homogénea sirve principalmente para separación de gases con diferentes dimensiones moleculares, mientras

<sup>42</sup> F. Rodríguez, Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales, El carbón activado como adsorbente en descontaminación ambiental, p.38, 2004.

que un carbón activado con una distribución de microporos amplia, que alcance hasta el intervalo de los mesoporos, es adecuado para el tratamiento de agua, donde hay que adsorber sustancias con diferentes dimensiones moleculares<sup>43</sup>.

#### 2.6.2.1. Principios del proceso.

El tratamiento de agua residual con carbón activado se lo considera como un proceso de acabado del agua ya tratada por un proceso biológico. En este caso, el carbón se lo utiliza para eliminar concentraciones bajas de fenol, materia orgánica residual disuelta y según el medio con el que este en contacto el carbón, también puede eliminar material particulado.

Se utiliza una columna como medio de contacto del agua residual con el carbón granular. En esta columna solo es activa una parte, la zona de transferencia de materia, cuya longitud depende de la velocidad de flujo a través del adsorbente. Llega un momento o punto de rotura donde el adsorbente pierde su eficacia y deberá ser regenerado<sup>44</sup>. Una columna típica está representada en la figura 2.6.2.1

El agua se introduce por la parte superior de la columna y sale por la parte inferior. El carbón se mantiene en su lugar por medio de una rejilla en forma de campana en el fondo de la columna como se puede observar en el anexo 8, más un lecho de grava de 2 a 4 cm de diámetro que permita el sostén del carbón en polvo o granular. Funciona con un lavado en superficie y un retro

---

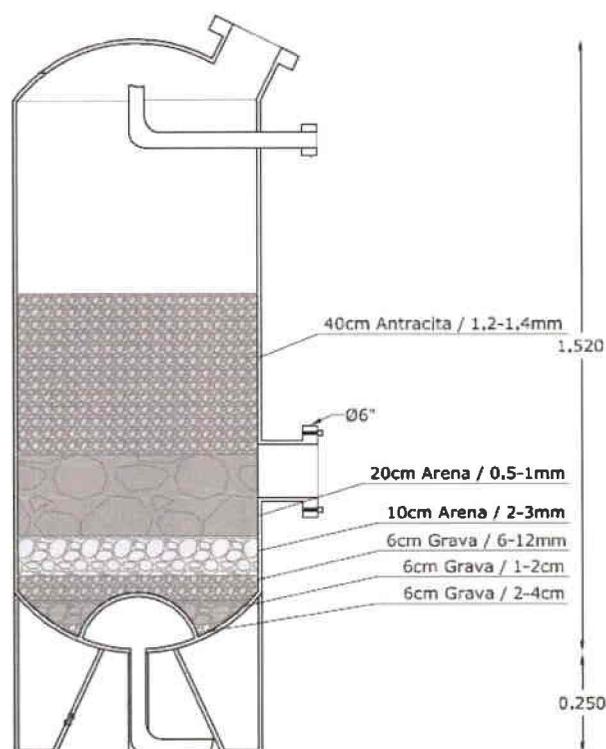
<sup>43</sup> Ibid, p.39, 2004.

<sup>44</sup> M. Seoáñez, Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo, Ediciones Mundi- prensa, p. 244. 2004.

lavado para purgar las partículas retenidas y evitar la saturación del filtro alargando así su vida útil<sup>45</sup>.

Gráfico 2.6.2.1.

Columna para filtro multimedia y carbón activo



Fuente: Autor Humberto Re

### 2.6.3. Filtros multimedia

La función de un filtro multimedia es la de remover contaminantes del agua de tipo sólidos en suspensión como sedimentos y partículas en suspensión.

De igual manera al carbón activado este filtro funciona en una columna donde las capas de material filtrante se colocan de tal forma que el material de la parte superior atrapa las partículas de mayor tamaño, la

<sup>45</sup> METCAF-EDDY, INC., "Tratamiento y Depuración de las aguas residuales", Laboe, Barcelona, 1<sup>era</sup> Edición Española, 1977, p. 367.

siguiente capa hacia abajo atrapa las de mediano tamaño y la inferior retiene las de menor tamaño, llegando a retener partículas de hasta 15 micras. Estas partículas pueden ser tierra, óxidos de hierro, residuos orgánicos vegetales o animales, precipitados inorgánicos, etc.

Los materiales que forman el lecho están seleccionados de tal manera que los materiales más finos están en la parte superior sostenida por materiales de mayor tamaño en las capas inferiores para evitar que el lecho fino salga con el efluente. Los materiales comúnmente utilizados en una columna multimedia desde la parte inferior son: grava de 2-4 cm, grava de 1-2 cm, grava de 6-12 mm, arena de 2-3 mm, arena de 0,5-1 mm y antracita de 1,2-1,4 mm.

El principal actor en un filtro multimedia es la antracita, seleccionada específicamente de minas profundas que tienen el porcentaje más alto de carbono. La antracita es el mineral de carbón que tiene la mayor cantidad de carbón puro, supera fácilmente el 90%, tiene un poder calórico de entre 23 y 33 MJ/Kgy tiene su origen en el proceso denominado carbonificación que no es otra cosa que la transformación de los materiales orgánicos por migración paulatina a temperaturas moderadas y alta presión en turbas y carbones, gracias a la deshidrogenación incompleta<sup>46</sup>.

La principal aplicación de este es para filtración de agua potable para remoción de turbiedad debido a su capacidad de retener sólidos, óxido de hierro y manganeso, también para utilizar en calderos, torres de enfriamiento, lavado de maquinaria, servicios alimenticios y por último en sistemas de tratamiento terciarios de aguas residuales para la remoción de sólidos totales, reducción de demandas de oxígeno y bajo contenido de materias coloides<sup>47</sup>.

---

<sup>46</sup> Fay, Erick 2008, artículos científicos, <http://www.articuloz.com/propiedad-inmobiliaria-articulos/antracita-488150.html>

<sup>47</sup> Ospina Eduardo, Filtros de arena y carbón activo, manual de Ingeniería de la empresa EDOSPINA, Colombia 1991.

## 2.7. Reutilización de Aguas Residuales.

La reutilización de aguas residuales sirve para proporcionar medidas eficaces y económicas, a la vez que proteger la salud pública y el medio ambiente.

En Ecuador no contamos con una legislación que regule los parámetros físicos, químicos y biológicos para poder reutilizar un agua residual por lo que según el decreto Real 2003 establecido en España, da unos valores y las actividades para las cuales se podrían utilizar las aguas tratadas<sup>48</sup>.

Tabla 2.7 Límites recomendados en proyecto de Real Decreto, 2003

Límites recomendados en proyecto de Real Decreto, 2003				
Uso	Calidad microbiológica		Calidad físico-química	
	Huevos de nematodo n°/L	E. Coli (ufc/ 100 ml)	S.Spnd (mg/L)	Turbidez (NTU)
Usos domiciliarios Riego de jardines privados Descarga de aparatos sanitarios. Sistemas de calefacción Refrigeración de aire domésticos Lavado de vehículos	< 1	0	< 10	< 2
Usos y servicios urbanos Riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, parques públicos) Limpieza de calles Sistemas contra incendios Fuentes y láminas ornamentales	< 1	< 200	< 20	< 5
Cultivos de invernadero	< 1	< 200	< 20	< 5
Riego de cultivos para el consumo en crudo Frutales regados por aspersión	< 1	< 200	< 20	< 5
Riego de pastos para consumo de animales productores de carne o leche	< 1	< 1000	< 35	Sin Límite

Fuente: M. D. Hidalgo, Recomendaciones generales de la Directiva Marco del Agua y legislación vigente en España

<sup>48</sup> M. D. Hidalgo, M. Gómez y R. Irusta, Reutilización de aguas residuales, Recomendaciones generales de la Directiva Marco del Agua y legislación vigente en España, 2000.

Con esta guía se puede destinar el uso del agua tratada según los valores de los parámetros físico-químicos y biológicos que se obtengan del tratamiento a las aguas residuales.

Según el Instituto tecnológico textil AIETEX se puede llegar a distintas calidades de aguas para su reutilización. Todo depende del tratamiento utilizado se podrán llegar a los siguientes parámetros físico-químicos<sup>49</sup>:

Mediante un tratamiento físico-químico con la eliminación de color por la adición de productos químicos y separación de sólidos con flotación o sedimentación, filtración con arenas, membranas de ultrafiltración, carbón activado y membranas de nanofiltración, se puede llegar a una calidad de:

*Tabla de 2.7.1 Calidad de Agua 1*

<b>Calidad de Agua 1</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
pH	6,85
Turbidez (NTU)	< 0,05
DQO (mg/l)	21
S.Suspendidos (mg/l)	< 1
Color (Pt-co)	25
Dureza	9

*Fuente: Instituto Tecnológico*

*Textil AIETEX, Calidad de Agua 1*

Con estos valores se puede utilizar el agua para procesos de tintura de fibras de algodón y poliéster.

Por medio a un tratamiento físico-químico con la eliminación de color por la adición de productos químicos y separación de sólidos con flotación o sedimentación, filtración con arenas y membranas de ultrafiltración, se puede llegar a una calidad media de:

<sup>49</sup> Instituto Tecnológico Textil AIETEX, Reutilización y Reciclaje de las aguas residuales depuradas en los procesos productivos de las empresas textiles, 1996.

Tabla de 2.7.2 Calidad de Agua 2

Calidad de Agua 2	
Parámetros	Valores
pH	7,86
Turbidez (NTU)	< 0,05
DQO (mg/l)	50
S.Suspendidos (mg/l)	2
Color (Pt-co)	80
Dureza	38

Fuente: Instituto Tecnológico

Textil AIETEX, Calidad de Agua 2

Con estos valores se puede utilizar el agua para procesos de preparación como: desencolado, descrudado, mercerizado, carbonizado y blanqueo. Así como agua para primeros lavados de tinturado.

Por medio a un tratamiento físico-químico con la eliminación de color por la adición de productos químicos y separación de sólidos con flotación o sedimentación y filtración con arenas, se puede llegar a una calidad media de:

Tabla de 2.7.3 Calidad de Agua 3

Calidad de Agua 3	
Parámetros	Valores
pH	7,9
Turbidez (NTU)	30
DQO (mg/l)	140
S.Suspendidos (mg/l)	50
Color (Pt-co)	90
Dureza	38

Fuente: Instituto Tecnológico

Textil AIETEX, Calidad de Agua 3

Con estos valores se puede utilizar el agua para lavar máquinas y moldes.

La presente tesis buscará llegar a la calidad de agua 1 o 2 para poder reciclarla (dar el mismo uso que tenía antes de ser contaminada) o reutilizarla (dar un uso diferente al que tenía antes de ser contaminada). Estos datos obtenidos de AIETEX son utilizados de manera orientativa para comparar con los resultados obtenidos del presente estudio.

## Capítulo III

### Características del área de Estudio

#### **LINEA BASE y DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL SOBRE EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TEJIDOS *PINTEX S.A.***

Los vertidos industriales, debido a su gran diversidad, necesitan una investigación propia de cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamientos específicos.

Pueden citarse algunos factores principales que la contaminación industrial tiene en común con la contaminación de origen urbano, pero las vías de depuración, normalmente, deben definirse industria por industria.

En este caso provenientes de una industria textil, cuyos procesos productivos llevan una gran variedad de productos químicos y colorantes que constituyen los principales contaminantes del agua.

Actualmente en TEJIDOS *PINTEX S.A.* funciona la planta de tratamiento de aguas residuales que consta con un sistema de pretratamiento, un sistema de tratamiento secundario con lodos activados, remoción de sólidos mediante una sedimentación y un tratamiento terciario de coagulación y floculación. Siendo el fin de esta tesis completar el tratamiento terciario de aguas residuales incorporando un sistema de adsorción por carbón activado o filtro multimedia, de los cuales se escogerá el que mejor resultados produzca para la mejora en la calidad del agua que es descargada actualmente al alcantarillado.

#### **3.1. Tratamiento previo o pretratamiento.**

Se utiliza para eliminar grasas, espuma del agua residual, sólidos suspendidos mediante procesos físicos y/o mecánicos como rejillas, desarenadores y trampas de grasa que permitan la retención y remoción de material extraño que pueda interferir en los siguientes procesos de tratamiento.

En el caso de TEJIDOS *PINTEX* S.A. existe un pretratamiento mediante rejillas tipo tamiz como se muestra en la fotografía 3.1, con un espaciamiento de 0,5 mm que permiten la retención de una microfibras y pelusa proveniente del algodón y poliéster. Su retención es parcial porque la dimensión de la fibra es micrométrica.

*Fotografía 3.1 Tamiz removedor de microfibras y pelusa*



*Fuente: Autor H. Re*

### **3.2. Tratamiento Primario**

El objetivo de este tratamiento es básicamente la remoción de sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante un proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación al igual que el uso nuevas técnicas de flotación, donde sólidos se encuentran suspendidos gracias a la aireación y microburbujeo al mismo tiempo que se reduce la DBO.

Generalmente se emplean como paso previo al tratamiento biológico para disminuir la carga en las unidades de tratamiento biológico. Con este tratamiento en teoría según Romero Rojas (1999), Tratamiento de

aguas residuales, p.1093 se logra una remoción de sólidos suspendidos en un 50-65% y de DBO en un 25-40%.

Mientras en TEJIDOS *PINTEX* S.A. no existe un sedimentador ni un tanque de flotación pero como tratamiento primario podemos nombrar al proceso de homogenización, donde después de la separación de sólidos en las rejillas, el agua residual proveniente de distintos puntos de descarga confluye a un solo tanque donde una aireación mecánica debido a un mezclador tritón logra una mezcla homogénea de todas las descargas y la oxidación de algunos contaminantes antes de ingresar al tratamiento biológico tal como se muestran en las fotografías 3.2 y 3.2.1.

