

# **TECNOLOGÍAS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN, OXIDACIÓN Y OZONIFICACIÓN EN EFLUENTES PROVENIENTES DE INDUSTRIA TEXTIL**

## **TECHNOLOGY ASSESSMENT OF COAGULATION, FLOCCULATION, OXIDATION AND OZONATION IN EFFLUENTS FROM THE TEXTILE INDUSTRY**

**Marlenis Aguilar**

MSc. (Ing. Químico). Profesional Nivel II del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. San Carlos estado Cojedes, Venezuela. Email: marlenisaguilar9@gmail.com

Recibido: 17-02-2012 Aceptado: 16-04-2012

### **RESUMEN**

Las aguas de desecho provenientes de la industria textil, representan una fuente importante de contaminación. Ellas contienen básicamente colorantes que, hasta en concentraciones relativamente pequeñas, confieren una coloración intensa a cualquier curso de agua superficial, alterando su calidad. Los colorantes presentes en el agua, absorben fuertemente la luz solar, lo que disminuye su asimilación por parte de las plantas acuáticas y del fitoplancton, reduciendo su capacidad de auto purificación. Además estas sustancias suelen ser tóxicas para los organismos que viven en el agua y resistentes a la biodegradación. En este trabajo se han evaluado cuatro tipos de tecnologías (coagulación, floculación, oxidación y ozonización) en el tratamiento de efluentes textiles provenientes de una empresa ubicada en el municipio Falcón estado Cojedes. En las tecnologías estudiadas, se hizo una evaluación de las diferentes variables dependiente e independiente que deben mantenerse controladas, así como aquellas que son fijas dentro del proceso; se utilizaron algunos productos químicos previamente seleccionados, para realizar las pruebas de coagulación, floculación y oxidación. En el caso de la tecnología de ozonización se utilizó un equipo que genera ozono mediante un arco eléctrico en un flujo controlado de aire. Los resultados de los diferentes análisis realizados, indican que todas las tecnologías estudiadas tienden a reducir la mayoría de los parámetros que se encuentran alterados por la presencia de los colorantes en las aguas superficiales; sin embargo, para que sus concentraciones cumplan con las normas de ambiente, una sola tecnología no resulta suficiente, es necesario que ellas se combinen convenientemente. La tecnología de ozono es sin duda la más favorable, ya que prácticamente mineraliza las moléculas de colorantes y no es necesario ningún tipo de tratamiento previo del agua contaminada.

**Palabras Clave:** Ozono, Cloruros, Oxidación, Aguas Residuales, Efluente Textil.

## SUMMARY

Textile industry wastewaters are one of the main sources of surface waters pollution. They are mainly characterized by the presence of dyes which, despite its relatively small content, are responsible of the strong coloration of the surface waters and its quality. The dyes in the water, strongly absorb sunlight, which decreases its assimilation by water plants and phytoplankton, reducing self purification capacity. Additionally, these substances may be toxic to organisms living in the surface water, and can be resistant to biodegradation. The aim of this study was to evaluate four technologies, ie, coagulation, flocculation, oxidation and ozonation, wastewater treatment in textile industry, textile industry from a state district Cojedes Falcon. In the applied technologies, an evaluation has been made of the different dependent and independent variables which should be controlled, and those which are fixed by the process itself as well. Several chemicals, previously selected, have been used for coagulation, flocculation and oxidation experiments. In the case of ozonation technology, an homemade ozone generator was used. The ozone is formed by an electric arc trough a controlled flow of air. The results of all the analysis performed show that each one of the four technologies is able to reduce to accepted values, most of the parameters out of the ambient norms by the presence of dyes in the surface water. Nevertheless one technology alone is not enough to deal with the pollutants concentration values accepted by the ambient norms and a combination of two or more of them are required. The ozone technology is, without any doubt, the best one. The polluted water does not need any previous treatment and the ozone practically mineralizes dye molecules.

**Keywords:** Ozone, Chlorine, Oxidation, Sewage, Effluent Textile.

## 1.- EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

Las aguas superficiales provenientes de caños, quebradas, lagunas, ríos, y en especial las de este último, son utilizadas con fines de potabilización, industrialización, recreación y otras actividades; en este sentido se pueden mencionar los ríos Pao, San Carlos, Tinaco y Tinaquillo, ubicados dentro de la geografía del estado Cojedes. Específicamente el río Tinaquillo, tributario de la Cuenca del río Tinaco, que nace en el sector Pueblo Nuevo, al norte de la ciudad de Tinaquillo municipio Falcón, recibe importantes descargas orgánicas e inorgánicas.

