

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO ECONOMICO PARA EL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA PEQUEÑA

E. Chacín, N. Fernández y T. Ferruolo
División de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad del Zulia
Maracaibo, Venezuela

RESUMEN

Los reactores por carga no son muy usados como sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo este tipo de tratamiento es más económico y con manejo y control más simple que otros, lo cual puede resultar de gran utilidad cuando los caudales de aguas residuales sean bajos y con cargas polucionales variadas como es el caso de la industria camaronera estudiada.

En el presente trabajo de investigación, se estudió el uso de el reactor por carga de mezcla completa, como sistema de tratamiento para las aguas residuales de una industria camaronera, bajo diferentes tiempos de retención celular ó edad del lodo y con determinaciones continuas de DBO₅, DQO, SST, SSV, pH, N y P; a fin de evaluar su uso para este tipo de efluente.

Del estudio realizado se determinó que dicho sistema de tratamiento, resulta muy bueno para la industria estudiada, disminuyendo en alto grado la carga polucional de tal efluente, en lo que respecta a DBO₅, DQO y SST.

ABSTRACT

Batch reactors have very limited use in field-scale biological wastewater treatment processes, although this type of treatment is more economic, simplest, and easy handle than others biological treatments, which can result of large benefit when the plant flow is low and the polutional load is changing as is the case of the shrimmer seller industry studied.

In the presente research work. It was studied the use of the Completely Mixed Batch Reactor, as the treatment of the wastewater from a shrimp seller industry under different celular detention time or sludge age, with continous determinations of BOD₅, COD, TSS, VSS, pH, N, P; to evaluate the use of the Completely Mixed Batch Reactor for this type of wastewater treatment.

From the studied it was determined, that this type of system of treatment result excellent for

the shrimp seller industry, because the reduction found in the polutional load such as, BOD₅, COD, and TSS.

INTRODUCCION

Gran número de industrias ubicadas en las riberas del Lago de Maracaibo, descargan sus efluentes sin ningún tipo de tratamiento, a las aguas del mismo, esto ocasiona problemas graves debido a que las descargas se van sumando, haciendo difícil la recuperación del Lago, en consecuencia el deterioro de ese reservorio de agua.

El propósito de este trabajo es estudiar el empleo de reactores por carga, como un sistema de tratamiento, para los efluentes de una industria pequeña donde se limpian y empacan camarones y cangrejas; la industria no posee ningún sistema de tratamiento de sus aguas residuales, descargándolas directamente al Lago. Se determinara si el reactor por carga como sistema de tratamiento biológico representa una buena alternativa para minimizar ó en todo caso eliminar la contaminación ocasionada por estos tipos de industrias con menor costo y mayor eficiencia.

Se concluye que el sistema de reactores por carga representa una buena alternativa de tratamiento, cuando se trata de efluentes pequeños, el cual resulta más económico y más fácil de operar que otros sistemas más complicados como lodos activados. Encontrándose una buena remoción de la DBO₅ y la DQO en porcentajes de 89 a 95% y 80 a 95% respectivamente, para una edad del lodo óptima de nueve (9) días y un tiempo de retención hidráulica de veinticuatro (24) horas. Además, en base a los resultados de DBO₅ obtenidos en el Reactor 3 se determinaron las constantes cinéticas que rigen el proceso de degradación biológica para este tipo de agua residual.

Finalmente se propone un sistema de tratamiento como alternativa, compuesto por: rejillas, equipo de bombeo, tanques de aireación y tratamiento de lodos.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL A TRATAR

Para la caracterización de dicha agua residual, se utilizaron los ensayos descritos por los métodos estandarizados para el análisis de aguas y líquidos residuales (1). Los análisis realizados fueron: DBO, DQO, SST, SSV, pH, Nitrógeno, Fósforo y Temperatura.