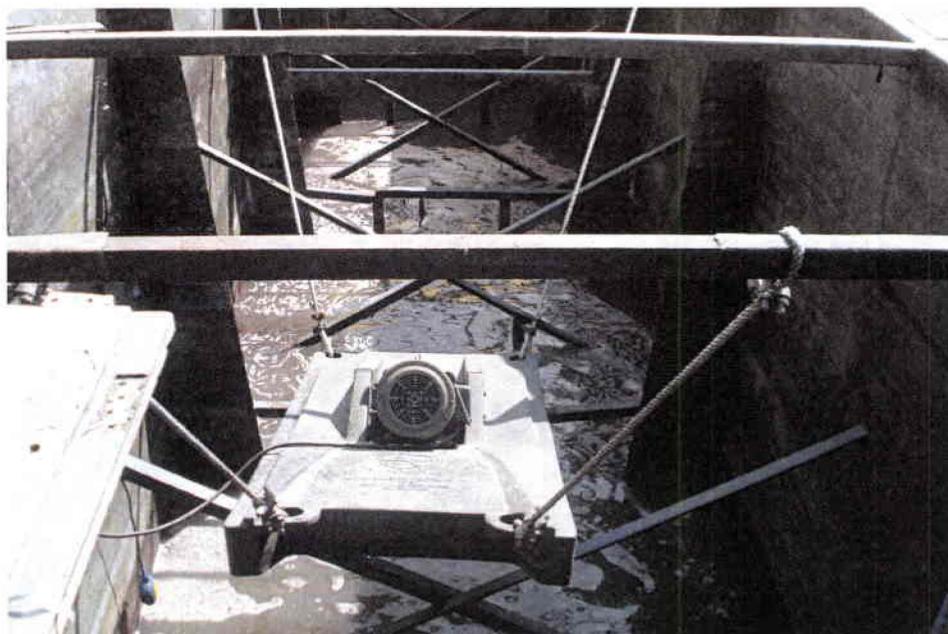
La razón por la cual no existe un sedimentador primario ni un tanque de flotación es debido a que la primera caracterización realizada en Febrero del 2006 para crear el diseño de la planta de tratamiento, donde los resultados mostraron una cantidad de sólidos suspendidos mínima que no causaría inconveniente alguno para los próximos procesos de tratamiento.

*Fotografía 3.2 Tanque homogenizador.*



*Fuente: Autor H. Re*

Fotografía 3.2.1 Mezclador del tanque homogenizador.



Fuente: Autor H. Re

### 3.3. Tratamiento Secundario

Los procesos biológicos o secundarios, se emplean para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual en floc-biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación. Estos procesos se emplean junto con procesos químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual.

El objeto de un tratamiento secundario es remover la DBO soluble que escapa de un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos. Estas remociones se efectúan fundamentalmente por medio de procesos biológicos<sup>50</sup>.

Un proceso biológico es eficiente para remover sustancias de tamaño coloidal o inferior. Un tratamiento secundario típico elimina

<sup>50</sup> ROMERO ROJAS, J.A Tratamiento de Aguas Residuales, editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 1098

aproximadamente el 85% de la DBO y de sólidos suspendidos, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fosforo, metales pesados ni organismos patógenos.

El tratamiento biológico puede realizarse aeróbicamente o anaeróbicamente. En el primero se necesita la presencia de oxígeno para la actividad de los microorganismos que convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y nuevas células. En el proceso anaeróbico, los microorganismos producen metano y dióxido de carbono. En ambos procesos la materia viva y ciertos compuestos producto del metabolismo de los microorganismos se depositan en el fondo del recipiente formando un lodo. Las reacciones bioquímicas producidas por la actividad de los microorganismos, dependen de muchos factores como: contenido de materia orgánica, cantidad de oxígeno, presencia de nutrientes, temperatura, pH, contenido de sustancias tóxicas, cantidad de luz, etc.

*Fotografía 3.3 Reactor Biológico aerobio.*



*Fuente: Autor H. Re*

Existen muchas formas de llevar a cabo un tratamiento secundario y los métodos empleados varían de acuerdo a las condiciones y características de las aguas así como de la capacidad económica disponible.

### **3.4. Fangos Activados**

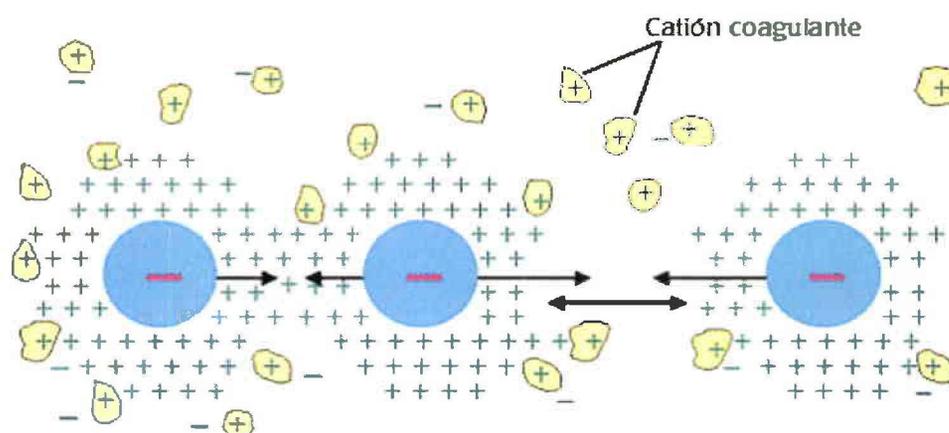
El tratamiento secundario más usado es el proceso de fangos activados o también conocido como lodos activados, el cual está implementado en TEJIDOS *PINTEX* S.A. utilizando microorganismos, en este caso bacterias tipo *Pseudomona sp*, encargadas de la degradación de materia orgánica para luego transformarla en materia mineral.

Ésta bacteria se encuentra suspendida por acción mecánica en un reactor biológico o tanque de aireación donde se acondiciona artificialmente pH, temperatura, cantidad de oxígeno disuelto en el medio para que los microorganismos actúen con todo su potencial degradante de materia orgánica.

Este sistema va acompañado de una sedimentación para la separación del licor mixto (mezcla entre el sustrato y el floc-bacteriano), donde el floc-bacteriano por su propio peso y gracias a la fuerza de gravedad se asienta en el fondo y es recirculado nuevamente al reactor biológico mediante bombas y así mantener una masa bacteriana constante que trabaje eficientemente según su tiempo de retención celular o comúnmente conocido como tiempo de vida del microorganismo.



Grafico 3.5 Acción del coagulante en el agua residual



Fuente: Imágenes Google, coagulación floculación

Después del tratamiento secundario en la planta de tratamiento de aguas en TEJIDOS *PINTEX* S.A. existe un tratamiento de coagulación y sedimentación donde usamos como coagulante al sulfato de aluminio debido a su gran efectividad, donde en un sedimentador con floculadores verticales se mezcla suavemente haciendo efecto formando agregados o flocs que sedimentan dejando un efluente clarificado que es descargado directamente al alcantarillado cumpliendo la norma técnica de la ordenanza municipal 146.

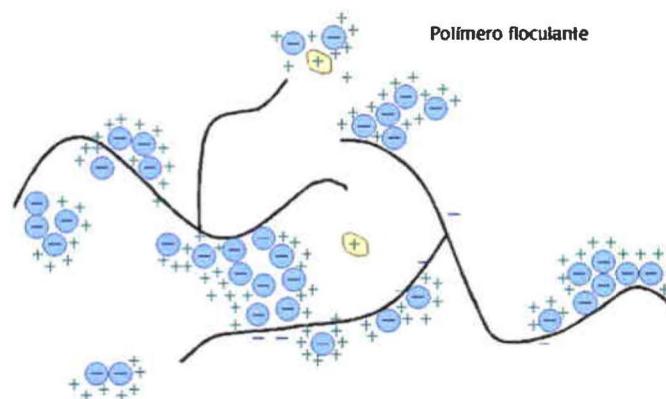
### 3.6. Floculación

Luego de que el coagulante ha sido añadido y se ha difundido, las pequeñas partículas coaguladas son puestas en contacto unas con otras, mediante agitación lenta y prolongada.

Hay que diferenciar claramente entre lo que es coagulación y floculación. La primera es la aglomeración de partículas coloidales por fuerzas fisicoquímicas. Este proceso ocurre inmediatamente al aplicar el coagulante, por esto, se necesita una mezcla intensa para asegurar una distribución uniforme del producto químico y el contacto de las partículas finas con el agente coagulante.

La floculación hace referencia al crecimiento por aglomeración de las partículas coaguladas en partículas floculadas como se muestra en el gráfico 3.6. La floculación puede ser en parte un mecanismo de formación de puentes de enlace que puede incrementarse por el uso de polielectrolitos, la floculación es lenta y requiere un mayor tiempo de contacto<sup>52</sup>.

Gráfico 3.6 Proceso de floculación.



Fuente: Imágenes Google, coagulación floculación.

En TEJIDOS PINTEX S.A. existe un tanque con floculadores verticales que permite una mezcla completa entre el coagulante sulfato de aluminio y el efluente. Mediante sedimentación se obtiene un clarificado apto para descargar en el alcantarillado.

### 3.7. Sedimentación

Proceso mediante el cual todas las partículas suspendidas que tienen un peso mayor al del agua se asientan en el fondo de un recipiente (sedimentador) por efecto de la gravedad como se muestra en la fotografía 3.7. Esta operación permite separar los flocúlos del agua clarificada en el tratamiento de las aguas residuales textiles. Es por ello que existe un sedimentador secundario después del tratamiento de lodos activados, donde el floc bacteriano por tener mayor peso se

<sup>52</sup> Arboleda, J. Diseño y control de los procesos de clarificación del agua, centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, Lima, 1977, p 183-185

deposita en el fondo del sedimentador (fotografía 3.7.1), obteniendo un clarificado que posteriormente será tratado con coagulantes, floculantes y oxidantes.

Se debe tener en cuenta que lo sedimentado es un lodo que debe ser manejado de manera técnica y que debe ser tratado con facilidad mientras que para lodos activados estos lodos serán recirculados al tanque de aireación nuevamente hasta que necesiten ser purgados.

*Fotografía 3.7*

*Sedimentación del floc bacteriano*



*Fuente: Autor H. Re,*

*Fotografía 3.7.1 Sedimentador secundario*



*Fuente: Autor H. Re*

### 3.8. Resultados de las caracterizaciones de la Planta o Estación de tratamiento de aguas residuales de Tejidos Pintex S.A.

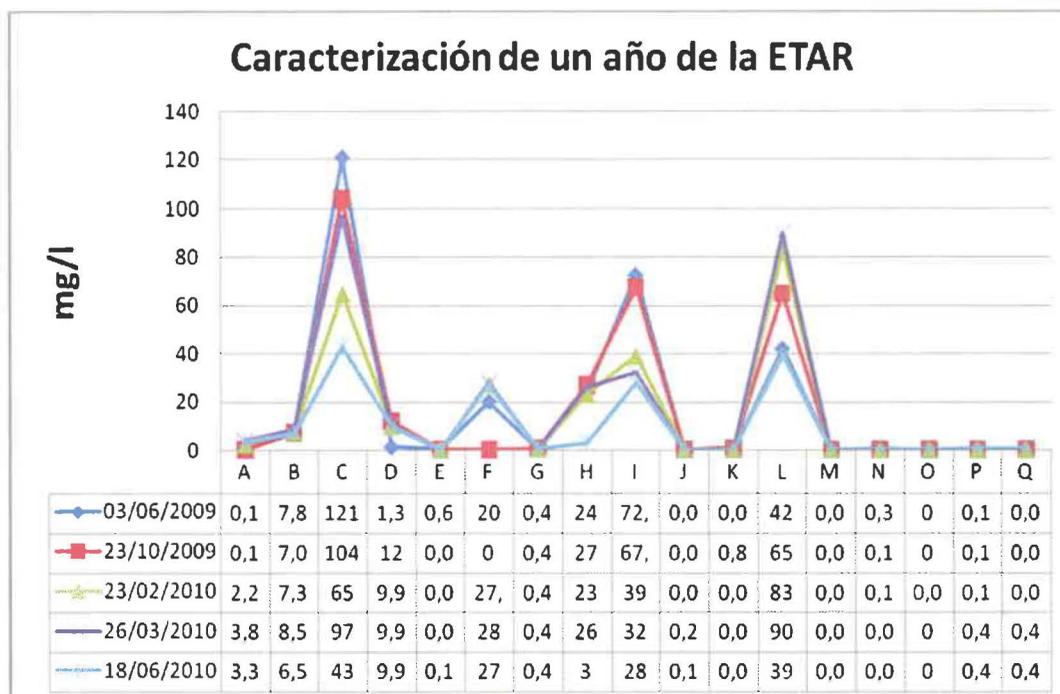
En la tabla 3.8 se pueden observar las caracterizaciones realizadas desde Junio del 2009 hasta junio del 2010 para tener una idea clara del resultado del tratamiento biológico y físico-químico de la Planta de tratamiento de esta empresa en el transcurso de un año.

Tabla 3.8 Caracterizaciones físico-químicas de un año de tratamiento.

Tipo de toma de muestra			Puntual				
Fecha de toma			03/06/2009	23/10/2009	23/02/2010	26/03/2010	18/06/2010
Fecha de entrega			09/06/2009	27/10/2009	02/03/2010	05/04/2010	24/06/2010
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Planta Biológica				
Caudal	l/s	4,5	0,1	0,1	2,22	3,84	3,34
pH	pH	5--9	7,8	7,05	7,38	8,56	6,51
DQO	mg/l	348	121	104	65	97	43
Aceites y grasas	mg/l	100	1,3	12	9,9	9,9	9,9
Detergentes	mg/l	0,5	0,65	0,08	0,064	0,067	0,12
Temperatura	°C	< 40	20	.....	27,2	28	27
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Sólidos Suspendidos	mg/l	116	24	27	23	26	3
DBO <sub>5</sub>	mg/l	146	72,6	67,6	39	32	28
Cadmio	mg/l	0,02	0,019	0,019	0,019	0,2	0,1026
Cobre	mg/l	1	0,019	0,8	0,04	0,02	0,01
Color	Pt-Co	---	42	65	83	90	39
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05
Zinc	mg/l	2	0,38	0,18	0,12	0,04	0,06
Mercurio	mg/l	0,01	0,0005	0,0005	0,005	0,0005	0,0005
Níquel	mg/l	2	0,1	0,1	0,1	0,45	0,45
Plomo	mg/l	0,5	0,09	0,09	0,09	0,45	0,45

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

Gráfica 3.8 Caracterización de un año de la ETAR.



Fuente: Autor H. Re, Gráfica con los datos de la tabla 3.8.