Un estudio realizado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, en el año 1981, (antes Ministerio de Sanidad y Asistencia Social), arrojó valores en índice de peligrosidad y grado de contaminación, presentes en esta agua, que sobrepasaban los valores normales (MARN, 1981). Igualmente la Empresa Regional

Desarrollos Hidráulicos Cojedes (ERDHC, 1997), encontró que los efluentes no son tratados adecuadamente antes de descargarlos en cuerpos de aguas naturales.

Según los análisis de caracterización realizados a los efluentes líquidos procedentes de la industria textil a cursos de agua, se encontró que estas, además de contener altos niveles de color (1500 up / co), presentan concentraciones significativas de sulfuros ( $7,20 \text{ mg x m}^{-3}$ ), sulfatos ( $2282,76 \text{ mg x m}^{-3}$ ) y sólidos totales ( $3193 \text{ mg x m}^{-3}$ ) (MARN, 2004), los cuales ocasionan una alta morbilidad por su característica tóxica, así como elevados costos de potabilización, limitación de los usos posibles del agua y daños a la biota que en ella se encuentra (MARN, 1981). Se presume que estas aguas contaminadas pudiese provenir de la industria textil ubicada en la cuenca del río Tinaquillo; ya que esta utiliza en su proceso productivo una gran cantidad de colorantes y reactivos que generan un efluente como el antes señalado.

## **1.2. Justificación de la Investigación**

El MARN (1981), en el estudio realizado sobre Ordenamiento Territorial del eje Tinaquillo- San Carlos-El Amparo del estado Cojedes, encontró que el río Tinaquillo recibe descargas de efluentes líquidos industriales que contienen trazas o grandes cantidades de materias primas, productos intermedios, productos finales, residuos de compuestos químicos auxiliares, empleados en algunos procesos químicos industriales. Las sustancias presentes en los residuos industriales incluyen detergentes, solventes, cianuros, metales pesados, ácidos orgánicos, sustancias nitrogenadas, grasas, sales, agentes de decoloración, colorantes, pigmentos, compuestos fenólicos, agentes de curtido, sulfuros y amoníaco entre otros (Hamza, 1992), los cuales generan riesgos para la salud asociados a la exposición a altas concentraciones que causan intoxicaciones y quemaduras, o la exposición a dosis menores durante períodos largos, lo que puede inducir a enfermedades crónicas, cáncer, esterilidad y problemas reproductivos.

Esta situación pone de manifiesto la necesidad de evaluar adecuadamente los distintos tipos de tecnologías empleadas en el tratamiento de efluentes líquidos, a fin de orientar a las industrias y sugerir la mejor vía para un tratamiento conveniente de las aguas industriales que ellas producen, para que puedan ser reutilizadas en sus procesos o vertidas sin causar daños en los drenajes naturales o construidos artificialmente.

## **2. Objetivos de la investigación**

### **2.1. Objetivo general de la investigación**

**EVALUAR LAS TECNOLOGÍAS COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN, OXIDACIÓN Y OZONIFICACIÓN EN EFLUENTES PROVENIENTES DE INDUSTRIAS TEXTILES.**

### **2.2. Objetivos específicos de la investigación**

1.- Analizar las tecnologías que se emplean para eliminar o reducir los contaminantes del agua de las industrias textiles:

- Coagulación
- Floculación
- Oxidación
- Ozonificación

2.- Caracterizar los efluentes generados por una empresa textil del estado Cojedes, utilizando la metodología que establece el Decreto 883.

3.- Determinar el nivel de cumplimiento de la empresa, en relación al Decreto 883, después de la aplicación de las diferentes tecnologías y sugerir un posible sistema de tratamiento basado en los resultados experimentales que se obtienen de los análisis físicos químicos de las muestras de agua.

### **2.3. Alcances y limitaciones**

El trabajo de campo se realizó en una empresa textil del municipio Falcón estado Cojedes, la cual dispone de datos de varios años de seguimiento de los efluentes que genera, para identificar el rango en el cual se encuentran los parámetros de contaminación de las aguas de acuerdo al Decreto 883.

El trabajo experimental abarcó un lapso de tiempo aproximado de tres a cuatro meses en el laboratorio se realizaron análisis físicos – químicos para determinar los parámetros de interés. En esta estimación no se está considerando el tiempo para las

pruebas de jarra, debido a que este depende de los resultados que se obtienen en cada caso.