2.2. MONTAJE DE LOS REACTORES PARA REALIZACION DEL ESTUDIO

Para la realización del estudio se utilizaron una batería de seis reactores cilíndricos, construidos en plexiglass, con dimensiones de 16 cms. de diámetro y una altura de 60 cms.; el volumen de trabajo del reactor fue de aproximadamente 9 litros. Cada reactor constaba de una única cámara, donde se verifica tanto el tratamiento biológico, como la sedimentación (2).

El aire se suministró mecánicamente a través de difusores ubicados en el fondo de cada reactor, para mantener mezcla completa del contenido, así como también el adecuado nivel de oxígeno que garantizará un proceso completamente aeróbico.

2.3. ACLIMATACION DE LA MASA DE MICROORGANISMOS

La aclimatación es la fase en la cual se desarrolla, bajo ciertas condiciones, una masa de microorganismos, los cuales van a constituir los sitios activos de degradación, que se requieren para el tratamiento de las aguas residuales en el sistema seleccionado.

Inicialmente, se inocularon 200 ml de lodo en cada uno de los reactores y se completaron hasta los 9 litros con muestra de agua residual cruda. El lodo inoculado provenía de las tanquillas de descarga, de las aguas residuales de la empresa estudiada (3).

Posteriormente esta mezcla fue aireada por 22,5 horas continuas, para luego suprimir el suministro de aire por espacio de una hora, aproximadamente, período en el cual se permitía el reposo y consecuentemente sedimentación de la masa biológica (lodo). Finalizada esta operación, era posible extraer el sobrenadante en aproximadamente 1/2 hora, volumen variable durante el proceso de aclimatación, el cual era repuesto con muestra de agua residual cruda.

Se instalaron seis reactores de igual capacidad y con suministro de agua en la misma proporción, para así poder compararlos, al obtener resultados en cuanto a los parámetros a estudiar.

Los ensayos realizados durante este período

fueron: pH, Temperatura C, Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/L), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) (mg/L), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L), Nitrógeno y Fósforo en mg/L.

El proceso de aclimatación de la masa de microorganismos a las condiciones del agua residual de la industria camaronera se completó en aproximadamente cuarenta (40) días, período que se dividió en cinco (5) ciclos. Cada ciclo constituyó el tiempo de duración de la muestra de agua residual traída de la industria.

En este período de tiempo se operaban los seis (6) reactores de manera tal de conseguir un aumento considerable del lodo, hasta un valor bajo el cual el sistema trabajaba con un alto grado de eficiencia.

El volumen del licor mezcla descargado (VW) diariamente, dependía del tiempo de retención celular (θ_c) (4):

$$VW = V/\theta_c \quad \theta_c = V/VW$$

donde:

VW = volumen de licor mezcla descargado (Lts.)

V = volumen de operación del reactor (Lts.)

θ_c = tiempo de lodo (días)

2.4. EVALUACION DE LOS REACTORES BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACION

Una vez concluida la fase inicial de aclimatación, los reactores fueron sometidos a estudio variando las condiciones de operación, en la llamada fase experimental.

2.4.1. VARIACION DE LA EDAD DEL LODO (θ_c)

Los seis (6) reactores que operaron en la fase de aclimatación siguieron en la fase experimental y luego se seleccionaron cuatro (4) reactores, los cuales operaron con diferente edad del lodo. El reactor 3, trabajó con un $\theta_c = 9$ días; el reactor 4, con un $\theta_c = 4.5$; el reactor 5 con un $\theta_c = 3$ días y el reactor 6 con un $\theta_c = 2.25$ días.

Estos reactores continuaron operando con el mismo tiempo de retención hidráulico (θ_h) o tiempo de aereación, es decir, se reemplazaba el agua aproximadamente cada 24 horas. ($\theta_h = 24$ horas).

A partir de estas edades de lodo, se analizó la eficiencia en el tratamiento, y se seleccionó la edad de lodo óptima, para la cual tenía lugar la más alta eficiencia.