Donde:

A: Caudal	E: Detergentes	I: DBO <sub>5</sub>	M: Cromo 6+	Q: Plomo
B: pH	F: Temperatura	J: Cadmio	N: Zinc	
C: DQO	G: Sólidos Sedimentables	K: Cobre	O: Mercurio	
D: Aceites y grasas	H: Sólidos Suspendidos	L: Color	P: Níquel	

Se puede decir que en el transcurso del año existe una visible mejora del tratamiento debido a la adaptación y evolución de los microorganismos al sustrato (agua cruda), y al aumento en la dosificación de coagulantes y oxidantes para reducir la carga contaminante. También gracias a la eliminación de ciertos productos químicos que no son biodegradables.

Se puede ver que desde junio del 2009 al Junio del 2010 existe una disminución de la DQO en un 64,46 %, de la DBO<sub>5</sub> en 61,43 %, S. Suspendidos en un 87,5 %, detergentes en 81,53 % y color de un 40 a

50 %. Esto se debe a que desde esta fecha entran en vigencia los nuevos valores en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y sólidos suspendidos, los cuales son más exigentes y han obligado a aumentar la masa biológica y la dosificación físico-química de coagulantes y oxidantes para mejorar la calidad del agua y así obtener los resultados que se muestran en la tabla 3.8.

## Capítulo IV

### FASE EXPERIMENTAL

#### METODOLOGIAS DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE PARA SU REUTILIZACION

##### 4.1. Pruebas con tratamientos Terciarios.

Para la elección de un tratamiento terciario efectivo que permita dar un tratamiento final avanzado al agua residual es necesario comparar mediante caracterizaciones los resultados obtenidos de cada tratamiento. En este trabajo de tesis se sometieron a prueba dos tratamientos, en primer lugar con un filtro multimedia con arenas de distinta granulometría y posteriormente con un filtro de carbón activo. Ambos operaron con un efluente en condiciones de presión, temperatura, pH y caudal iguales para que los resultados fisicoquímicos de las caracterizaciones sean comparables y se pueda demostrar cuál de estos tratamientos es el más eficaz para mejorar la calidad del agua residual.

Se busca llegar a una calidad de agua cercana, igual o mejor a la proveniente de pozo que es utilizada para todos los procesos industriales de TEJIDOS PİNTEX S.A y así poder reutilizarla o reciclarla después de realizar las pruebas con las columnas de carbón activo y filtros de arena multimedia.

##### 4.2. Diseño de la columna

El filtro o columna diseñada para este proyecto de tesis consiste en una lámina rolada de acero al carbón tipo A-36 (es soldable), con tuberías de PVC roscables, medidores de presión a la entrada y salida del filtro y una bomba de 3hp monofásica. Todos estos cubiertos por tres capas de pintura epóxica anticorrosiva tanto en el interior como exterior, trabaja a una temperatura de diseño de 50 °C. En la tabla 4.2 se describe los materiales utilizados en la columna.

Tabla 4.2 Materiales utilizados en la construcción del filtro

<b>Protección interior</b>	Pintura epóxica anticorrosiva
<b>Protección exterior</b>	Pintura epóxica anticorrosiva
<b>Cuerpo</b>	A-36 (acero al carbón)
<b>Cabezas</b>	A-36 (acero al carbón)
<b>Soportes</b>	A-36 (acero al carbón)
<b>Bridas</b>	A-105
<b>Tuberías</b>	PVC roscable.
<b>Pernos &amp; Tuercas</b>	A-193B7 / A-294 2H
<b>Internos</b>	A-36
<b>Temperatura de diseño</b>	50 °C
<b>Temperatura operación</b>	25-28 °C
<b>Presión de diseño</b>	80 PSI
<b>Presión de operación</b>	20-30 PSI

Fuente: Autor H. Re

Tabla 4.2.1 Peso en kilogramos aproximado de los filtros.

Peso en Kg			
Peso del Tanque	Peso materiales filtrantes F.C.A.	Peso materiales filtrantes F.M.	Peso del agua
150	175,2	213,74	187
<b>Peso Total F.C.A</b>		<b>Peso Total F.M.</b>	
512,2		550,74	

Fuente: Autor H. Re

La columna utilizada fue la misma tanto para el filtro de carbón activo como para el filtro de arena multimedia. Tiene un área de 0,292 m<sup>2</sup> con un diámetro de 0,61 m y una altura del cilindro de 1,52 m como se muestra en la tabla 4.2.2 y en las fotografías del Anexo 1.

Tabla 4.2.2 Valores de diseño para la columna de carbón activado y filtro multimedia.

Dimensiones en metros (D*H)	Área del Tanque en m <sup>2</sup>	Volumen del Tanque en m <sup>3</sup>	Volumen del material filtrante en m <sup>3</sup>	Flujo de Servicio			
				Excelente LPS	Normal LPS	Pico LPS	Retrolavado LPS
0,61*1,52	0,292	0,44384	0,263	0,472	0,707	0,945	0,0707

Fuente: Autor H. Re

El efluente tratado tiene un caudal de 5 litros por segundo (l/s) que son enviados al servicio público. Para este trabajo de tesis se utilizó la sexta parte del mismo, es decir 0,845 l/s, ya que se trata de un trabajo experimental que tiene por objetivo dar un tratamiento eficiente al efluente que permita mejorar la calidad del agua residual para su reutilización, logrando un beneficio a la empresa y al medio ambiente.

El diseño de una columna de carbón activado o filtro de arena multimedia se basa en el flujo o caudal a ser tratado. En este caso se tiene un caudal de 5 l/s que es el que actualmente maneja la planta de tratamiento de aguas residuales de TEJIDOS PINTEX S.A. a partir de este flujo se realizan los siguientes cálculos:

$$Q = 5 \text{ l/s} = 18 \text{ m}^3/\text{h} = 432 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$K_{cte} = 250 \text{ m/día}$$

$$\text{Área del filtro} = \frac{Q}{K}$$

$$A = 1,728 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

$$D = 1,48 \text{ m}$$

El área de 1,728 m<sup>2</sup> es la necesaria para el diseño de una columna con 1,48 m de diámetro que llega a tratar los 5 l/s que se descargan en la planta de tratamiento de aguas residuales. Debido a la magnitud de la

columna y a que se trata de un trabajo experimental se diseñó un filtro que trate la sexta parte del flujo y por tanto la sexta parte del área, es decir, 0,845 l/s y 0,292 m<sup>2</sup> de área.

#### 4.2.1. Columna de carbón activado

La columna de carbón activado debe tener un lecho útil de 90 cm, donde 40 cm corresponden al carbón granular de malla 8x30 que permite una excelente adsorción del material particulado, una retención parcial del color y una reducción de materia orgánica disuelta en el agua residual.

Es necesario un material pétreo de soporte por debajo del carbón activado que impida que este sea arrastrado por la fuerza de la bomba de 3hp por lo que se colocan 10 cm de altura de la grava de 6-12 mm de granulometría sobre la rejilla de campana en la base del cilindro como se muestre en el Anexo 2, encima de esta van 10 cm de otra gravilla de 3-6 mm, luego van 10 cm de arena de 2-3 mm, después van 20 cm de arena de 0,5-1 mm y por último 40 cm de carbón activado. Sumando una altura total de 90 cm de lecho que es la ideal para que el material filtrante no se levante el momento de realizar el retrolavado y que no salga al momento de pasar por el filtro debido a la potencia de la bomba.

El carbón activado marca NORIT 830, Anexo 3, procedente de Estados Unidos utilizado en la columna tiene las siguientes características<sup>53</sup>:

*Tabla 4.2.1 Características del Carbón Activado NORIT 830.*

<b>Numero de yodo (cantidad de poros pequeños) en mg/g</b>	<b>920 min</b>
<b>Numero de Melaza (cantidad de poros grandes)</b>	210 min
<b>Numero de Abrasión</b>	
<b>(Resistencia de las partículas en degradarse)</b>	<b>75 min</b>

<sup>53</sup>Obtenido de la pág web, [http://www.norit-americas.com/pdf/GAC830\\_rev6.pdf](http://www.norit-americas.com/pdf/GAC830_rev6.pdf). descargado 12/05/2010.

<b>Humedad %</b>	2 máx.
<b>Tamaño de malla</b>	
<b>Más de 80 (2,36 mm)</b>	8 máx.
<b>Menos de 30 (0,6 mm)</b>	4 máx
<b>Densidad aparente kg/m<sup>3</sup></b>	450

Fuente: WATECH Proveedor de materiales filtrantes

La obtención de las alturas de las arenas y las gravas es en base a los 90 cm útiles de lecho que debe tener la columna para operar óptimamente. Los siguientes cálculos muestran la cantidad necesaria en Kg de cada material según la densidad aparente ( $\rho$ ) de cada uno de los mismos. Aproximadamente para las arenas y gravas la densidad es de 1400 kg/m<sup>3</sup>, variando levemente según su granulometría por lo que se utilizará para los cuatro primeros lechos ésta densidad aparente.

$$\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,292 \text{ m}^2$$

$$H = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho \times A \times H = 40,88 \text{ kg} \quad 40\text{kg aproximado}$$

Donde:

$\rho$  = densidad aparente de las gravas

A = área de la columna

H = altura de las gravas en la columna

Estos 40,88 kg es la cantidad en peso necesaria para llenar la columna con los tres primeros tipos de gravas de 6-12 mm, 3-6 mm y 2-3 mm, que corresponde cada uno a 10 cm de altura.

$$\rho \times A \times H = 81,76 \text{ kg} \quad 80\text{kg aproximado}$$

Para el lecho de arena de 0,5-1 mm de granulometría se necesitaran 81,76 kg de arena para llenar los 20 cm de altura (H) requeridos.

Con carbón activado la densidad aparente disminuye a  $450 \text{ kg/m}^3$  por tanto:

$$\rho = 450 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,292 \text{ m}^2$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$\rho \times A \times H = 52,56 \text{ kg} \quad 50\text{kg aproximado}$$

Donde:

$\rho$  = densidad aparente del carbón activo

$A$  = área de la columna

$H$  = altura del carbón activo en la columna

Con estos 52,56 kg lograremos llenar la columna con 40 cm de altura que es lo que se busca para completar los 90 cm de material filtrante para el funcionamiento óptimo del filtro o columna de carbón activado.

#### 4.2.2. Columna de filtro multimedia

Para el filtro multimedia se utilizó la misma columna de carbón activo. Se realizó el cambio de carbón activo por antracita de 1,2-1,4 mm de granulometría. Siendo el sostén de ésta las gravas y arenas con 6-12 mm de granulometría sobre la rejilla de campana en la base del cilindro, encima de esta van 10 cm de otra gravilla de 3-6 mm, luego van 10 cm de arena de 2-3 mm, después van 20 cm de arena de 0,5-1 mm y por último 40 cm de antracita de 1,2-1,4 mm<sup>54</sup>. Sumando una altura total de 90 cm de lecho que es la ideal para que el material filtrante, en este caso la antracita no se levante el momento de realizar el retrolavado y que no salga al momento de pasar por el filtro debido a la potencia de la bomba.

---

<sup>54</sup> Anexo 1.

Las características de la antracita, arenas y gravas son las siguientes:

Tabla 4.2.2a Características de la Antracita

Antracita	
Tamaño efectivo	0,8-1,2 mm
Coefficiente de uniformidad	< 2,00
Carbono fijo	80% - 95%
Solubilidad en HCL	< 5%
Solubilidad en álcali	< 5%
Dureza (mohr)	>3 y <4
Peso Específico	> 1,40
Densidad Aparente	0,77 a 0,80 g/ml

Fuente: WATECH

Proveedor de materiales filtrantes

Tabla 4.2.2b Características de Arenas y Gravas

Arenas y Gravas	
Tamaño efectivo arenas	0,30-0,60 mm 0,7-1,00 mm
Coefficiente de uniformidad	< 2,00
Solubilidad en HCL	< 5 %
Solubilidad en álcali	< 5 %
Dureza (mohr)	> 6
Peso Específico	> = 2,5
Densidad Aparente	1,25 – 1,3 g/ml
Contenido de SiO <sub>2</sub>	> 80 %
Tamaño gravas	1,9 - 3,8 cm 1,2 – 1,9 cm 0,6 – 1,2 cm 0,3 – 0,6 cm 0,2 – 0,4 cm

Fuente: WATECH

Proveedor de materiales filtrantes

La antracita de 1,2-1,4 mm posee una densidad aparente de 780 kg/m<sup>3</sup>. Con esta se llega a calcular los kilogramos necesarios para tener un lecho de 40 cm de altura en la columna según los siguientes cálculos:

$$\rho = 780 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,292 \text{ m}^2$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$\rho \times A \times H = 91,1 \text{ kg} \quad 90\text{Kg aproximado}$$

Donde:

$\rho$  = densidad aparente de la antracita

$A$  = área de la columna

$H$  = altura de la antracita en la columna

#### **4.3. Diferencias entre las columnas de carbón activado y filtro multimedia**

Existen algunas diferencias técnicas entre un filtro de carbón activado y un filtro de arena multimedia. La principal es que en el uno el principal actor es el carbón activo y en el otro es la antracita que posee características físicas y químicas diferentes como ya se describió en el capítulo anterior.

El uso de ambos tratamientos terciarios por separado es menos efectivo que usar ambos al mismo tiempo. Es decir que para la obtención de una calidad de agua potable, es necesario el uso de estos dos tratamientos. Primero el filtro de arena para remoción de sólidos, siguiendo de un filtro de carbón activo que permita la adsorción del color, detergentes, cloro residual y olor del agua residual.

#### **4.4. Instalación del filtro**

Se seleccionó un lugar de fácil acceso para la instalación y servicio del filtro<sup>55</sup>. El equipo fue instalado en una superficie plana que pueda soportar su peso. Otros factores que fueron considerados son:

---

<sup>55</sup> Anexo 4

localización de la fuente de alimentación eléctrica para la bomba de 3hp, provisión para desechar el agua de retrolavado, la seguridad y protección del equipo y de los operadores.

1. Acople la tubería de ingreso de agua cruda a la válvula check instalada en la entrada del filtro.
2. Acople la tubería de desagüe por donde se enviará el agua resultante de retrolavado, a la tubería de color café de retrolavado del filtro mediante una universal de 1.5".
3. Acople la tubería de color azul correspondiente al agua tratada resultante del proceso de filtración, hacia la tubería de distribución o servicio mediante una universal de 1.5".

