

***EVALUACIÓN DEL REDIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE RESIDUALES DE LA TEXTILERA
“DESEMBARCO DEL GRANMA”, SANTA CLARA***

***EVALUATION OF THE RESIZING OF THE WASTE TREATMENT PLANT OF
THE TEXTILE COMPANY "DESEMBARCO DEL GRANMA", SANTA CLARA***

Isabel Cabrera Estrada^{1}, Dora Mendoza Martínez¹, Ismaray Nuñez¹,
Mercedes Arbona Cabrera¹ y Ana M. Contreras Moya¹*

¹ Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, Km 5 ½ Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Recibido: Julio 20, 2015; Revisado: Agosto 23, 2015; Aceptado: Septiembre 1º, 2015

RESUMEN

El incremento de las aguas residuales constituye un grave problema mundial. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar técnico, económico y ambientalmente del redimensionamiento de la planta de tratamiento de residuales de la Empresa textil “Desembarco del Granma”, de Santa Clara y ofrece una propuesta para mejorar el funcionamiento de la misma, específicamente con su proceso de tratamiento biológico mediante lodos activados. Como paso previo se evaluaron, mediante técnicas experimentales, las características del afluente y el efluente del sistema. Valores de DQO superiores a 90 mg/L evidenciaron implicaciones desfavorables para el cuerpo receptor y una aparente incapacidad del sistema para remover la materia orgánica hasta los niveles requeridos. Se realizó el recálculo de los parámetros de diseño/operación de la planta para las condiciones actuales del afluente, se obtuvo que dichos parámetros no están dentro de los valores recomendados y finalmente, se propuso y evaluó el aumento al 50 y 75 % del volumen de la cisterna de aireación y la puesta en marcha de dos o tres de los aireadores. Con la ampliación de la capacidad de la planta se logra un tratamiento que permite que el efluente cumpla con las normas establecidas para su vertimiento y por tanto se eviten daños al medio ambiente y el pago de multas por estos conceptos. Los indicadores económicos VAN, TIR y PRD, calculados, demuestran la aceptabilidad de la inversión necesaria para implementar las modificaciones. Todo esto en conjunto demuestra que el proyecto es implementable.

Palabras clave: aguas residuales, lodo activado, cisternas aireación.

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Isabel Cabrera, Email: icabrera@uclv.edu.cu

ABSTRACT

The increase of the sewage is a serious global problem. The objective of this work is to make an technical, economic and environmental evaluation of the resizing of the plant for the treatment of waste water from the textile company "Desembarco del Granma", in Santa Clara and to offer a proposal to improve the functioning of the same company, specifically with its process of biological treatment using activated sludge. As a preliminary step, using experimental techniques, the characteristics of the tributary and the effluent from the system were evaluated. COD values higher than 90 mg/L showed adverse implications for the body receiver and an apparent inability of the system to remove organic matter to the levels required. The recalculation of the parameters of design/operation of the plant for the current conditions of the tributary was made. It is obtained that these parameters are not within the recommended values and finally, it was proposed and evaluated the increased to 50 and 75 % of the volume of the aeration tank and the commissioning of two or three of the air vents. With the expansion of the plant's capacity will be achieve a treatment that allows the effluent meet established standards for dumping and therefore avoids damage to the environment and the payment of fines for these concepts. The economic indicators NPV, IRR and PBP calculated, demonstrate the acceptability of the investment required to implement the modifications. All this together proves that the project is deployable.

Key words: wastewater, activated sludge, aeration tanks.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de ríos y arroyos por contaminantes químicos se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves del siglo XXI. Los sectores socioeconómicos con mayor incidencia en la contaminación son: el agropecuario, el azucarero, la Industria básica y la alimentaria. Las aguas y líquidos residuales, desechos sólidos (vertidos o almacenados), humus, almacenamiento y transporte de materias primas, accidentes y fugas, de estos y otros sectores industriales son causa fundamental de la contaminación (Koussens, 2006). La industria textil convencional utiliza grandes cantidades de agua y productos químicos en sus procesos. Los contaminantes de las aguas residuales textiles se dividen en seis grupos principales: tensoactivos, encolantes y ensimajes, secuestrantes, colorantes, fijadores de colorantes, suavizadores y otros tipos de acabados (Frey y col., 1998). Existen distintos tipos de tratamientos para la depuración de residuos líquidos. En términos generales, los mismos pueden considerarse físico-químicos o biológicos. Sin embargo, los tratamientos más usados son los que involucran microorganismos, por ser muy económicos, eficientes y porque no producen subproductos contaminantes, además de utilizarse en lugares donde se generan contaminantes orgánicos, como en el caso de la industria textil (Chudoba, 1986) . Para medir la efectividad de los procesos de tratamiento señalados y/o describir la composición de las aguas residuales, se emplean distintas mediciones físicas, químicas y biológicas (Zaror, 2000). El tratamiento de las aguas residuales de la Empresa textil "Desembarco del Granma", está compuesto de un proceso biológico mediante lodos activados. Este tipo de proceso es muy eficiente en la remoción de