2.4.2. VARIACION DEL TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO (θ_h) O TIEMPO DE AIREACION Y DE LA EDAD DEL LODO (θ_c)

Fueron seleccionados los reactores 1 y 2 para operar con un $\theta_h = 12$ horas, es decir, se mantuvo la aireación durante doce (12) horas, y al cabo de estas se suspendía la aireación por las siguientes doce horas. Así operaron durante tres (3) días, tiempo en el cual se observaron sus condiciones de operación, para luego adoptarse una edad del lodo, $\theta_c = 9$ días para ambos reactores, luego pasados tres (3) días se varió la edad del lodo al reactor 2, $\theta_c = 4,5$ días.

Estas condiciones se plantearon en primera instancia, para observar como operaban los reactores con un tiempo de retención hidráulico de doce (12) horas y luego variando su edad de lodo para comparar entre el reactor 1 y 2.

2.4.3. SELECCION DE UN REACTOR EN CONDICIONES DE OPERACION OPTIMAS PARA LA TRATABILIDAD DEL EFLUENTE DE LA INDUSTRIA CAMARONERA

La fase de evaluación de condiciones se completó en cuatro ciclos más, total nueve ciclos.

De los seis (6) reactores en estudio se dejaron en observación solo cuatro (4): el reactor 1, $\theta_h = 12$ horas y $\theta_c = 9$ días; el reactor 2, $\theta_h = 12$ horas y $\theta_c = 4,5$ días; el reactor 3, $\theta_c = 9$ días y el reactor 5 $\theta_c = 3$ días; con θ_h para ambos igual a 24 horas. Al final de este noveno ciclo se dejaron solo los reactores 2 y 3, eliminando el resto de los reactores. Esencialmente se deseaba comparar la adaptación a la condición de operación con un $\theta_h = 12$ horas y un $\theta_h = 24$ horas, es decir, aireación por 12 horas versus aireación por 24 horas.

El indicativo de adaptación de los microorganismos a la edad del lodo, era el hecho de que los sólidos suspendidos totales y volátiles se mantenían constantes en el tiempo.

Al sobrenadante extraído, en las operaciones anteriores del estudio, le fueron realizados los siguientes análisis: DQO, DBO5 (al final de cada ciclo), Sólidos y pH.

En esta última evaluación del reactor 2 y 3, se analizó durante 24 horas, la DQO y la DBO, tomando muestras cada dos horas.

PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN ESTUDIO

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco

días (DBO5): Los valores de este parámetro encontrados en el agua residual fueron muy variados desde 450 mg/Lt. hasta 1500 mg/Lt. con un valor de diseño calculado con probabilidad del 90% de 1520 mg/L.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Los valores encontrados para este parámetro, al igual que los de la DBO5, se presentaron en un rango bastante amplio desde 620 hasta 2277 con un valor de diseño calculado con probabilidad del 90% de ocurrencia de 1870 mg/L.

Relación DQO/DBO5: Analizando los valores de esta relación, que van desde 1.04 hasta 1.86, con un valor promedio de 1.5, se nota que estos valores están cerca de la unidad, considerando además que la DBO última en realidad se acerca más al valor de la DQO; resultaría así que todos los casos muestreados el valor de esta relación podría aproximarse más a la unidad, lo que indica que el agua residual de la industria procesadora de camarones es factible de ser tratada mediante procesos biológicos, debido a su alto contenido de material orgánico biodegradable.

Sólidos Suspendidos Totales (SST) - Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV): En relación a la cantidad de sólidos totales, característica física importante de las aguas residuales, se puede decir que es bastante bajo, encontrándose en el orden de 40 a 50 mg/Lt., esto ocurre porque en el proceso los sólidos grandes o restos de camarones son retenidos por rejillas y así los sólidos suspendidos de menor tamaño son los que pasan. Cabe destacar que este material sólido que origina la apariencia turbia del agua que sale de la industria corresponde en su mayoría a sólidos volátiles, con un valor de 35 a 40 mg/Lt., lo que determina que casi todo el material es orgánico. Bajo estas circunstancias puede asegurarse lo adecuado de un tratamiento biológico, para este tipo de efluente.

