



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

REACTOR EXPERIMENTAL PROTOTIPO DE FLUJO CONTINUO Y MEZCLA COMPLETA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Sergio Andrés Peña Perea, Gina Marcela Montaña Grosso, Eimy Mildred Sigua Tumay

**Fundación Universitaria de San Gil
Yopal, Colombia**

Resumen

Para el tratamiento de las aguas residuales, se utilizan reactores biológicos, en donde crecen microorganismos capaces de degradar la materia orgánica. Dependiendo de la calidad y la composición del agua, el tratamiento puede ser aerobio o anaerobio.

El reactor prototipo de flujo continuo y mezcla completa fue diseñado para la realización de un tratamiento aerobio, con un proceso de lodos activados, tipo aireación extendida, y de forma tal, que se pueda ahorrar espacio en el momento de su implementación.

El reactor está construido inicialmente en acrílico transparente, con un grosor de pared de 4 milímetros, con lo cual, se puede visualizar lo que está pasando en cada una de las unidades, pues se tienen dentro del prototipo, unidades de sedimentación y unidades para tratamiento terciario.

La prueba para la puesta en marcha del reactor se realizó en el laboratorio de ciencias básica de la Fundación Universitaria de San Gil con sede en Yopal, en un tiempo de 19 días. Para la realización de la prueba, se contó con una bomba tipo pecera SP 601F con filtro plástico incluido, para la alimentación del fluido desde un reservorio donde permanecía agitada el agua con la misma bomba. Para la aireación y agitación del Licor de Mezcla (LM), se utilizó una bomba de aire Marca HLCS, modelo 1848, con sistema de regulación de cantidad de aire. Se tomaron datos diarios y cada 12 horas de Sólidos Disueltos Totales (SDT), Temperatura, pH y conductividad, y para la determinación de la eficiencia del proceso se realizó un análisis de agua inicial y dos análisis durante el proceso y después de finalizado. Se utilizó agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Yopal.

La eficiencia de remoción de carga contaminante del reactor prototipo, tomando los valores de DBO_5 , DQO y sólidos Suspendidos Totales (SST), fueron respectivamente del 92,56%, 87,5% y 94,79%, según lo establecido en el artículo 72 del decreto 1594 del 1984.

Palabras clave: reactor; lodos activados; tratamiento efluentes

Abstract

For the treatment of waste water, biological reactors, where growing microorganisms capable of degrading the organic material are used. Depending on the quality and the composition of the water, the treatment can be aerobic or anaerobic.

The prototype of continuous flow and complete mixing reactor was designed to carry out aerobic treatment, activated sludge process, type aeration, and so that you can save space at the time of its implementation.

The reactor is built initially in acrylic transparent, with a 4 mm wall thickness, so you can watch what is happening in each of the units, as they have in the prototype, sedimentation units and units for tertiary treatment.

The Test for the implementation of the reactor was in the basic science lab of the University Foundation of San Gil with headquarters in Yopal city, in a time of 19 days. To carry out the test, we had a pump type SP 601F tank with plastic filter included, for the feeding of fluid from a reservoir where it remained agitated water with the same pump. Aeration and agitation of the mix liquor (ML), was an air pump brand HLCS, model 1848, with amount of air regulation system. Daily data were taken and every 12 hours of total dissolved solids (TDS), temperature, pH and Conductivity, and for the determination of the efficiency of the process was carried out an analysis of initial water and two tests during the process and after completion. Residual water from the el Yopal city sewage treatment plant was used.

The efficiency of removal of pollutant load of reactor prototype, taking the values of BOD₅, COD and solid mounted total (SMT), were respectively 92,56%, 87.5% and 94,79%, as provided for in article 72 of the Decree 1594 of 1984.

Keywords: reactor; activated sludge; effluent treatment

1. Introducción

Un reactor para tratamiento de aguas residuales, consiste en un depósito donde se llevan a acabo procesos de biodegradación de los compuestos orgánicos contenidos en el agua residual, y pueden operar de forma continua, es por esto que este tratamiento se denomina tratamiento biológico y se clasifica dentro de los sistemas de lodos activados.