### **3.- Marco Teórico**

#### **3.1.- Antecedentes de la investigación**

Según Crittenden (2005), En Venezuela, no se dispone de información sistematizada sobre los tratamientos de las aguas contaminadas por las industrias y menos por los efluentes producidos por la industria textil. Sin embargo, unas fuentes de información se encuentran en las empresas de servicio que de alguna manera u otra se han dedicado al tratamiento de las aguas de industrias que las han contratado. El motivo principal de su contratación en la mayoría de los casos, ha sido la necesidad de cumplir con el Ministerio del Ambiente y evitar las multas previstas en los decretos de la contaminación ambiental.

### **4. Marco Metodológico**

#### **4.1. Diseño de la investigación**

La investigación realizada fue de carácter experimental y se desarrollo principalmente en el laboratorio, bajo condiciones controladas en cada uno de los casos establecidos para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo.

Para el cumplimiento del segundo objetivo se tomo un litro de muestra compuesta (Santos, 1989) del efluente de la empresa textil. Se analizaron los parámetros de: DBO<sub>5</sub>, DQO, sulfuros, sulfatos, sólidos totales, sólidos disueltos, cloruros, fenoles y sólidos sedimentables, siguiendo el método de ensayo descrito por APHA<sup>1</sup>, AWWA<sup>2</sup> y WPCF<sup>3</sup> Estándar for Examination of Water and Wastewater.

La muestra se llevo al laboratorio de calidad del agua de la UNELLEZ San Carlos, previa la preservación de la misma con el reactivo indicado para el tipo de parámetro a analizar.

Luego se comparan los valores obtenidos en el laboratorio de calidad de agua con los establecidos en la normativa ambiental del Decreto 883; estos resultados permitieron sugerir el o los tratamientos requeridos para la adecuación del efluente antes de ser descargado a cualquier curso de agua o a una red cloacal.

- **Diseño de Variables**

A continuación se presenta el esquema de las variables que se van a medir después de cada experimento (Tabla 1). Los valores que se obtienen dependen de cada una de las tecnologías que se considera en los ensayos, los cuales se midieron en el tiempo, durante 6 días.

Tabla 1. Sistema de variables en las tecnologías en estudio.

Tecnologías	Variables		
	Controladas	Independiente	Dependiente
Coagulación	pH, Temperatura (°C), volumen (l), r.p.m	Concentración en mg x l <sup>-1</sup> del producto químico	- Sulfatos ( 400 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sulfuros ( 2 mg x l <sup>-1</sup> )
Floculación	pH, Temperatura (°C), volumen (l), r.p.m	Concentración en mg x l <sup>-1</sup> del producto químico	- Color ( 500 U Pt-Co ) - Sólidos totales ( 1600 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sólidos suspendidos (400 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sólidos disueltos ( 1000 mg x l <sup>-1</sup> )
Oxidación	pH, Temperatura (°C), volumen (l), r.p.m	Concentración en mg x l <sup>-1</sup> del producto químico	- Sulfatos ( 400 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sulfuros ( 2 mg x l <sup>-1</sup> ) - Color ( 500 Up/Co )
Ozono	pH, Temperatura (°C), volumen (l), r.p.m, potencia de la bomba	Concentración en mg x l <sup>-1</sup> del producto químico	- Sólidos totales ( 1600 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sólidos suspendidos (400 mg x l <sup>-1</sup> ) - Sólidos disueltos ( 1000 mg x l <sup>-1</sup> )

Para la realización de las pruebas de coagulación y floculación se seleccionaron dos productos químicos identificados con el nombre de GE Betz polímero catiónico al 0,1% y GE Betz policloruro de aluminio (PAC) al 1%. Previos ensayos en el laboratorio, se obtuvo el nivel óptimo en cuanto a volumen, el cual fue de 50 ml para el primero y 36 ml para el segundo, los cuales se dosificarán a la muestra, hasta alcanzar los niveles operacionales necesarios. Es importante señalar que los valores obtenidos de volumen se ajustan a las condiciones de trabajo de pH de los productos químicos.

A partir de los resultados obtenidos en cada técnica se aplicó el análisis de la varianza si existe diferencia entre las pruebas analizadas y una vez comprobada la existencia de la diferencia, se procedió a aplicar la prueba de la media de Duncan para

determinar en cuál de las medias diferentes existe la mayor reducción del componente analizado. Este método se aplicó para cada parámetro.

La Tabla 2, muestra la matriz de diseño a ser aplicada en cada una de las tecnologías involucradas.