Nitrógeno (N) y Fósforo (P): El Nitrógeno y el fósforo son nutrientes básicos esenciales para los microorganismos que llevan a cabo los procesos biológicos de tratamiento y sus requerimientos son necesarios. Los valores encontrados en cada caso superaron los requerimientos; los cuales fueron para nitrógeno de 60 a 260 mg/Lt., y para fósforo de 14 a 106 mg/Lt.

pH: Los valores encontrados para este parámetro son muy cercanos a la neutralidad, por lo tanto no existe ningún problema en relación al crecimiento de los microorganismos, ya que como es conocida ellos son afectados grandemente con los valores de pH y sus variaciones en el agua a tratar.

Constante de velocidad de la reacción de la DBO (K): Esta fue calculada aplicando el método gráfico de Fujimoto (4). Determinándose en varias muestras se encontró que el valor para el agua residual de la industria procesadora de camarones es de $K = 0.46 \text{ d}^{-1}$. Es de hacer notar que este coeficiente obedece a un modelo de primer orden.

3.2. ESTUDIO DE TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA PROCESADORA DE CAMARONES

Este análisis ha sido enfocado en base a los porcentajes de remoción de la DBO observados a lo largo del estudio realizado en los reactores los cuales fueron entre un 89% a un 95%, se dice entonces que el agua residual de esta industria es susceptible a un tratamiento biológico en un reactor por carga. Esto también se pudo demostrar con los resultados obtenidos en la relación DQO/DBO₅.

3.3. ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO

Para este análisis se tomaron como base los valores obtenidos para la DBO, DQO, porcentajes de remoción, sólidos suspendidos volátiles (SSV), de acuerdo a las variaciones hechas en la edad del lodo (θ_c) y tiempo de retención hidráulica (θ_h).

Una vez completada la fase de aclimatación se prosiguió con la fase experimental donde se operaban los reactores con diferentes valores de θ_c y θ_h . Como se explicó en la metodología, los reactores operaban de la forma siguiente: Reactor 1: $\theta_c = 9$ días, $\theta_h = 12$ horas; Reactor 2: $\theta_c = 4,5$ días, $\theta_h = 12$ horas; Reactor 3: $\theta_c = 9$ días, $\theta_h = 24$ hrs.; Reactor 4: $\theta_c = 4,5$ días, $\theta_h = 24$ hrs.; Reactor 5: $\theta_c = 3$ días, $\theta_h = 24$ hrs.; Reactor 6: $\theta_c = 2,25$ días, $\theta_h = 24$ horas (los cuatro últimos reactores tenían aireación las veinticuatro horas).

De los seis reactores analizados el reactor tres fue el que presentó la mayor eficiencia, con un $\theta_c = 9$ días y un $\theta_h = 24$ horas.

Los porcentajes de remoción de la DBO₅ y la DQO corresponden a los más altos encontrados, superiores para la DBO₅ del 95%; esto determina que el θ_c y el θ_h usado es el óptimo para este tipo de efluente.

3.4. DETERMINACION DEL ORDEN DE LA REACCION

Los reactores 2 y 3 fueron estudiados por doce (12) y veinticuatro (24) horas continuas respectivamente, en las cuales cada dos (2) horas se tomaban muestras para determinar los parámetros DQO y DBO₅ a fin de determinar en primera instancia el orden de la reacción para el agua residual en estudio y luego en la determinación de las constantes cinéticas.

Con los resultados obtenidos en la DBO₅ para ambos reactores se realizaron las gráficas siguientes: Concentración (C) en mg/L. Vs Tiempo; Inverso de la Concentración (1/C) en mg/Lt. Vs Tiempo y el Logaritmo neperiano de la concentración (ln C) Vs. Tiempo. Comparando las gráficas obtenidas con las gráficas que resultan para cada orden de reacción (2) Bennefield y Randall, se tiene para

ambos reactores que la gráfica de ln C Vs. T, para una reacción de primer orden es la que más se ajusta, ya que los puntos coinciden para formar una recta.