materia orgánica disuelta y en suspensión, aunque posee gran sensibilidad a las variaciones en el flujo de agua a tratar. La mayoría de los parámetros de diseño del sistema de lodos activados de esta empresa concuerdan con un proceso de aireación extendida. Ante el incremento de la producción en la textilera “Desembarco de Granma”, resulta insuficiente la capacidad del sistema de tratamiento de residuales instalado. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar técnico, económico y ambientalmente el redimensionamiento de la planta de tratamiento de residuales de la Empresa textil “Desembarco del Granma”, de Santa Clara.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como paso inicial para a la evaluación del sistema de lodos activados, se caracterizan las aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del Granma”. Los procedimientos analíticos utilizados para ello, así como la simbología y unidades de medición, se corresponden con lo establecido en “Standard Methods for Water and Wastewater Examination”, Edición N0 20. (1995), y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas. Se tomaron dos puntos de referencia el primero a la entrada de la planta de tratamiento (afluente) y el segundo a la salida de la planta (efluente). Los análisis realizados se muestran en la tabla 1 así como los límites máximos permisibles para el vertimiento de las aguas residuales según la (NC-27, 2012). El muestreo se realizó en los meses de enero a marzo del 2015. Posteriormente se realizaron análisis de DQO en los meses de mayo y junio. En la figura 1 se aprecia la inestabilidad que ofrecen los valores de DQO del efluente de la planta. Se realizó una carta de control, que aparece en la figura 2. Se procedió a la determinación de datos experimentales necesarios para realizar los balances de masa y los cálculos de parámetros de operación del sistema.

Tabla 1. Caracterización del residual afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del combinado textil “Desembarco del Granma”

| <i>Parámetros</i> | <i>U.M.</i> | <i>Valor Real entrada</i> | <i>Según norma</i> | <i>Valor real salida</i> | <i>Según norma</i> |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| pH | | 9,34 | 8÷12 | 8,50 | 6÷9 |
| Conductividad Eléctrica | us/cm ² | 1 235 | 4 000 | 1 300 | 2 000 |
| Temperatura | °C | 32 | 50 | 28 | 40 |
| Sólidos sedimentables | mg/L | 1 | 10 | 0,010 | 2 |
| DBO ₅ | mg/L | 255 | 300 | 36,7 | 40 |
| DQO de reflujo | mg/L | 424 | 700 | 101 | 90 |
| Nitrógeno total | mg/L | 63 | - | 2 | 10 |
| Fósforo total | mg/L | 0,27 | - | 0,07 | 4 |
| SST | mg/L | 25 | 3÷300 | 22 | 30 |
| SSV | mg/L | 7 | - | 14 | - |
| SSF | mg/L | 18 | - | 8 | - |
| n-Hexano | mg/L | 9 | 50 | 4 | 10 |