#### **4.5. Operación del filtro**

Para la operación correcta del filtro es necesario que el efluente ingrese con un flujo óptimo de 0,5 – 0,7 l/s para la obtención de filtrado excelente y una presión adecuada de 20 - 50 psi<sup>56</sup>. Bajo estas condiciones el filtro opera con la mayor eficiencia y es lo que se busca en este proyecto de tesis para poder obtener una calidad similar al agua de pozo.

El flujo de diseño es de 0,845 l/s pero para sacar una mejor calidad de agua es necesario que el flujo se encuentre en 0,472 o aproximando a 0,5 l/s para que el tiempo de contacto sea mayor y así obtener la calidad necesaria para reutilizarla. Esto se logra mediante un by-pass que desvíe el flujo de 0,345 hasta obtener los 0,5 l/s. Esto ocurre ya que la bomba de 3hp es demasiado potente para el flujo que se requiere.

Cada válvula instalada en el filtro está identificada por un número. Las válvulas deben abrirse o cerrarse de acuerdo a la operación deseada.

---

<sup>56</sup> Ospina Eduardo, Filtros de arena y carbón activo, manual de Ingeniería de la empresa EDOSPINA, Colombia 1991.

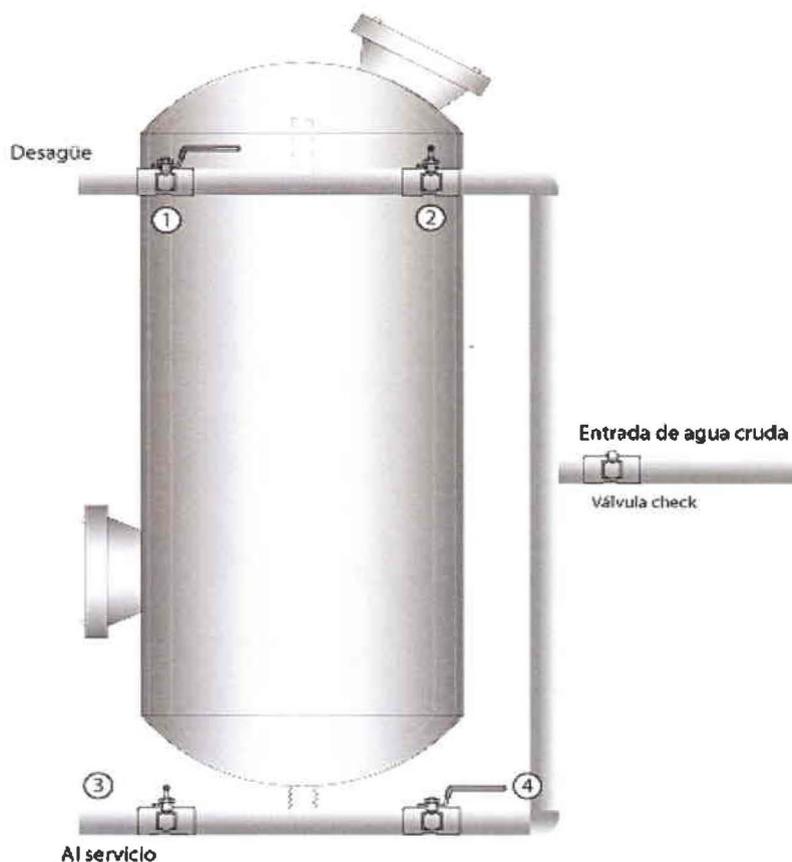
En la tabla 4.5 podemos observar la acción a tomar y la posición de las válvulas según lo deseado.

Tabla 4.5 Acciones para operaciones deseadas.

ACCIÓN	VÁLVULA 1	VÁLVULA 2	VÁLVULA 3	VÁLVULA 4
Servicio	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada
Retrolavado	Abierta	Cerrada	Cerrada	Abierta
By-Pass	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada
Mantenimiento	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada

Fuente: Autor H. Re

Figura 4.5 Numeración de las válvulas en filtro.



Fuente: Imágenes Google, Filtro multimedia

- Para la primera vez que se ponga en marcha el filtro, se deben colocar las válvulas en la posición de retrolavado y se deja ingresar el agua al filtro.
- Dejar correr el agua por 20 o 30 minutos hasta que el sistema esté libre de material particulado extraño como por ejemplo polvo de las arenas y del carbón activo.
- Colocar las válvulas en posición de servicio, abriendo lentamente la válvula # 2 para dejar fluir el agua dentro del tanque.
- Abrir una llave de agua cercana y deje correr hasta que se libere el aire. Ponga nuevamente la válvula en posición de retrolavado durante un minuto y vuelva a repetir el proceso dos veces más. Luego de que se libere todo el aire y se limpie el filtro, el equipo estará operando normalmente.

#### 4.5.1. Servicio

La acción de servicio permite ingresar al filtro agua cruda. El flujo del agua es de arriba y hacia abajo, lo que permite que el agua pase a través del medio filtrante, removiéndose contaminantes del agua de tipo sólidos en suspensión como sedimentos y partículas en suspensión.

#### 4.5.2. Retrolavado

La acción de retrolavado permite ingresar al filtro agua cruda o agua tratada, dependiendo del caso. El flujo del agua es de abajo hacia arriba, lo que permite que el agua pase a través del medio filtrante, removiéndose contaminantes retenidos en el lecho del filtro gracias al flujo de agua. Debido a los tamaños seleccionados de los medios filtrantes, una vez que el retrolavado finaliza éstos vuelven a su posición normal.

Es importante tener una velocidad de flujo adecuada, lo que depende del diámetro del tanque, como se indica en la tabla del numeral II. La forma más común y sencilla de ajustar el flujo del retrolavado es poner manualmente el filtro en retrolavado con la válvula número 4 totalmente cerrada. Abrir lentamente la válvula hasta que una pequeña cantidad de arena aparezca en la descarga de retrolavado. Se puede colocar una bolsa de nylon o una rejilla de malla fina sobre la tubería de descarga para revisar la presencia de arena. Si esto no es posible, puede usarse como alternativa un recipiente de observación. Es conveniente que se descargue una pequeña cantidad de arena durante el retrolavado. Usted debe esperar perder entre 50 a 100 libras de arena cada dos años.

#### 4.5.3. Frecuencia de Retrolavado

La frecuencia del retrolavado depende de las características de los contaminantes presentes en la fuente de agua. Si se ha instalado un medidor de presión diferencial, se deberá hacer el retrolavado cuando este equipo mida una presión de 4 a 6 psi más que cuando el filtro está limpio, aunque es más recomendable iniciar un retrolavado antes de esto. Los sedimentos muy finos, por ejemplo, son capaces de migrar profundamente en la cama de arena, antes de alcanzar una presión diferencial apreciable, y se hacen difíciles de remover. Las algas y otras materias orgánicas tienden con el tiempo a endurecerse, cementando la cama de arena si no es lavada diariamente. Por lo dicho anteriormente es una buena idea lavar los filtros una vez por día. Para cargas más pesadas de contaminantes, quizás cada dos a cuatro horas.

#### 4.5.4. Duración del Retrolavado

La duración del retrolavado depende de las características de los contaminantes y la frecuencia del retrolavado. Un lavado de 5 minutos

de duración debería ser adecuado si los contaminantes capturados son partículas grandes como desprendimiento de óxido, semillas de malezas y hojas que se depositarán en la superficie de la cama de arena. Si los contaminantes son sedimentos muy finos que migran a la cama de arena, la duración del retrolavado depende de la profundidad a la que han migrado, lo que está directamente relacionado a la frecuencia con que se lavan los filtros. En este caso, se recomienda que el retrolavado dure por lo menos 10 minutos, y hasta 15 minutos de ser necesario. Por lo dicho anteriormente es importante que el operador observe periódicamente una secuencia de retrolavado y confirme que la duración del mismo es suficiente para remover todos los contaminantes. El agua de retrolavado debe salir transparente por 15-20 segundos antes de que la válvula pueda cerrarse.

#### 4.5.5. Cambio del medio Filtrante

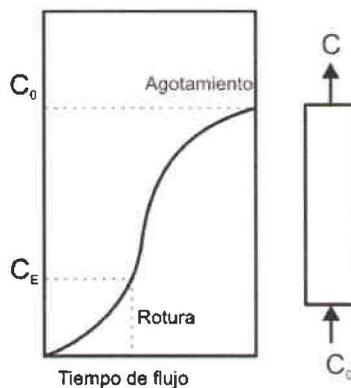
El medio filtrante debe ser cambiado cuando se observe que el filtro requiere retrolavados más seguidos, o cuando el agua filtrada no se clarifica a pesar de realizar retrolavados. Esto ocurre generalmente a los 3 o 4 años de operación según el proveedor del material filtrante, WETECH CIA.LTDA, para el caso del filtro multimedia debido a que las estructuras de las gravas, arenas y antracitas no son tan porosas como el carbón activo y por tanto su tiempo de vida útil es mayor gracias a los retrolavados.

Para el caso del filtro de carbón activado es necesario conocer el punto de quiebre mediante curvas de saturación o curvas de rotura como se muestra en la figura 4.5.5, que se las realiza mediante una gráfica, utilizando por ejemplo la concentración de la DQO (mg/l) en el eje de las ordenadas y al tiempo en horas, días o meses en el eje de las abscisas. Con ello se podrá comparar con el agua sin tratar versus el agua tratada por el carbón en el transcurso del tiempo hasta que ambos tengan la

misma concentración de DQO a pesar de hacer los retrolavados. Esto significará que el carbón activado deberá ser cambiado o regenerado. Lo mismo se puede hacer con el parámetro de color, sólidos suspendidos, entre otros.

Gráfico 4.5.5

Curva típica de rotura



Fuente: Pág Web

[www.Textoscientificos.com](http://www.Textoscientificos.com)

Para el caso de este proyecto fue imposible realizar la curva con valores de concentraciones de DQO o  $DBO_5$  debido a que existe una sola caracterización del agua tratada por carbón activado, pero mediante el control diario de turbiedad que se realizó desde el inicio del funcionamiento del filtro de carbón activo se puede observar y determinar el tiempo de vida útil del mismo.

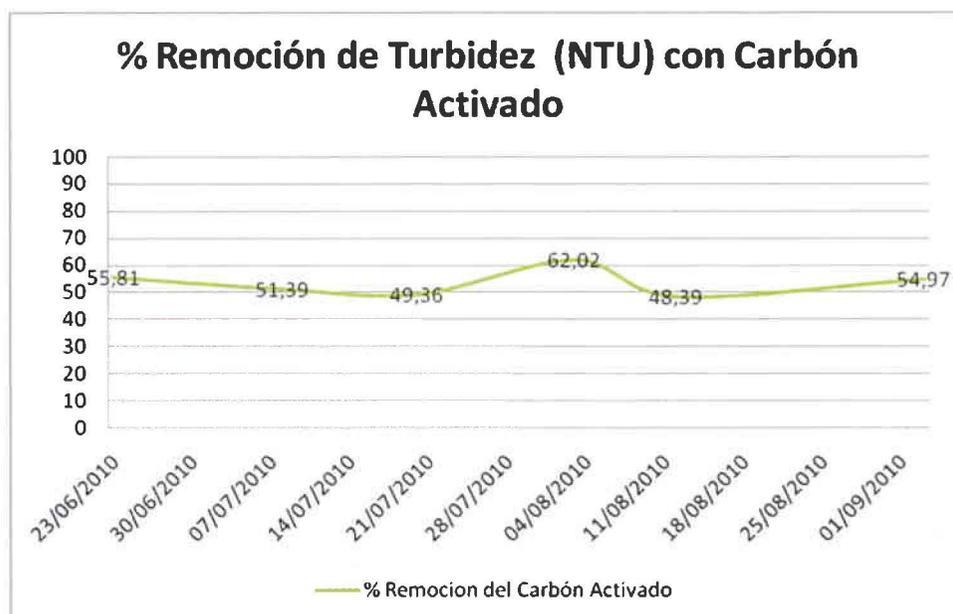
Tomando a los valores de Turbiedad en NTU (unidades de turbiedad nefelométricas) desde el mes de Junio del 2010 hasta principios de Septiembre del 2010 se tiene la tabla 4.5.5 con el porcentaje de remoción de turbidez gracias al carbón activo:

Tabla 4.5.5 Turbidez del agua sin tratar y tratada por el filtro de carbón activo.

Turbidez en NTU		
<b>Junio - 23 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
6,36	2,81	55,81
<b>Julio - 08 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
7,53	3,66	51,39
<b>Julio - 20 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
14,02	7,1	49,36
<b>Agosto - 03 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
9,82	3,73	62,02
<b>Agosto - 11 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
17,69	9,13	48,39
<b>Septiembre - 03 - 2010</b>		
Sin filtro C.A	Con Filtro C.A	% Remoción
17,1	7,7	54,97

Fuente: Autor H. Re

Gráfica 4.5.5. Porcentaje de remoción de turbidez con C.A.



Fuente: Autor H. Re

Este cuadro muestra el comportamiento del Carbón activo desde el mes de Junio donde comenzó su operación hasta principios del mes de Septiembre. Donde el porcentaje de remoción no ha variado significativamente en esos dos y medio meses de funcionamiento del filtro según se puede observar en la gráfica. Para poder decir que el carbón activado está saturado y que es necesario el cambio por uno nuevo, el porcentaje de remoción deberá disminuir hasta un 10% para tomar la decisión de cambiarlo o mandarlo a regenerar ya que se ha cumplido su vida útil. Generalmente, el tiempo de rotura de la columna se considera cuando la concentración final es el 1 - 2 % de la concentración inicial<sup>57</sup>.

Por el momento se puede decir que todavía tiene un funcionamiento entre un 90 a 100%.

---

<sup>57</sup> C. Moreno, ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS AGUAS MEDIANTE ADSORCIÓN EN MATERIALES DE CARBÓN, Universidad de Granada España, departamento de ciencias, p. 56.

## Capítulo V

### Análisis de Resultados

#### 5.1. Caracterización del agua de pozo.

En Tejidos Pintex S.A. existen 3 pozos u ojos de agua subterránea de los cuales solamente el pozo número 3 es utilizado para todos los procesos de acabados debido a que es el de mayor tamaño.

De este pozo se realizaron las siguientes caracterizaciones para realizar las respectivas comparaciones con los análisis del agua tratada por los filtros de arena y carbón activo.