Tabla 2. Matriz de diseño completamente aleatoria

Repetición	Técnicas			
	Coagulación	Floculación	Oxidación	Ozono
1	C <sub>6</sub>	F <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	Oz <sub>2</sub>
2	C <sub>4</sub>	F <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	Oz <sub>1</sub>
3	C <sub>3</sub>	F <sub>6</sub>	O <sub>6</sub>	Oz <sub>3</sub>
4	C <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	O <sub>3</sub>	Oz <sub>5</sub>
5	C <sub>5</sub>	F <sub>5</sub>	O <sub>1</sub>	Oz <sub>4</sub>
6	C <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	O <sub>5</sub>	Oz <sub>6</sub>

En el mismo se observa que cada una de los ensayos a realizar en las distintas técnicas se identificaron con la inicial del nombre de cada tecnología (C=coagulación, F=floculación; O = oxidación y Oz = ozono) cuyos subíndices (1,2,3,4,5 y 6) corresponden al número de ensayo realizado aleatoriamente.

## 5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los colorantes objetos de estudio son los de mayor agresividad ambiental conocidos con los nombres de: Negro sulfuroso (AUXIPRINT X – NC), Rojo (AUXIPRINT XGR) y Azul oscuro (AUXIPRINT X – SK). En la caracterización físico química del efluente sin tratamiento, se encontró que la mayoría de los parámetros analizados (DBO<sub>5</sub>, DQO, sulfatos y sulfuros,) se encuentran fuera de la normativa ambiental. No se encontraron metales tóxicos y sustancias cloradas. El tratamiento del agua debe orientarse hacia la eliminación de las sustancias orgánicas, lo que conduciría a una disminución del DBO<sub>5</sub>, DQO, y al control de los aniones sulfatos, sulfuros, nitratos y nitritos. La caracterización del efluente tratado con las tecnologías de coagulación y floculación lograron bajar los niveles de DBO<sub>5</sub> y DQO al límite máximo establecido en el Decreto 883. Los sulfatos y sólidos totales permanecen elevados y los sulfuros casi entran en el rango del límite máximo permitido (Decreto 883). En el tratamiento con cloro

se aprecia que los sólidos totales disminuyen mucho más que en el caso anterior, sin embargo siguen estando lejos de los valores límites. El cloro y el hipoclorito de sodio, también conocidos como agua de Javelle, son más efectivos en medio ácido, donde aparece el ácido hipocloroso (HClO), prácticamente sin disociar. A pH muy bajos ( $< 3$ ) se desprende cloro ( $\text{Cl}_2$ ) y en soluciones básicas el poder oxidante se va perdiendo. Si bien es cierto que para concentraciones elevadas el tiempo de inducción es muy corto, no es menos cierto que para estas concentraciones gran parte del ozono no reacciona y la eficiencia del proceso disminuye. La producción de ozono es un proceso muy caro y en consecuencia si se pierde ozono en el tratamiento, el proceso no es económicamente rentable. A pesar de que los colorantes tanto ácidos como básicos solo están presentes en pequeñas concentraciones (algunos ppm) su estabilidad es tal que previenen cualquier tratamiento.

## **CONCLUSIONES**

- 1.- Se concluye en definitiva que el tratamiento con ozono es el más indicado y el menos dañino para el ambiente.
- 2.- El tratamiento con ozono fue más ventajoso que el resto de los tratamientos utilizados.
- 3.- En aquellos casos en los cuales las concentraciones de colorantes es muy alta (2500 mg x l<sup>-1</sup> o más), es conveniente combinar las tecnologías de carbón activado, osmosis reversa, resinas y ozono.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Empresa Regional Desarrollo Hidráulicos Cojedes (ERDHC). 2002, Diagnostico de la calidad de las aguas superficiales en el estado Cojedes.
- MARN (1981). Estudio de Ordenamiento Territorial del eje Tinaquillo, San Carlos, El Amparo Estado Cojedes. Capítulo II. Diagnóstico.
- <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente (CEPIS). 2011. Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento 2000 en las ameritas.
- Hamza, A. (1992). Urban Environment infrastructure in the developing world. Constraints and challenges. Environment and development, 20 –24. New York.

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, 1999. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 36860. Extraordinario Diciembre 30, (1999).
- Decreto N° 883. (1995). (Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos). Gaceta oficial de la República de Venezuela. 5021 (Extraordinario), Diciembre 18. pp (10- 12).
- Estándar Methods for Examination of Water and Wastewater (2011).
- Diaz de Santos. (2009). Standard for Examination of Water and Wastewater. Traducido al idioma español bajo el título: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, pp (212- 236).
- Iacocca, C. (2004), Modelo de Control Predictivo, Tesis de maestría, U.S.B. Caracas. pp (109- 129).
- Kavanaugh, M. y Trussel, R. , (2006). Design of aeration towers to strip volatile contaminants from drinking water. J. Am. Water works Assoc. 72, 12,