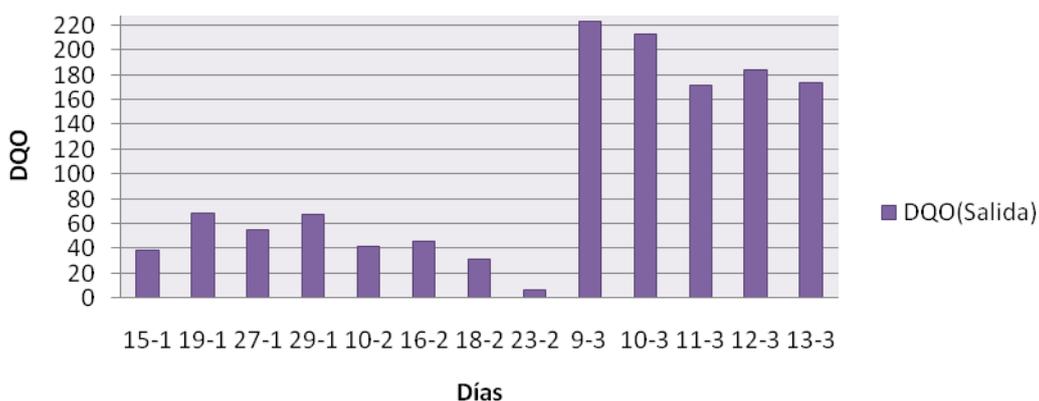


Figura 1. Comportamiento de la DQO medida en las aguas residuales a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales en el combinado textil “Desembarco del Granma”

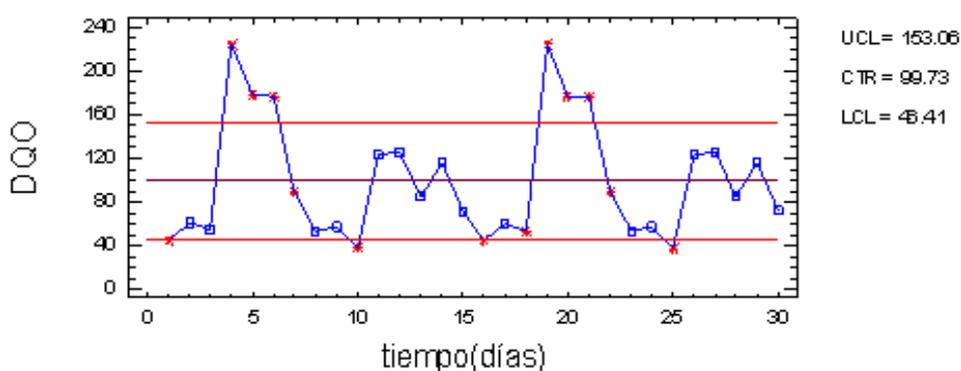


Figura 2. Carta de control para la DQO de la corriente de salida de la planta de tratamiento de residuales del combinado textil “Desembarco del Granma”

En la tabla 2 se reflejan los resultados de la caracterización de sólidos para diferentes puntos del sistema. En la planta actual solamente funciona una cisterna para el tratamiento biológico, ya que en el 2003 el flujo de aguas residuales a tratar disminuyó debido a la depresión sufrida por la industria, (Milán, 2003).

Tabla 2. Concentración de sólidos en diferentes puntos de análisis

| <i>Parámetros</i> | <i>Muestras</i> | | | | | |
|-------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> |
| SST (mg/L) | 25 | 47 | 4272 | 9657 | 385 | 22 |
| SSV (mg/L) | 7 | 10 | 2968 | 8272 | 205 | 14 |
| SSF (mg/L) | 18 | 37 | 1307 | 1385 | 180 | 8 |

Donde: (1) Entrada al sistema. (2) Entrada al aireador. (3) Salida de los aireadores. (4) Corriente de retorno del lodo. (5) Salida de primera sedimentación. (6) Salida de segunda sedimentación.

El caudal afluente (Q) en estos momentos, como promedio, es de 3600 m³/día, y se incumplen las normas de vertimiento. Se realizaron los cálculos de los balances de masa y principales parámetros de operación, siguiendo la metodología propuesta por Díaz

(1987). Estos cálculos se realizaron bajo la consideración de las siguientes variantes: variante actual, con un flujo de 3 600 m³/día y un solo compartimiento; variante 1, con un flujo de 3 600 m³/día y dos compartimientos; variante 2, con un flujo de 7 200 m³/día y tres compartimientos.