*Cuadro 5.1. Caracterización agua de pozo.*

Tipo de toma de muestra				Puntual
Fecha de toma				18-06-2010
Fecha de entrega				24-06-2010
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Agua de Pozo	
Caudal	l/kg de producción	140	-----	
pH	pH	5-9	7,75	
DQO	mg/l	240	52,24	
Aceites y grasas	mg/l	100	1,0	
Detergentes	mg/l	0,5	0,03	
Temperatura	°C	< 40	< 20	
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,1	
Sólidos Suspendidos	mg/l	95	2	
DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	31,34	
Cadmio	mg/l	0,02	< 0,05	

Cobre	mg/l	1	0,02
Color	Pt-Co	-----	11
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	< 0,01
Zinc	mg/l	2	0,45
Mercurio	mg/l	0,01	0,005
Níquel	mg/l	2	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

En la tabla podemos encontrar que los parámetros de las caracterizaciones están cumpliendo con todos los valores permitidos ya que el agua proviene de una fuente natural subterránea de muy buena calidad que permite su utilización en los procesos productivos.

## 5.2. Caracterización del agua tratada por la Estación de tratamiento biológica y físico-química.

Es necesario tener una caracterización de estas aguas residuales que no han sido pasadas por el filtro de carbón activo y filtro multimedia para una vez pasada por los mismos se pueda demostrar la disminución, igualdad o aumento en los valores de los parámetros de calidad del agua residual.

Cuadro 5.2. Caracterización del efluente de la planta tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Tipo de toma de muestra	Puntual		
Fecha de toma	18/06/2010		
Fecha de entrega	24/06/2010		
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Agua residual de la PTAR
Caudal	l/s	140	3,84
pH	pH	05-sep	6,51
DQO	mg/l	240	43
Aceites y grasas	mg/l	100	< 10

Detergentes	mg/l	0,5	0,12
Temperatura	°C	< 40	27
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,5
Sólidos Suspendidos	mg/l	95	3
DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	28
Cadmio	mg/l	0,02	0,1026
Cobre	mg/l	1	< 0,01
Color	Pt-Co	-----	39
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	0,05
Zinc	mg/l	2	0,06
Mercurio	mg/l	0,01	< 0,0005
Níquel	mg/l	2	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5

*Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.*

En la tabla se puede ver que la planta de tratamiento tiene una gran efectividad como se muestra en los resultados de las caracterizaciones, donde parámetros como la DBO, DQO y Sólidos suspendidos a mas de cumplir con los valores máximo permisibles también llegan a tener valores con diferencias mínimas con el agua de pozo pero en color y turbidez no es apta para reutilizarla, siendo necesario un tratamiento terciario para mejorar su calidad.

### **5.3. Caracterización del agua tratada por el filtro multimedia de arena.**

Para esta caracterización se debe recalcar que el principal actor en el filtro es la antracita de 1,1 – 1,4 mm de granulometría, ya que esta es la encargada de remover sólidos de menor tamaño, sean estos suspendidos o sedimentables.

Cuadro 5.3 Caracterización del filtro multimedia

Tipo de toma de muestra		Puntual	
Fecha de toma		18-06-2010	
Fecha de entrega		24-06-2010	
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Filtro multimedia
Caudal	l/s	140	0,73
pH	pH	5-9	7,17
DQO	mg/l	240	42
Aceites y grasas	mg/l	100	< 10
Detergentes	mg/l	0,5	0,05
Temperatura	°C	< 40	22
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,5
Sólidos Suspendidos	mg/l	95	2
DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	27
Cadmio	mg/l	0,02	0,0993
Cobre	mg/l	1	< 0,01
Color	Pt-Co	-----	42
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	0,05
Zinc	mg/l	2	0,06
Mercurio	mg/l	0,01	< 0,0005
Níquel	mg/l	2	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

El filtro multimedia es un tratamiento terciario que permite el cumplimiento de la ordenanza 213 con sus parámetros muy por debajo del máximo permisible, demostrando su gran efectividad, especialmente con los parámetros de metales pesados y sólidos suspendidos.

#### 5.4. Caracterización del agua tratada por el filtro de carbón activo.

En esta caracterización se demostrará la efectividad del carbón activado, ya que este es el principal adsorbente de contaminantes de las aguas residuales.

*Cuadro 5.4 Caracterización del efluente tratado por carbón activo*

Tipo de toma de muestra		Puntual	
Fecha de toma		06/07/2010	
Fecha de entrega		12/07/2010	
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Filtro Carbón Activo
Caudal	l/s	140	0,36
pH	pH	05-sep	6,4
DQO	mg/l	240	27
Aceites y grasas	mg/l	100	< 10
Detergentes	mg/l	0,5	0,03
Temperatura	°C	< 40	25
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,5
Sólidos Suspendidos	mg/l	95	17
DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	17
Cadmio	mg/l	0,02	0,0153
Cobre	mg/l	1	0,03
Color	Pt-Co	-----	35
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	0,01
Zinc	mg/l	2	0,05
Mercurio	mg/l	0,01	< 0,0005
Níquel	mg/l	2	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5

*Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.*

Con el tratamiento de carbón activo según el cuadro 5.4 existe una clara diferencia entre los valores máximos permisibles de la ordenanza 213 y la caracterización del efluente tratado con carbón activo. Especialmente en los valores de las demandas (DQO y DBO) que son 8 veces el valor del efluente tratado con carbón activo y 5 veces el valor de sólidos suspendidos. Demostrando su eficiencia y superioridad ante el tratamiento de la PTAR y con el filtro multimedia.

### 5.5. Análisis de resultados.

A continuación se muestran los siguientes cuadros comparativos, relacionando las distintas caracterizaciones realizadas para demostrar la efectividad de los tratamientos terciarios de carbón activo y filtro multimedia.

5.5.1. Cuadro comparativo entre las caracterizaciones de agua de pozo con el agua tratada por el filtro multimedia.

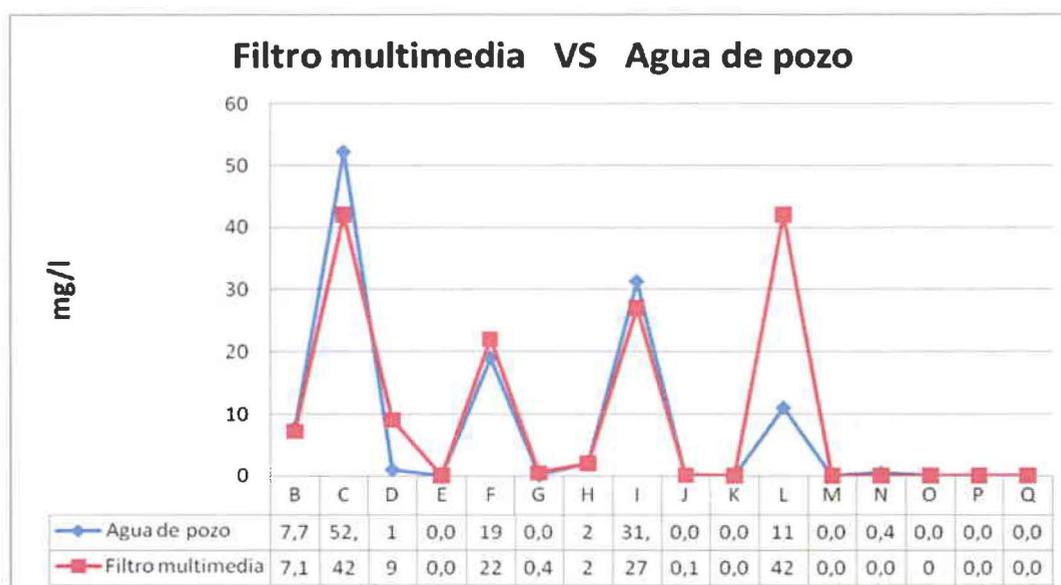
*Cuadro 5.5.1 Caracterizaciones del agua de pozo y agua tratada por F.M.*

Tipo de toma de muestra		Puntual	
Fecha de toma		06/07/2010	
Fecha de entrega		12/07/2010	
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Filtro Carbón Activo
Caudal	l/s	140	0,36
pH	pH	05-sep	6,4
DQO	mg/l	240	27
Aceites y grasas	mg/l	100	< 10
Detergentes	mg/l	0,5	0,03
Temperatura	°C	< 40	25
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,5
Sólidos Suspendidos	mg/l	95	17

DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	17
Cadmio	mg/l	0,02	0,0153
Cobre	mg/l	1	0,03
Color	Pt-Co	-----	35
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	0,01
Zinc	mg/l	2	0,05
Mercurio	mg/l	0,01	< 0,0005
Níquel	mg/l	2	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

Gráfica 5.5.1 Comparación entre Filtro Mult. con el agua de pozo



Fuente: Autor H. Re.

Donde:

A: Caudal	E: Detergentes	I: DBO <sub>5</sub>	M: Cromo 6+	Q: Plomo
B: pH	F: Temperatura	J: Cadmio	N: Zinc	
C: DQO	G: Sólidos Sedimentables	K: Cobre	O: Mercurio	
D: Aceites y grasas	H: Sólidos Suspendedos	L: Color	P: Níquel	

Tomando en cuenta que el agua de pozo es el referente para este estudio ya que se busca llegar a una calidad de agua paracida, igual o

mejor para permitir su reutilización después de los tratamientos terciarios probados en esta tesis experimental.

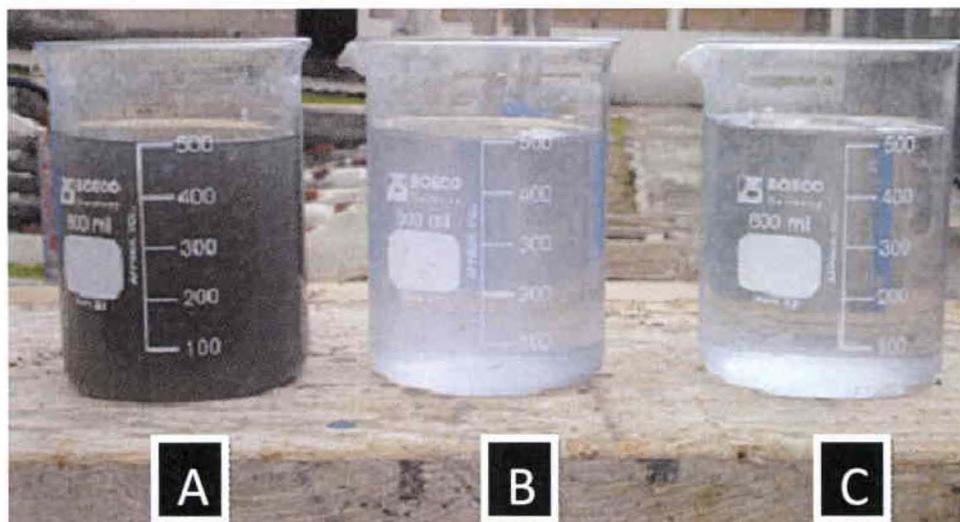
Podemos observar en el gráfico 5.5.1 valores distanciados por pequeñas cantidades entre parámetros físico-químicos del filtro de arena multimedia y el agua de pozo que es nuestro objetivo a llegar.

Datos como la DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, metales pesados como el cobre Zinc y mercurio, son los parámetros del agua residual tratada por el filtro multimedia que tienen cantidades menores a las encontradas en el agua de pozo; posiblemente porque el agua de pozo proviene de una fuente subterránea que puede presentar remanentes de estos metales debido al contacto del agua con los mismos. Sólidos suspendidos, níquel y plomo son iguales en ambos tipos de agua. Como también existen parámetros del agua residual tratada por el filtro multimedia como la temperatura, aceites y grasas, sólidos sedimentables, cadmio, cromo hexavalente y color que están en cantidades mayores a las encontradas en el agua de pozo.

Con ello se puede decir que de 17 parámetros analizados, 9 son mejorados por el tratamiento de filtro multimedia pero uno de los más importantes que es el color no fue mejorado. Tiene un valor relativamente cercano pero no es el suficiente para que el agua pueda ser reutilizada en los procesos industriales ya que puede causar una leve coloración a la tela a ser procesada. El filtro de arena no es capaz de retener el color en grandes cantidades ni el cloro residual que también da una coloración y una turbidez al agua que ocasionan un resultado con 42 Pt-co en unidades de color, mientras que el agua de pozo tiene 11 Pt-co.

En la fotografía 5.5.1 encontramos la diferencia entre la coloración y turbidez del agua cruda sin tratar (A) versus el agua pasada por el filtro de arena (B) y después el agua proveniente del pozo (C).

*Fotografía 5.5.1 Agua cruda sin tratar, agua tratada por el filtro multimedia y el agua de pozo*



Fuente: Autor H. Re.

5.5.2. Cuadro comparativo entre las caracterizaciones del agua de pozo con el agua tratada por el filtro de carbón activo.