Entre los diferentes tipos de tratamiento con lodos activados, está el llamado “aerobio de mezcla completa” que consiste básicamente, como lo describe (Arango, 2005) en dos tanques: un primer tanque de aireación, donde se da la mezcla del agua residual ó afluente con el lodo activo por medio de la oxigenación y mezcla mecánica del mismo, pasando al segundo tanque sedimentador, que permite la separación gravitacional del lodo con el agua tratada.

Según (Orozco J, 2005) el proceso de lodos activados es el más eficiente de los tratamientos de agua residual conocidos, es decir con una eficiencia entre el 80 y el 99% de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Sin embargo, existe un gran problema en lo que respecta a los sistemas implementados para el tratamiento de aguas residuales aerobios, ya que la mayoría de las veces estos sistemas no se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento, y dentro de los reactores implementados se forman zonas muertas que impiden un proceso normal de tratamiento, debido principalmente a que no se plantearon antes de la implementación, modelaciones y análisis del funcionamiento hidrodinámico de los reactores diseñados, e incluso pruebas con reactores prototipo para conocer su funcionamiento.

La idea con el prototipo planteado dentro de la investigación realizada es optimizar espacio, minimizar zonas muertas y facilitar el mantenimiento y la operación del sistema. Inicialmente se diseñó una unidad comprendida por el tanque de mezcla, el sedimentador y dos depósitos pequeños como sistemas para el tratamiento terciario o mejoramiento del efluente.

La eficiencia del reactor se mide tomando en cuenta la normatividad vigente en cuanto a calidad de efluentes líquidos tratados, según el decreto 1594 del 1984.

2. Metodología

El trabajo realizado se ajustó según la metodología de investigación experimental, donde se trabajó con más de dos variables manipulables. Los cálculos para el diseño del reactor fueron deducidos según los procedimientos de (Metcalf y Eddy, 1998).

El montaje experimental se realizó en el laboratorio de ciencias básicas de la Fundación Universitaria de San Gil, en la sede de Yopal. El prototipo se construye en acrílico transparente como medida para la observación de los procesos dentro del reactor.

El diseño del sistema planteado comprende una cámara de aireación de forma cilíndrica, donde se acondicionó el licor de mezcla (LM), diseñada para un volumen de 10,38 litros, un sedimentador con un volumen de 11,75 litros y dos módulos cilíndricos también insertos a la pared del sedimentador para experimentos a futuro para mejoramiento de efluentes y/o proponer tratamientos terciarios. Como lo que se propuso fue un ahorro en espacio, la cámara de reacción se diseñó de tal forma que quedara incrustada dentro del sedimentador, lo que permitió un ahorro en espacio.

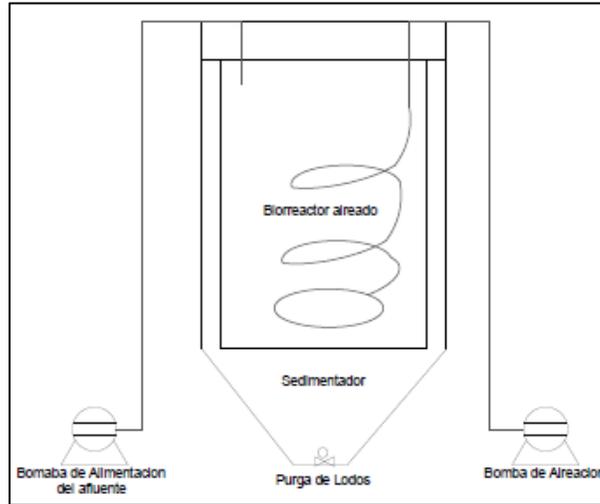
También se contó con elementos externos para la realización del ensayo. Para la alimentación de agua residual al reactor, se acondicionó a la pared del reactor, una llave de paso pequeña conectada a una bomba de agua tipo pecera SP 601F con filtro corrugado en plástico incluido. Para la alimentación de aire, se utilizó una bomba de aire también tipo pecera Marca HLCS, modelo 1848, la bomba de aire incluye un sistema de regulación de cantidad de aire. Se acondicionaron llaves de paso para el efluente conectada en la parte superior del sedimentador y en la parte inferior del sedimentador para purga de lodos en el sedimentador.

Un esquema del montaje se presenta en la Figura 1. Donde se muestran los elementos utilizados para la realización de la prueba.