Para la evaluación económica de las variantes analizadas las alternativas fueron: (A) Operar sólo con dos compartimientos del tanque de aireación, cerrando las aberturas con un sistema de compuertas de acero inoxidable; (B) Operar sólo con tres compartimientos del tanque de aireación, cerrando las aberturas con un sistema de compuertas de acero inoxidable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores de la tabla 1, parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos suspendidos, el contenido de grasas (n-Hexano), el de fósforo total, los sólidos sedimentables, y la temperatura, no presentan alteraciones con respecto a los valores normados, encontrándose en los rangos establecidos tanto para el efluente como para el afluente y no afectando, por consiguiente, el desarrollo del proceso. En el caso de la DQO el valor establecido por la norma de vertimiento (NC: 27:2012) para este indicador de la contaminación es de 90 mg/L. La inestabilidad de la DQO y las fluctuaciones presentadas por los sólidos suspendidos totales (SST) en la corriente de retorno lodo (RL) y en la salida de la cisterna de aireación (SCA) tienen su génesis en la inconsistencia productiva de la fábrica, cuyas áreas productivas, algunas generadoras de materia orgánica biodegradable y otras no, trabajan con niveles de producciones muy fluctuantes y desiguales entre sí, e incluso con períodos de paradas por diversos motivos. El gráfico de control se construyó bajo la asunción de que los datos proceden de una distribución normal con una media igual a 99,7333 y una desviación típica igual a 37,7069. El sistema no está en control estadístico. Se puede afirmar que el proceso desde el punto de vista estadístico está fuera de control al 99% de nivel de confianza. Al analizar los resultados desde el punto de vista técnico se deben considerar que los puntos que se encuentran por debajo del límite inferior no incumplen con la norma de vertimiento; sin embargo hay 12 puntos que tienen valores superiores a los permitidos por norma por lo que no están en control desde el punto de vista técnico del proceso, aunque se encuentren 6 de ellos estadísticamente aceptados. Valores de DQO superiores a 90 mg/L evidencian implicaciones desfavorables para el cuerpo receptor y una aparente incapacidad del sistema para remover la materia orgánica hasta los niveles requeridos. Tanto a la entrada como a la salida de la planta, la DQO es muy inestable, lo que provoca variaciones significativas del grado de biodegradabilidad del residual. En la tabla # 3 se muestran los resultados de los cálculos de los parámetros de operación en las condiciones actuales. El factor de carga (Bx) calculado tiene un valor de 0,2 kg DBO/ kg SSVLM*d, el cual es superior al recomendado por la literatura (Díaz, 2006) que reporta un intervalo de 0,05 a 0,15 kg DBO/ kg SSVLM*d, esto significa que existirá en proporción, más sustrato que el que pueden degradar los microorganismos presentes. La carga volumétrica (Bv), 0,352 kg DBO afluente/ m³d se encuentra dentro del intervalo establecido que es de 0,1-0,4 kg DBO afluente/ m³d. El tiempo de residencia hidráulico (θ), calculado es de 7,514 h, lo que resulta inferior al recomendado por la literatura el cual es de 18 a 36 horas, por lo cual resulta insuficiente

para lograr un tratamiento efectivo, lo cual hace que la DQO del efluente esté por encima de la norma de vertimiento. Esto último se aprecia en la carta de control que aparece en la figura 2. El tiempo de residencia medio celular calculado (\bar{x}) es 5,093 días y es mayor que el tiempo de residencia hidráulico. Al ser menor el tiempo de residencia medio celular que el recomendado (20-30 días) no se garantiza una buena formación de flóculos activos. Otros factores que influyen son: el pH, la temperatura y un correcto balance nutricional, este último afectado en el proceso por la no adición de nutrientes. La eficiencia de remoción es de 80,5%, la cual corresponde al intervalo reportado en la literatura (Díaz, 2006).

Tabla 3. Resultados de los cálculos de los parámetros de operación

| Q_{ss1} (m^3/d) | $DBO_5/$ DQO | $\theta(d)$ | $\theta(h)$ | $\bar{\theta}_x$ (d) | $Bx(d^{-1})$ | Bv ($mg\ DBO_5/L*d$) | $K(kg/h)$ |
|--------------------------|-------------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| 4837,19 | 0,340 | 0,31 | 7,514 | 5,09 | 0,2076 | 352,243 | 46,89 |

Donde: K: requerimiento teórico de oxígeno

En la tabla 4 están resumidos los valores calculados para las diferentes variantes analizadas:

Tabla 4. Resultados del recálculo de los parámetros de diseño/operación del sistema de lodos activados de la empresa textil.