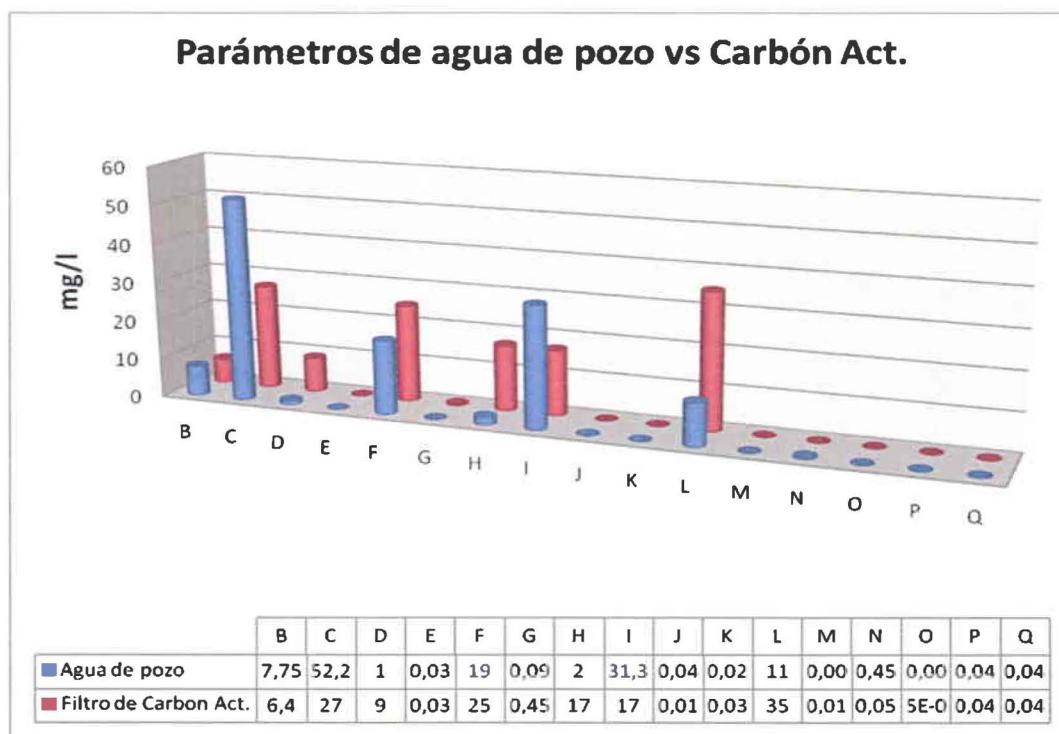
*Cuadro 5.5.2 Caracterizaciones Agua de pozo y Carbón Activo*

Tipo de toma de muestra			Puntual	Puntual
Fecha de toma			18/06/2010	06/07/2010
Fecha de entrega			24/06/2010	12/07/2010
PARAMETRO	UNIDAD	Valor máximo permisible	Agua de Pozo	Filtro carbón Activo.
Caudal	l/kg de producción	140	0	0,36
pH	pH	05-sep	7,75	6,4
DQO	mg/l	240	52,24	27
Aceites y grasas	mg/l	100	1	9

Detergentes	mg/l	0,5	0,03	0,03
Temperatura	°C	< 40	< 20	25
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	< 0,1	0,45
Sólidos Suspendedos	mg/l	95	2	17
DBO <sub>5</sub>	mg/l	120	31,34	17
Cadmio	mg/l	0,02	< 0,05	0,015
Cobre	mg/l	1	0,02	0,03
Color	Pt-Co	-----	11	35
Cromo Hexavalente	mg/l	0,5	< 0,01	0,01
Zinc	mg/l	2	0,45	0,05
Mercurio	mg/l	0,01	0,005	0,0005
Níquel	mg/l	2	< 0,5	0,045
Plomo	mg/l	0,5	< 0,5	0,045

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

Gráfica 5.5.2. Comparación entre agua de pozo con agua tratada con carbón activo.



Fuente: Autor H. Re.

Donde:

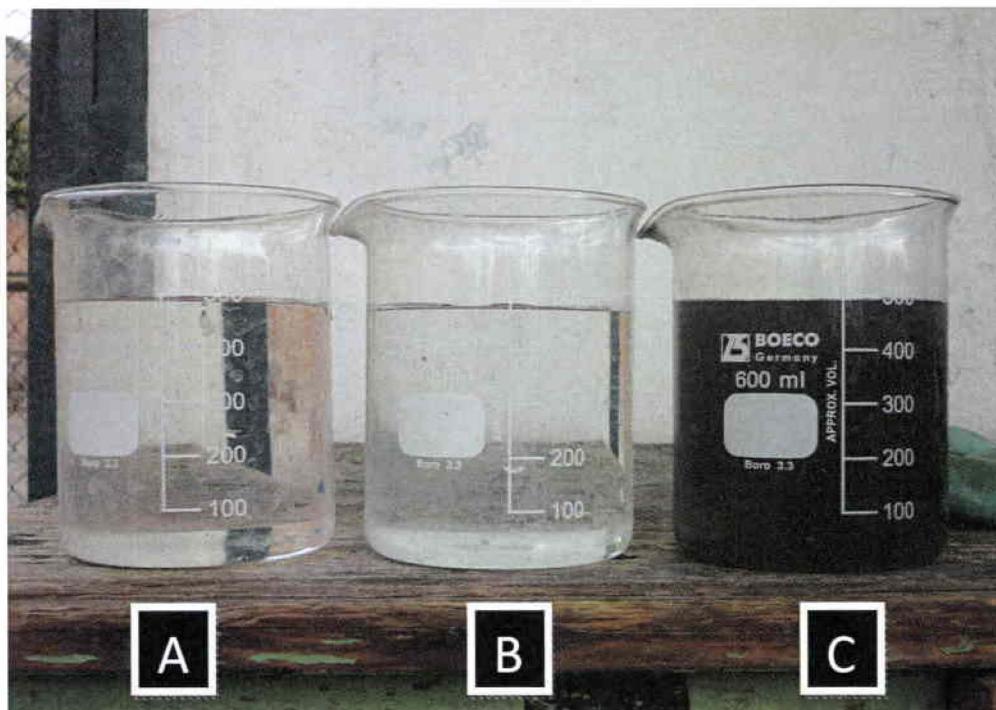
A: Caudal	E: Detergentes	I: DBO <sub>5</sub>	M: Cromo 6+	Q: Plomo
B: pH	F: Temperatura	J: Cadmio	N: Zinc	
C: DQO	G: Sólidos Sedimentables	K: Cobre	O: Mercurio	
D: Aceites y grasas	H: Sólidos Suspendidos	L: Color	P: Níquel	

Para el filtro de carbón activo podemos encontrar en los resultados varios parámetros que al compararlos con los del agua de pozo existen valores cercanos entre sí, otros que se duplican y unos menores.

Por ejemplo en parámetros del agua tratada por el filtro de carbón activo como el pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, metales pesados como el cadmio y el mercurio se encuentran en cantidades de concentración menores a las obtenidas de los análisis del agua de pozo, siendo esto posible gracias a la acción adsorbente y removedora del carbón activo como se resalta en la literatura. También existen parámetros como detergentes, cobre, cromo hexavalente, zinc, níquel y plomo, la mayoría con valores de concentración iguales y otros muy cercanos al del agua de pozo. Mientras que parámetros como el color, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y aceites tienen valores de concentración un poco más elevados a los obtenidos del agua de pozo.

Por lo tanto usando como referencia al agua de pozo podemos decir que de 16 parámetros analizados del agua tratada por carbón activo, 11 cumplen y superan a la calidad del agua de pozo. Pero existen 5 parámetros importantes que poseen concentraciones más altas a las del agua de pozo pero que no son tan representativas ya que físicamente no se ve ninguna diferencia como se muestra en la fotografía 5.5.2 y según los análisis de aguas estos cinco parámetros no afectarían para la reutilización del agua tratada ya que es para uso netamente industrial y la calidad de agua requerida no es tan estricta como es el caso del agua potable que es para consumo humano.

Fotografía 5.5.2 Agua tratada por el filtro de carbón activo (A), agua de pozo (B) y agua cruda sin tratar proveniente de la sección de acabados (C).



Fuente: Autor H. Re

5.5.3. Cuadro comparativo del agua tratada por el filtro multimedia, filtro de carbón activo y el agua residual tratada por la planta de lodos activados ya existente en Tejidos Pintex S.A.

Es necesario una comparación entre estos tres tipos de agua para ver la diferencia existente entre un tratamiento Biológico y Físico-químico que ya estaba operando en Tejidos Pintex S.A. desde el año 2007, con los tratamientos terciarios puestos a prueba en este proyecto de tesis, como son el de filtro multimedia y de filtro de carbón activo.

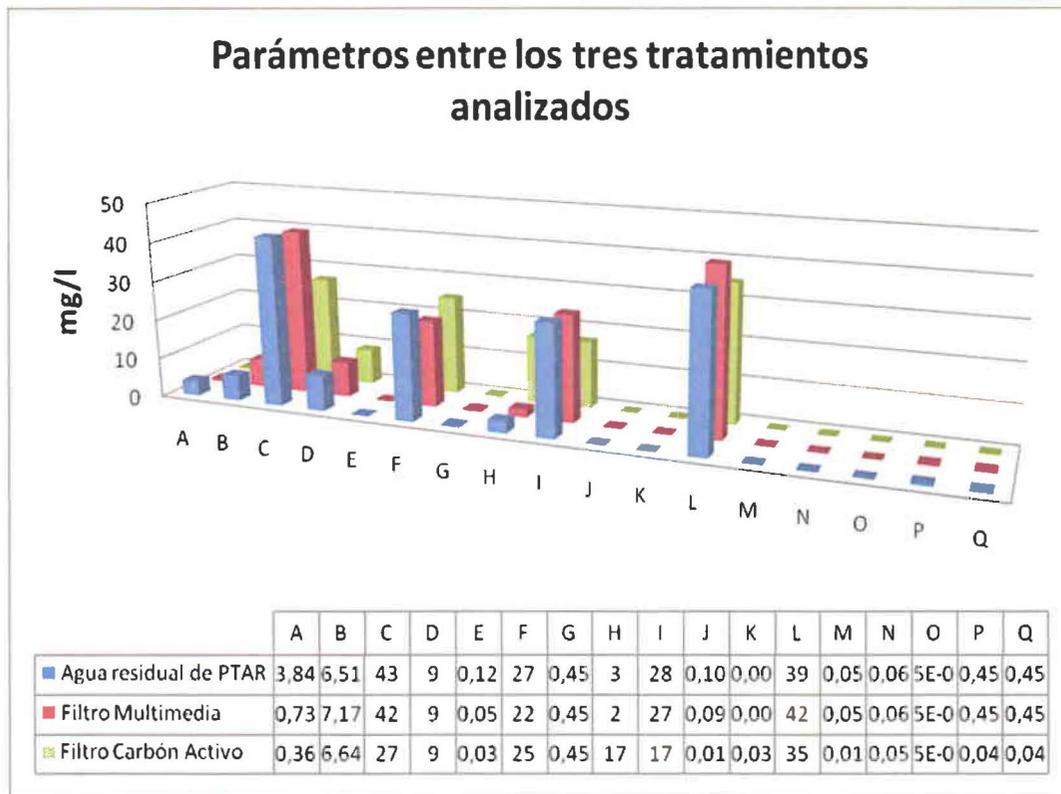
En el cuadro 5.5.3 podemos ver los resultados de las caracterizaciones para los tratamientos puestos a prueba en este proyecto de tesis con las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento Biológica y físico-química.

Cuadro 5.5.3 Caracterizaciones de los tratamientos terciarios.

Tipo de toma de muestra		Puntual	Puntual	Puntual
Fecha de toma		18/06/2010	18/06/2010	06/07/2010
Fecha de entrega		24/06/2010	24/06/2010	12/07/2010
PARAMETRO	UNIDAD	Agua residual de PTAR	Filtro Multimedia	Filtro carbón Activo.
Caudal	l/s	3,84	0,73	0,36
pH	pH	6,51	7,17	6,4
DQO	mg/l	43	42	27
Aceites y grasas	mg/l	< 10	< 10	9
Detergentes	mg/l	0,12	0,05	0,03
Temperatura	°C	27	22	25
Sólidos Sedimentables	ml/l	< 0,5	< 0,5	0,45
Sólidos Suspendidos	mg/l	3	2	17
DBO <sub>5</sub>	mg/l	28	27	17
Cadmio	mg/l	0,1026	0,0993	0,015
Cobre	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,03
Color	Pt-Co	39	42	35
Cromo Hexavalente	mg/l	0,05	0,05	0,01
Zinc	mg/l	0,06	0,06	0,05
Mercurio	mg/l	< 0,0005	< 0,0005	0,0005
Níquel	mg/l	< 0,5	< 0,5	0,45
Plomo	mg/l	< 0,5	< 0,5	0,45

Fuente: Laboratorio donde se realizaron análisis físico-químicos y valor máximo permisible obtenido de la Resolución 003-DMQ.2008.

Gráfico 5.5.3ª Caracterizaciones de los tres tratamientos



Fuente: Autor H. Re.

Donde:

A: Caudal	E: Detergentes	I: DBO <sub>5</sub>	M: Cromo 6+	Q: Plomo
B: pH	F: Temperatura	J: Cadmio	N: Zinc	
C: DQO	G: Sólidos Sedimentables	K: Cobre	O: Mercurio	
D: Aceites y grasas	H: Sólidos Suspendedos	L: Color	P: Niquel	

Podemos distinguir una clara diferencia en la eficiencia de cada tratamiento en parámetros importantes como la DBO<sub>5</sub> donde el filtro de carbón activo tiene la menor concentración, al igual que la DQO donde la diferencia es amplia, demostrando así la eficiencia de este tratamiento terciario. En la mayoría de parámetros se tienen valores de concentración parecidos pero mostrando una pequeña mejora la de carbón activo, especialmente con los metales pesados ya que el poder adsorbente del carbón permite la remoción parcial de los mismos.

El parámetro de color que para la reutilización es muy importante es el de menor concentración entre los dos tratamientos analizados.

El cuadro 5.5.3.1 muestra el porcentaje de eficiencia que tiene el tratamiento de filtro multimedia frente al agua residual sin tratar por el filtro.

*Cuadro 5.5.3.1 Porcentaje de Eficiencia del tratamiento terciario de Filtro M.*

Parámetros	Agua residual de PTAR	Filtro multimedia	% Eficiencia
Caudal (l/s)	3,84	0,73	.....
pH	6,51	7,17	.....
DQO (mg/l)	43	42	2,3255814
Aceites y Grasas (mg/l)	9	9	0
Detergentes (mg/l)	0,12	0,05	58,3333333
Temperatura (°C)	27	22	.....
S. Sedimentables (ml/l)	0,45	0,45	0
S. Suspendidos (mg/l)	3	2	33,3333333
DBO5 (mg/l)	28	27	3,57142857
Cadmio (mg/l)	0,1026	0,0993	3,21637427
Cobre(mg/l)	0,009	0,009	0
Color (Pt-co)	39	42	.....
Cromo 6+ (mg/l)	0,05	0,05	0
Zinc (mg/l)	0,06	0,06	0
Mercurio (mg/l)	0,0005	0,0005	0
Niquel (mg/l)	0,45	0,45	0
Plomo (mg/l)	0,45	0,45	0

*Fuente: Autor H. Re.*

En la tabla se puede observar que la eficiencia del filtro multimedia no es significativa en la mayoría de parámetros. En sólidos suspendidos tiene una clara eficiencia ya que la remoción de estos es del 33,33 % al igual que en detergentes, donde se logra una remoción del 58,33 % del tensoactivo. Mientras parámetros de importancia como DQO y DBO<sub>5</sub> no tienen un porcentaje de eficiencia significativa al igual en el Color, donde existe un aumento del mismo posiblemente por el carboncillo que se desprende de la antracita.