Para la recolección del agua tratada, se contó con un tanque plástico de 70 litros, como lo muestra la Figura 2. Y para la alimentación de agua residual, se contó con un recipiente plástico de agua de 20 litros, en donde se introdujo la bomba de agua. La bomba de agua tipo pecera, tiene un mecanismo que permite tener dos salidas de agua, con lo cual se pudo realizar mezcla hidráulica del agua residual.

Para la puesta en marcha del reactor, se utilizó agua proveniente de la salida del desarenador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Yopal “PLANTAR”, agua que fue almacenada en el recipiente de 20 litros con agitación hidráulica facilitada por la bomba de alimentación.

Figura 1. Montaje del reactor propuesto



Fuente: Los autores.

La aireación del LM fue facilitada mediante la utilización de un difusor flexible montado en el fondo de la cámara de reacción, conectado mediante una manguera de 5 mm de diámetro a la bomba de aire. El montaje final para la prueba se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Montaje del sistema en laboratorio



Fuente: los autores

El agua residual utilizada tenía las características deseadas para la realización de la prueba, una DBO₅ y una DQO altas y con gran cantidad de sólidos suspendidos totales, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis de agua residual de la muestra de agua residual afluyente al reactor y tomada el primer día

Parámetro	Unidades en mg/l
DBO ₅	995
DQO	1280
Grasas y Aceites	487
Oxígeno disuelto	0,07
Sólidos sedimentables	2,5
SST	288

Fuente: Laboratorio SOLAM E.U.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual fueron realizados por un laboratorio ambiental denominado Soluciones Ambientales e.u. (solam e.u.); cada una de las muestras analizadas, fueron tomadas con el debido procedimiento; con el fin de no alterar los resultados en el transporte, SOLAM facilitó propiamente los elementos necesarios para la toma de las muestras.

3. Resultados y discusión

Inicialmente se llenó la cámara de reacción con 10 litros de la muestra de agua proveniente de la planta PLANTAR, donde se acondicionó el LM durante 10 días, tiempo desde el cual, se empezó a generar el flujo de caudal constante de 0,16 l/h, a partir de este momento se empiezan a tomar lecturas de pH, conductividad, SDT y temperatura de agua cada 12 horas.

Las mediciones se realizaron diariamente, en la mañana y en la tarde con un intervalo de tiempo de 12 horas. Los valores de pH, no sobrepasaron las unidades de 5 a 9, cumpliendo con los valores estipulados por la norma. La conductividad del agua en el Biorreactor que varió entre 1400 μ S y 1100 μ S durante todo el periodo de estudio, indica la presencia de impurezas, y más concretamente sales disueltas en el agua residual. En cuanto los SDT se obtuvo como resultado un valor máximo de 718 mg/L el primer día, y un valor mínimo de 583 mg/L en los últimos días, y la temperatura mostro una variación de valores entre 28 y 29 °C los primeros 7 días; luego se tomaron lecturas de 25 y 27 °C los 12 últimos días, siendo una medida fundamental en la variación de los diferentes parámetros analizados diariamente, y que afectó directamente los parámetros de evaluación de eficiencia del reactor.

Para la determinación de la eficiencia del reactor, se evaluaron los parámetros de calidad de agua residual, según lo estipulado en la normatividad vigente, que exige un mínimo de remoción en carga contaminante del 80% representado como DBO₅ y remoción de los Sólidos Suspendidos Totales, SST del 80% también, y además se evaluaron parámetros como grasas y aceites, oxígeno disuelto, DQO, y sólidos sedimentables.

Después de realizado el proceso que duró 19 días después de los 10 días de acondicionamiento del lodo, se evaluaron los mismos parámetros para determinación de eficiencia de tratamiento del reactor a lo 12 días y a los 19 días después de iniciado el proceso.

Los resultados de los parámetros evaluados se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis de parámetros físico-químicos de interés del proceso realizado

PARÁMETRO	RESULTADOS			UNIDADES
	Muestra analizada proveniente de la Planta PLANTAR	Tomada en el Sedimentador el día 5 de Julio, a los 12 días de operación del Biorreactor	Tomada en el Sedimentador el día 12 de Julio, a los 19 días de operación del Biorreactor	
DBO ₅	995	63	74	mg/L O ₂
DQO	1280	128	160	mg/L O ₂
Grasas y aceites	487	13	7,4	mg/L
Oxígeno Disuelto	0,07	2,11	7,55	mg/L O ₂
S. Sedimentables	2,5	0,1	0	ml/L
SST	288	14	15	mg/L
SSV		45	85	mg/L

Fuente: Laboratorio SOLAM E.U.