| <i>Parámetros</i> | <i>Variante actual</i> | <i>Variante 1</i> | <i>Variante 2</i> | <i>Reportado en la bibliografía</i> |
|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|
| SSVLM (mg/L) | 2 968 | 3 102,66 | 4 136,88 | 3 000÷6 000 |
| (h) | 7,51 | 18,16 | 13,62 | 18-36 |
| \bar{x} (día) | 5,9 | 27,52 | 29,74 | 20-30 |
| Bv (kg DBO_5/m^3 -día) | 0,47 | 0,23 | 0,31 | 0,1-0,4 |

Los parámetros están dentro del rango establecido por la literatura o los valores de diseño de la planta. Se logra un incremento del tiempo de retención y se mantiene dentro de los valores satisfactorios el parámetro de la edad del lodo, de esta forma, una vez modificada, la planta trabajará correctamente. Si la planta no logra cumplir con las normas de vertimiento es multada por el CITMA, lo cual resulta un incremento en los gastos de la misma y daña la imagen de la entidad. Con la implementación del sistema propuesto se evitan daños al medio ambiente y daños evaluados como multas dejadas de pagar en la cuantía de \$ 1 750/mes. Se puede estimar la ganancia que se obtiene si el agua tratada se vende a los agricultores de las áreas aledañas y puede considerarse como un ahorro si la misma se recircula al proceso y se deja de pagar por su adquisición. Para la venta de agua se ofrecería un precio de 0,3 \$/m³ con lo cual la empresa recuperaría parte del dinero invertido en esta y se contribuye al pago de la inversión. Bajo estas consideraciones, ahorro del pago de multas y venta de agua a los agricultores se estima la ganancia según el cálculo siguiente:

$$\text{Ganancia} = (\text{Valor de la Producción} - \text{CTP}) + \text{Pago de multas} \quad (1)$$

Tabla 5. Indicadores económicos para las variantes de recálculo aplicadas

| <i>Producto</i> | <i>Variante 1</i> | | <i>Variante 2</i> | |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | <i>Cantidad Anual (\$/año)</i> | <i>Valor de la producción</i> | <i>Cantidad Anual (\$/año)</i> | <i>Valor de la producción</i> |
| Agua | 1 080 000 | 324 000 | 2 160 000 | 648 000 |
| Ganancia (\$) | | 57 622,99 | | 100 385,40 |
| VAN(\$) | | 135 261,91 | | 64 222,46 |
| TIR (%) | | 18 | | 20 |
| PRD (años) | | 5,7 | | 5 |

4. CONCLUSIONES

1. Con el aumento de la capacidad de la cisterna de aireación de la referida planta en un 50 % o 75 % (según el flujo de agua a tratar), se logra una mejor adaptación de la instalación a los requerimientos actuales y que el efluente cumpla con las normas establecidas para su vertimiento
2. Los indicadores económicos VAN igual a \$64 222,46, la TIR de 20% y PRD de 5 años, calculados para un período de cinco años, demuestran la aceptabilidad de la inversión necesaria para implementar las modificaciones para las dos variantes analizadas, haciéndose factible la inversión, esta evaluación demuestra que el proyecto es ejecutable.
3. El principal beneficio esperado es la mitigación del impacto ambiental negativo que ejercen las aguas contaminadas sobre el entorno, lo cual se logra con la adecuación de las capacidades instaladas.

REFERENCIAS

- Chudoba, J., Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación de aguas residuales, Ciudad de La Habana, ISPAJE, 1986, pp. 27-31.
- Díaz, B. R., Tratamiento de aguas y aguas residuales, Ciudad de la Habana, Cuba, 2006, pp. 309-312.
- Frey, M., Mariano, L., Yáñez, P., Impacto ambiental de productos químicos auxiliares usados en la industria textil argentina., 1998, Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/impacto/impacto.html>.
- Koussens, B., Economía y reciclados del agua en la industria del acabado textil., Soluciones técnicas para la depuración de las aguas residuales, [Online], 2006, Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf.
- Milán, M. C., Evaluación del Sistema de Lodos Activados de la Empresa textil “Desembarco del Granma”. Tesis presentada en opción al Grado Académico de Máster en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2003, pp. 26-27.
- NC-27 2012., Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado., Especificaciones, Cuba.
- Zaror, Z. C. A., Introducción a la Ingeniería Ambiental para la industria de Procesos., Universidad de Concepción, Chile, 2000, pp. 6-22.