Con estos resultados es descartable este tratamiento para poder reciclar el agua. Pero reutilizarla para lavar la maquinaria y los moldes

para la fabricación de telas según el Instituto Tecnológico textil AIETEX si es posible. En su estudio se menciona que una Calidad de Agua 3 (subcapítulo 2.7) se ajusta a la calidad de agua obtenida del filtro multimedia. Con ello se pueden realizar las actividades mencionadas como también para el riego de jardines y zonas verdes de acceso público, por ejemplo los campos deportivos existentes en Tejidos Pintex S.A.

Tabla de 2.7.3 Calidad de Agua 3

Calidad de Agua 3	
Parámetros	Valores
pH	7,9
Turbidez (NTU)	30
DQO (mg/l)	140
S.Suspendidos (mg/l)	50
Color (Pt-co)	90
Dureza	38

Fuente: Instituto Tecnológico

Textil AIETEX, Calidad de Agua 3

En el cuadro 5.5.3.2 se observa el porcentaje de eficiencia que tiene el tratamiento terciario con carbón activado frente al agua residual sin tratar por la columna de carbón activo.

Cuadro 5.5.3.2 Porcentaje de Eficiencia del tratamiento terciario con Carbón activado.

Parametros	Agua residual de PTAR	Filtro de Carbon Act.	% Eficiencia
Caudal (l/s)	3,84	0,1	.....
pH	6,51	6,4	.....
DQO (mg/l)	43	27	37,2093023
Aceites y Grasas (mg/l)	9	9	0
Detergentes (mg/l)	0,12	0,03	75
Temperatura (°C)	27	25	.....
S. Sedimentables (ml/l)	0,45	0,45	0
S. Suspendidos (mg/l)	3	17	.....

DBO <sub>5</sub> (mg/l)	28	17	39,2857143
Cadmio (mg/l)	0,1026	0,015	85,380117
Cobre(mg/l)	0,009	0,03	.....
Color (Pt-co)	39	35	10,2564103
Cromo 6+ (mg/l)	0,05	0,01	80
Zinc (mg/l)	0,06	0,05	16,6666667
Mercurio (mg/l)	0,0005	0,0005	0
Niquel (mg/l)	0,45	0,45	0
Plomo (mg/l)	0,45	0,45	0

Fuente: Autor H. Re

En la tabla 5.5.3.2 podemos encontrar una visible mejora con respecto al tratamiento con filtro multimedia. Gracias a la adsorción del carbón activado encontramos una eficiencia del tratamiento en los parámetros de mayor importancia para reutilizar el agua o reciclarla. La DQO tiene un porcentaje de eficiencia del 37,21 %, la remoción de detergentes está en un 75%, la DBO<sub>5</sub> tiene una eficiencia del 39,29 %. En metales pesados como el cadmio se tiene una remoción del 85,38 %, en el cromo hexavalente una eficiencia del 80 % y en el Zinc con un 16,66 %. El color ha sido removido en un 10,25 %.

Con estos resultados podemos decir que el tratamiento más efectivo para tratar los efluentes de la empresa Tejidos Pintex S.A. es de filtración con carbón activado ya que su calidad está entre la Calidad de Agua 2 y 1 (subcapítulo 2.7). Con la Calidad de Agua 2 es posible reciclar el agua para las actividades de: desencolado, descrudado, mercerizado, carbonizado y blanqueo. Así como agua para primeros lavados de tela tinturada.

Tablas 2.7.1 y 2.7.2, Calidades de agua 1 y 2

Calidad de Agua 2		Calidad de Agua 1	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
pH	7,86	Ph	6,85
Turbidez (NTU)	< 0,05	Turbidez (NTU)	< 0,05
DQO (mg/l)	50	DQO (mg/l)	21
S.Suspendidos (mg/l)	2	S.Suspendidos (mg/l)	< 1
Color (Pt-co)	80	Color (Pt-co)	25
Dureza	38	Dureza	9

Fuente: Instituto Tecnológico Textil AIETEX, Calidad de Agua 2 y 1

Para llegar a la Calidad de Agua 1, que tiene la calidad necesaria para la tinturación sería necesario a más del filtrado con carbón activo un tratamiento previo con coagulantes y floculantes más efectivos que los actuales utilizados en el tratamiento Físico-químico, mas de filtrado de arena (filtro multimedia) conectado en serie a la columna de carbón activado, seguido de una nano filtración.

Con el filtro de carbón activo se puede llegar a la Calidad de Agua 2 y así lograr reciclar el agua tratada en los procesos productivos ya mencionados de la industria textil Tejidos Pintex S.A., logrando el objetivo general del presente trabajo de titulación.

## Capítulo VI

### Análisis costo beneficio del proyecto

#### 6.1. Costos de implementación del tratamiento terciario de filtro multimedia (F.M) y carbón activado (C.A.).

Tabla 6.1 Costos de implementación del tratamiento con C.A y F.M.

Material	Cantidad	Unidad	Costo en Dólares
Mano de obra			300,00
Base metálica	1		300,00
Tanque cilíndrico de Acero al carbono	1		800,00
Tuberías PVC reforzada 1,5"	3		40,00
Codos de 90 °	9		20,00
Medidores de presión	2		45,00
Bridas	4		60,00
Bomba 2.2 Kw (3 hp)	1		400,00
Gravas 6-12 mm	50	kg	150,00
Gravas 3-6 mm	50	kg	
Arena 2-3 mm	50	kg	
Arena 0,5-1 mm	75	kg	
Antracita 1,1-1,4 mm	90	kg	
Carbon Activo 8x30	50	kg	200,00
<b>TOTAL</b>			<b>2015,00</b>

Fuente: Autor H Re

Tabla 6.1.1 Costos de caracterizaciones de aguas.

Costos Adicionales	Valor en Dólares
Caracterizaciones de Agua de Pozo	252
Caracterizaciones de Agua residual	188
Caracterizaciones del Filtro Multimedia	188
Caracterizaciones del Filtro de Carbón Activo	188
<b>TOTAL</b>	<b>816</b>

Fuente: Autor H. Re

#### 6.2. Costos de operación.

Para el funcionamiento del filtro simplemente existe un consumo de electricidad con la bomba de 3 hp, cuyo equivalente es de 2,2 KW

según las especificaciones de la misma. Por tanto considerando que el costo del KW/h para Tejidos Pintex S.A. es de 0,07 dólares y que el filtro ha funcionado 8 horas durante 22 días laborables, el costo mensual de funcionamiento es de 27, 10 dólares americanos:

$$2,2 \text{ KW} * 8 \text{ h} * 22 \text{ días} * 0,07 = 27, 10 \$$$

De igual manera debemos tomar en cuenta el tiempo de saturación del carbón activado gracias a las curvas de saturación o curvas de rotura, donde se establece el tiempo en que el carbón activo ya no adsorbe los adsorbatos o contaminantes y pese a un retro lavado o regeneración del mismo ya es inservible. Por falta de presupuesto y tiempo no se pudo realizar dichas curvas pero como dato del fabricante el carbón activo puede durar hasta años, dependiendo de la calidad de agua que va a ser filtrada. Suponiendo que nuestro carbón activado Norit 830 tenga un tiempo de vida de 6 meses y sabiendo que 50 Kg cuestan 200 dólares, correspondiendo esa cantidad a la necesaria para las dimensiones de la columna utilizada, se realizan los siguientes cálculos:

200 \$ cada 6 meses

“33,33 \$ mensuales en carbón activo” + 27,10 \$ de consumo eléctrico =  
60,43 \$ mensuales

0,845 l/s es el flujo de diseño de la columna de carbón activado, en un mes son 1533.168 m<sup>3</sup> que han sido tratados, por tanto:

$$60,43 \$ \div 1533,168 \text{ m}^3 = 0,0394 \text{ dólares.}$$

Deduciendo que el costo es de 0,04 dólares por m<sup>3</sup> tratado por el filtro de carbón activo diseñado y construido para este proyecto de tesis.

### **6.3. Relación costo beneficio**

Momentáneamente es imposible realizar una proyección de costo y beneficio que permita devengar lo invertido en el filtro de carbón

activado ya que el agua de pozo utilizada para todos los procesos industriales no tiene un medidor y por tanto no cobran por consumo de agua sino por descargar un volumen al alcantarillado. Para este caso en particular, Tejidos Pintex S.A. gasta mensualmente 1500 dólares americanos por descargar aproximadamente  $18\text{m}^3/\text{h}$ , por 24 horas aproximadas que trabaja la sección de acabados, tenemos un volumen de  $432\text{ m}^3$  diarios. En 21 días laborables encontramos un volumen de  $9072\text{ m}^3$  mensuales por lo que nos cobran el valor de 1500 dólares.

La nueva ley de aguas estipula que el agua subterránea no puede ser privatizada por lo que se deberá instalar un medidor para poner un impuesto según lo consumido. Mientras se resuelve esa polémica y en caso de instalar un sistema de tratamiento terciario con carbón activo, se podría discutir con el municipio una disminución en la tarifa de 1500 dólares por descargar los  $9072\text{ m}^3$  al servicio público ya que la reutilización del agua tratada disminuirá este volumen de agua descargada. Logrando así aminorar el costo mensual por descargar el agua y poder recuperar la inversión en el sistema de tratamiento terciario con carbón activo a medida que el tiempo transcurre.

## Capítulo VII

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 7.1. Conclusiones.

- Se logró mejorar en la calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento gracias al tratamiento terciario por carbón activado, siendo este el de mayor eficiencia debido a los resultados obtenidos de las caracterizaciones y a las comparaciones realizadas con el agua de pozo. La DQO tiene un porcentaje de eficiencia del 37,21 %, la remoción de detergentes está en un 75%, la DBO<sub>5</sub> tiene una eficiencia del 39,29 %. En metales pesados como el cadmio se tiene una remoción del 85,38 %, en el cromo hexavalente una eficiencia del 80 % y en el Zinc con un 16,66 %. El color ha sido removido en un 10,25 %.
- Es posible reciclar el agua tratada con carbón activo en actividades como: desencilado, descrudado, mercerizado, carbonizado y blanqueo. Así como agua para primeros lavados de tela tinturada. Y también para el lavado de maquinas al momento de realizar mantenimiento.
- El tratamiento con filtro multimedia tuvo menor eficiencia al de carbón activado pero sirve como tratamiento previo a este para retener turbidez y sólidos suspendidos para que luego el carbón activado remueva los demás contaminantes gracias al poder adsorbente, como DQO, DBO, Color, entre otros más.
- Tanto el tratamiento de filtro multimedia como el de carbón activado fueron acertados al momento de escogerlos debido al costo moderado del tratamiento y a su correcto funcionamiento reflejado en los resultados ya que como explica la teoría, son tratamientos finales para aguas con poca concentración de contaminantes a las cuales se les da un tratamiento final para mejorar un poco más su buena calidad.

- Según los análisis Físico-Químicos realizados en los laboratorios, se puede concluir que el tratamiento de filtrado con carbón activo es más efectivo ante el filtro multimedia, ya que en los resultados la calidad de agua tiene características similares al agua de pozo y los debido a sus valores de concentración son cercanos entre sí.
- Después de las distintas pruebas realizadas a temperaturas, presión, caudal y velocidades iguales tanto para el filtro multimedia como para el de carbón activado podemos encontrar una clara diferencia en los valores de concentración en el cuadro 5.5.3, y en los porcentajes de eficiencia (cuadros 5.5.3.1 y 5.5.3.2) donde existe una superioridad del filtro de carbón activo frente al filtro multimedia debido a que el poder adsorbente del carbón permite una mayor remoción de contaminantes, como sólidos suspendidos, metales pesados y color. Pero todavía no es posible reciclar el agua para los procesos de tinturación ya que se necesita una calidad superior que implica otros tratamientos.
- Podemos concluir que si es viable la reutilización para riego de zonas verdes de acceso público, como por ejemplo los campos deportivos de fútbol y vóley de la empresa Tejidos Pintex S.A. mediante el uso del filtro multimedia, ya que la calidad de agua tratada por este tratamiento terciario permite darle ese uso.
- Es posible reutilizar el agua tratada por el filtro multimedia en el lavado de maquinaria y de moldes al momento de hacer el mantenimiento de las maquinas según los resultados obtenidos de las caracterizaciones y la comparación con la calidad de agua 3 obtenida del estudio realizado por el instituto tecnológico textil AIETEX.

- El parecido físico entre el agua tratada con carbón activo y el agua de pozo, según se puede observar en la fotografía 5.5.2. es muy similar a pesar de que existan diferencias en los valores de los parámetros.
- El agua de pozo no posee medidor y por lo tanto no se paga el impuesto al agua por consumo sino mediante un monto fijo mensual de 1500 dólares por descargar al servicio público un volumen de 9072 m<sup>3</sup> mensuales, por lo que se gestionará aminorar ese costo debido a que en agua al ser reutilizada en los procesos productivos, el volumen de descarga es mucho menor. Hipotéticamente diríamos que si se logra la reutilización del 50 % del volumen producido eso significaría la disminución de 9072 m<sup>3</sup> a 4536 m<sup>3</sup> y por tanto el costo de 1500 “debería reducirse a 750 dólares mensuales aproximadamente” teniendo ya un ahorro significativo.
- Para el caso de este proyecto de tesis fue imposible realizar la curva de rotura que permite determinar el tiempo de vida útil del carbón activo para ser cambiado por uno nuevo o regenerado debido a la falta de tiempo ya que a medida que pasan los meses se puede observar la saturación del carbón. Pero se realizó una gráfica con el porcentaje de remoción de la turbidez del agua tratada por el carbón activo con el agua sin tratar, para cuando el porcentaje sea menor al 10% este sea tomado en cuenta para ser cambiado o regenerado.

## **7.2. Recomendaciones**

- Para la obtención de una mejor calidad de agua se debería instalar en primer lugar un filtro multimedia que remueva la mayoría de sólidos suspendidos y sedimentables conectado en serie a un filtro de carbón activado para que remueva la DBO<sub>5</sub>, DQO, color y metales pesados. Dando como resultado una calidad para reciclar el

agua en los procesos de tinturación. Pero aumentan los costos de tratamiento.