Como se puede observar en el cuadro anterior, los parámetros analizados muestran una remoción de la carga contaminante a valores muy bajos, iniciando con una DBO₅ de 995 mg/l y observándose al final del proceso una DBO₅ de 74 mg/l, con una eficiencia en remoción de DBO₅ del 92,56%. También se puede observar que la remoción de DQO estuvo en 1120 unidades, con una eficiencia de remoción del 87,5% y referente a los valores de Sólidos Suspendidos Totales que se redujeron en 273 unidades, se pudo obtener finalmente una eficiencia de remoción de éste parámetro del 94,79%. Todos los parámetros al final del proceso cumplieron con la normatividad establecida para el tratamiento de las aguas residuales.

En el caso de remoción de grasas y aceites, el proceso también fue satisfactorio, reduciendo la cantidad de estos en 479,6 unidades.

Podemos observar también que la cantidad de aire inyectada en el LM provocó un aumento del oxígeno disuelto, parámetro que nos indica si el agua residual es apta para ser vertida a una fuente superficial sin ocasionar un alto impacto en el ecosistema.

4. Conclusiones y recomendaciones

El reactor diseñado y puesto en marcha obtuvo una alta eficiencia según lo establecido en el artículo 72 del decreto 1594 del 1984, con las características del agua al inicio del proceso.

Se presentaron inconvenientes al inicio de la prueba con las llaves de paso, por lo que se recomienda utilizar un sistema de bombeo más robusto, y con una bomba peristáltica que garantice un caudal constante sin taponamiento en la conducción.

El reactor diseñado es una muy buena alternativa en cuanto al ahorro de espacio, ya que en una sola unidad se pueden realizar tratamiento primario, secundario y hasta terciario, parámetro que será importante a la hora de implementar un sistema a escala.

Se recomienda también el uso de sistemas electrónicos controlados para optimizar el funcionamiento del reactor y poder manipular variables como cantidad de oxígeno influente y toma de datos en tiempo real y con menores períodos de tiempo.

En cuanto a la recirculación del lodo es necesario implementar un sistema confiable, pues el utilizado no fue el más conveniente, se recomienda entonces una recirculación mecánica o automatizada.

Es necesario realizar una evaluación del comportamiento hidráulico del reactor y determinar posibles cambios antes de ser implementado a escala como un sistema de tratamiento.

5. Referencias

- ARANGO, L., LOPÉZ, J. 2011. “Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque”
- JARAMILLO, Á. 2005. Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño. Editorial. Escuela colombiana de Ingeniería. Acodal.
- METCALF Y EDDY. 1998 INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, Tratamiento, vertido y reutilización, tercera edición, Madrid; Mc Graw Hill, 1485 p. ; ISBN 84-481-1606-2 (Vol. II).
- ROJAS, Ricardo. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. En. CURSO INTERNACIONAL “GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” (2002: Brasil). Curso Internacional. Brasil: Cepis, 2002. 19p
- ROMERO Rojas Jairo Alberto, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Teoría y principios de diseño, tercera edición, Bogotá; ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA; 2004, 1248 p; ISBN 958-8060-13-3.

Sobre los autores

- **Sergio Andrés Peña Perea.** Ingeniero Sanitario y Ambiental, Especialista en Gerencia de Proyectos. Director Grupo de investigación TERRANARE. Docente tiempo completo del programa de Ingeniería Ambiental, UNISANGIL Sede Yopal
- **Gina Marcela Montaña Grosso.** Ingeniera Ambiental. Egresada del programa de Ingeniería ambiental. Joven Investigadora Grupo de Investigación TERRANARE. UNISANGIL Sede Yopal.
- **Eimy Mildred Sigua Tumay.** Ingeniera Ambiental. Egresada del programa de Ingeniería Ambiental. Joven Investigadora Grupo de Investigación TERRANARE. UNISANGIL Sede Yopal.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)