- Como se menciona en el subcapítulo 4.2 es necesario un filtro de diámetro de 1,48 metros para tratar todo el caudal de agua por producido en Tejidos Pintex S.A. Pero es recomendable la operación de 3 filtros más en paralelo que traten los 5 l/s que se salen en la planta de tratamiento, ya que la operación de un solo filtro ocasionaría una rápida saturación del material filtrante, reduciendo así el tiempo de vida del filtro de carbón activo.
- Para tener una mejor calidad de agua antes de ingresar al filtro de carbón se puede utilizar otros coagulantes o polímeros más efectivos que permitan mejorar la parte física y química del agua antes de ingresar al filtro para que este remueva fácilmente los pocos contaminante y color sobrantes, y por tanto tenga un tiempo de saturación mayor y un tiempo de vida más largo.
- Instalar este sistema de carbón activado siempre como tratamiento terciario debido a que el agua ya debe estar en mejores condiciones que al momento de ser contaminada.
- La implementación del sistema para poder captar y tratar el total del caudal descargado al servicio público para la recuperación total del agua y así reutilizarla o reciclarla.

## Bibliografía

HERLINDA SABANDO (2003), II SEMINARIO TALLER SOBRE LOS TEXTILES Y EL VESTIDO,  
[www.aladi.org/nsfaladi/reuniones.nsf/.../\\$FILE/Ecuador.ppt](http://www.aladi.org/nsfaladi/reuniones.nsf/.../$FILE/Ecuador.ppt).

Asociación de Industrias textiles del Ecuador, El Ecuador, Datos útiles (2009),  
<http://www.aite.com.ec/index>.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, Encuesta anual de  
 manufactura y minería, 2007,  
[http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu\\_est/est\\_eco/enc\\_eco/enc\\_man\\_min](http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu_est/est_eco/enc_eco/enc_man_min).

Nemerov, N, Aguas residuales industriales, teoría aplicación y tratamiento”,  
 Blume, Madrid, 1era Edición en español, 1977, p.263.

J. Giraldo, M. Hernández, G. Peñuela..., Degradación de aguas residuales de  
 la industria textil por medio de fotocatalisis., Red de revistas científicas de  
 América latina y el Caribe, España y Portugal, 2005, p 15-18.

M. Crespi, J. Huertas, INDUSTRIA TEXTIL, ¿Depuración Biológica o  
 Fisicoquímica?, 1985, pag 75-77.

P. Román, ex jefe de sección acabados Tejidos Pintex, Manual de proceso de  
 acabados de Tejidos Pintex S.A, 2006, p.6-17.

PORTER, J.J., LYONS, D.W., and NOLAN, W.F., “Water uses and wastes in  
 the textile industry” Environmental Science and Technology, 1972, p. 35

Asociación Naturland, agricultura orgánica en el trópico y subtrópico Algodón,  
 1era edición, 2000.

PORTER, J.J., LYONS, D.W., and NOLAN, W.F., “Water uses and wastes in  
 the textile industry” Environmental Science and Technology, 1972, p. 37

O.A. Haffar, Asociación Venezolana de Químicos y Técnicos textiles,  
 Consideraciones acerca de la tintura de fibras de poliéster, 1991.

ROMERO ROJAS, J.A, Tratamiento de Aguas Residuales, editorial escuela  
 colombiana de ingeniería, 1era edición, 2000, p. 64.

M. Lapeña, Tratamiento de aguas Industriales: aguas de procesos y  
 residuales. Parametros de calidad de las aguas. 1990, p. 37.

R. Marín, FISICOQUIMICA Y MICROBIOLOGIA DE LOS MEDIOS  
 ACUATICOS, Tratamiento y control de calidad de aguas. Editorial Díaz Santos  
 2003, p.11-14.

INEN, Norma 970, "Agua potable. Determinación de color", 1990.

METCAF-EDDY, INC., "Tratamiento y Depuración de las aguas residuales", Laboe, Barcelona, 1<sup>era</sup> Edición Española, 1977, p. 246.

Constitución de la República del Ecuador, TÍTULO VII Régimen del Buen Vivir, CAPÍTULO SEGUNDO, Biodiversidad y Recursos Naturales. Art 395, 2008.

Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI: De la Calidad Ambiental, ANEXO 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, el punto 4.2.1, 2005.

Resolución N003 – Dirección Metropolitana Ambiental 2008, Art. 9 Norma Técnica que regula los Contaminantes asociados a Descargas Líquidas Industriales, Comerciales y de Servicios.

R.S. Ramalho, Editorial Reverté, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, cap 8, Tratamiento terciario de las aguas residuales, 2003, p 585-586.  
M. vaca, L. Magdaleno, M. Sosa..., TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESUDUALES POR FILTRACION E INTERCAMBIO IONICO, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México D.F., 1996.

Obtenido del artículo, ¿Qué es la osmosis inversa?,  
[http://www.quiminet.com/ar6/ar\\_bcBuadddsazgt-que-es-la-osmosis-inversa.htm](http://www.quiminet.com/ar6/ar_bcBuadddsazgt-que-es-la-osmosis-inversa.htm), 2007.

C. Gomella – H.Guerree, TRATAMIENTO DE AGUAS PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO, Adsorción y Carbón Activado, p 197-199. 1977.

F. Rodrigues, Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales, El carbón activado como adsorbente en descontaminación ambiental, 2004, p.42.

D. Luna, A. González, M. Gordon y N. Martin, Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco, 2007, p. 42,  
[http://www.iztapalapa.uam.mx/contactos/n64ne/carbon\\_v2.pdf](http://www.iztapalapa.uam.mx/contactos/n64ne/carbon_v2.pdf)

R. Arriagada, R. García, R. Cid., RETENCION DE Hg(II) Y Cr(VI) EN CARBONES ACTIVADOS DE ORIGEN LIGNOCELULÓSICO., Facultad de Ciencias Químicas, 2002, Universidad de Concepción . Chile.  
<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/B1-213.pdf>

Textos Científicos, El carbón activo como adsorbente,2006, URL:  
<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbente>.

C. Moreno, ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS AGUAS MEDIANTE ADSORCIÓN EN MATERIALES DE CARBÓN, Universidad de Granada España, departamento de ciencias, 2004, p. 53.

Nordic Water S.A., 2001, URL:  
<http://nordicwatersa.com/activatedcarbon/properties.htm>.

M. Seoáñez, Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo, Ediciones Mundi- prensa, p. 244. 2004.

Fay, Erick, 2008, artículos científicos, <http://www.articuloz.com/propiedad-inmobiliaria-articulos/antracita-488150.html>.

Ospina Eduardo, Filtros de arena y carbón activo, manual de Ingeniería de la empresa EDOSPINA, Colombia 1991.

M. D. Hidalgo, M. Gómez y R. Irusta, Reutilización de aguas residuales, Recomendaciones generales de la Directiva Marco del Agua y legislación vigente en España, 2000.

Instituto Tecnológico Textil AIETEX, Reutilización y Reciclaje de las aguas residuales depuradas en los procesos productivos de las empresas textiles, 1996.

Arboleda, J., Diseño y control de los procesos de clarificación del agua, centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, Lima, 1977, p 182-183.

Norit 830, Material Safety Data Sheet, 2007, URL: [http://www.norit-americas.com/pdf/GAC830\\_rev6.pdf](http://www.norit-americas.com/pdf/GAC830_rev6.pdf).

## ANEXOS

Anexo 1.

Columna terminada.



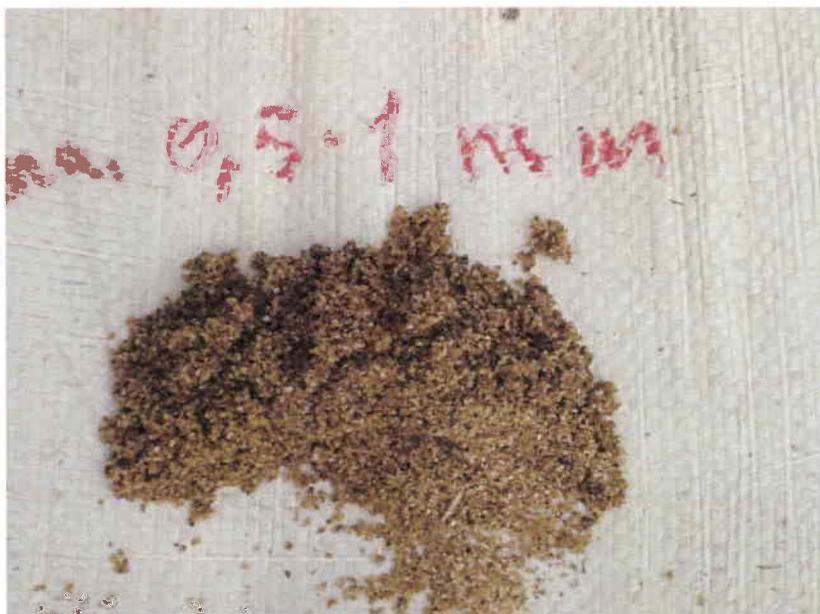
Anexo 2

Columna instalada en Tejidos Pintex S.A.



## Anexo 3

Arena de 0,5 – 1 mm



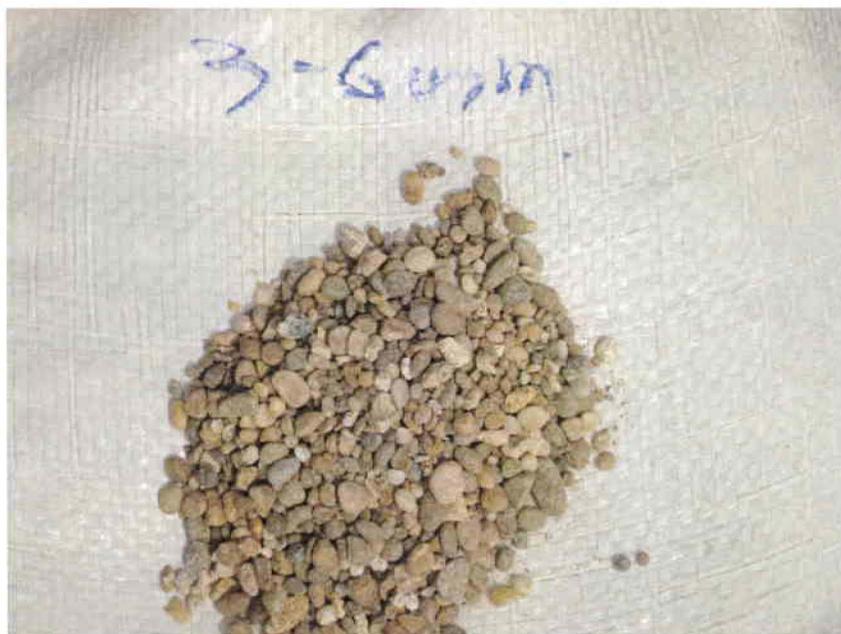
## Anexo 4

Arena de 2 – 3 mm



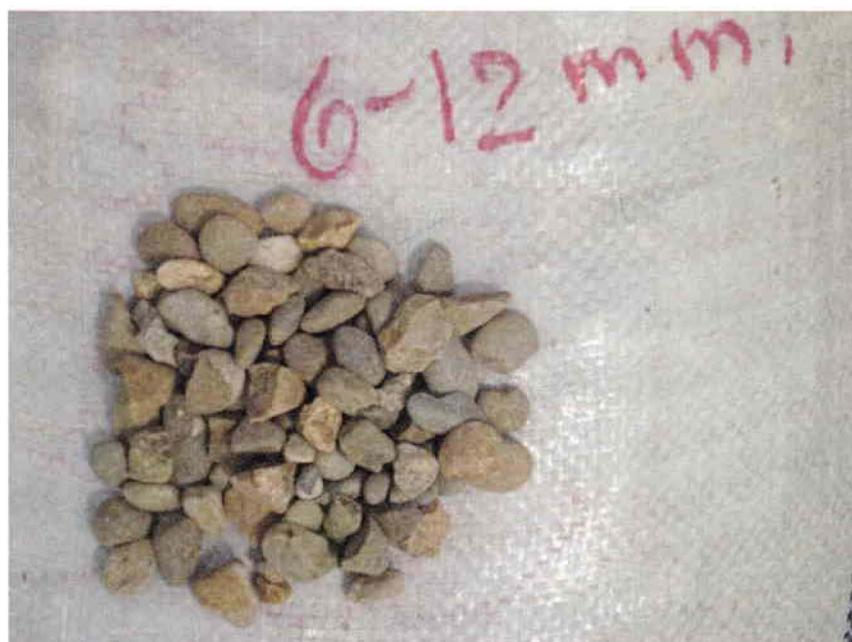
## Anexo 5

Grava de 3 – 6 mm



## Anexo 6

Grava de 6 – 12 mm



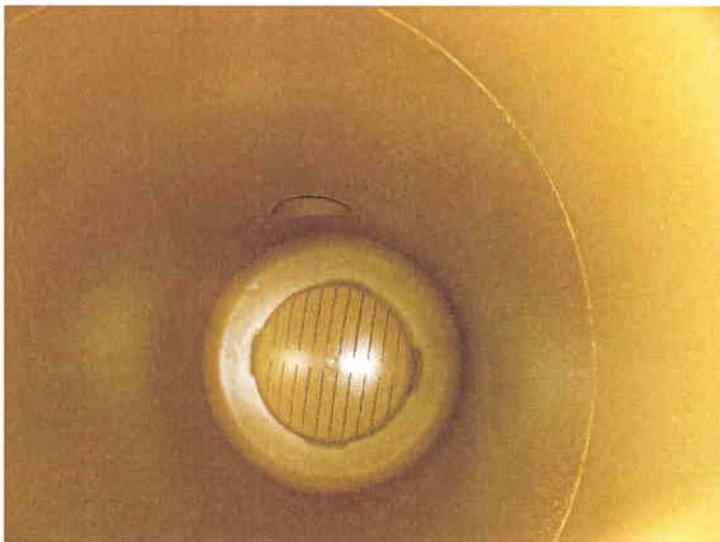
## Anexo 7

Antracita de 1,1 – 1,4 mm



## Anexo 8

Rejilla de campana en la base del filtro.



## Anexo 9

Primera capa de grava 6 – 12 mm.



## Anexo 10

Carbón Activado NORIT 830



## Anexo 11

Filtro llenado de carbón activo.



## Anexo 12

Selección del sitio apropiado para la instalación del filtro.