Habiendo concluido que en ambos reactores la reacción sigue el patrón de primer orden, se obtiene en las gráficas, que para el reactor 3, $K = -0,13$ y para el reactor 4, $K = -0,087$.

3.5. CALCULO DE LAS CONSTANTES CINETICAS

Para calcular las constantes cinéticas en este trabajo se utilizaron las expresiones referidas para régimen de flujo continuo, aunque los reactores por carga presenten un régimen de flujo discontinuo. Sin embargo, estos valores se adecuaron para la aplicación de estas expresiones. Por ejemplo, el valor de la biomasa (X), que se utilizó, como no es de régimen permanente, se tomó un valor promedio.

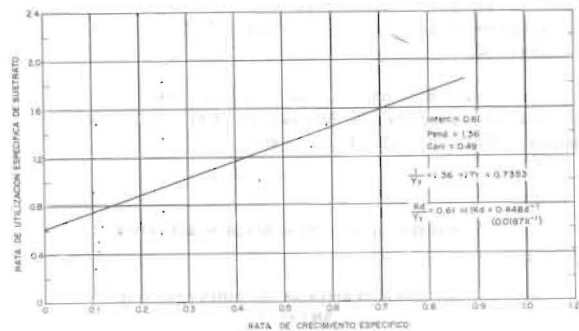
3.5.1. COEFICIENTE DE MUERTE DE MICROORGANISMOS K_d Y COEFICIENTE DE CRECIMIENTO REAL Y_T (5)

La expresión utilizada para el cálculo de K_d y Y_T fue:

$$q = (1/Y_T)_u + (K_d/Y_T)$$

Así, graficando los valores obtenidos de u (Tasa de crecimiento específico) versus q (Tasa específica de utilización de sustrato), se obtuvo una recta, cuya pendiente es $1/Y_T$ y el intercepto es K_d/Y_T , tal como se muestra en la Fig. No. 1.

GRAFICA 1 - De u vs q (para el cálculo de Y_T y K_d)



Las siguientes ecuaciones también se utilizan:

$$u = dx/dt / X \quad \text{y} \quad q = dS/dt / X$$

El procedimiento seguido para obtener los valores de u y q a graficar, fue el siguiente:

Primero, se obtiene para cada reactor los valores de DBO_E , DBO_S (Demanda Bioquímica de oxígeno a la entrada y salida respectivamente), X_2 , X , y x para los ciclos 7, 8, 9; donde X_2 es la biomasa presente en el lodo al sacar el licor mezcla, X es la variación de biomasa al cabo de 12 o 24 horas, x es el valor promedio de biomasa en las 12 o 24 horas.

Segundo, se obtuvo un promedio de cada valor de DBO_E , DBO_S , X y x calculados para cada reactor y para los ciclos 7, 8, y 9.

Tercero, luego con los valores obtenidos se calcularon los valores de u y q , graficando la tasa de crecimiento específico (u) versus tasa de utilización específica de sustrato (q). De esta gráfica se obtienen las siguientes constantes cinéticas:

$$K_d = 0,448 \text{ d}^{-1}$$

$$Y_T = 0,735 \text{ mg/mg}$$

3.5.2. CALCULO DE LA TASA DE UTILIZACION ESPECIFICA DE SUSTRATO K Y LA CONSTANTE DE SATURACION K_s . (5)

Para el cálculo de estas constantes cinéticas se utilizó la siguiente expresión

$$(dS/dt)_u = KXS/K_s + S$$

Linearizando esta ecuación para obtener una recta, reescribiendo antes:

$$(dS/dt / X) = (K_s/K_s + S)$$

$$q = K_s / K_s + S$$

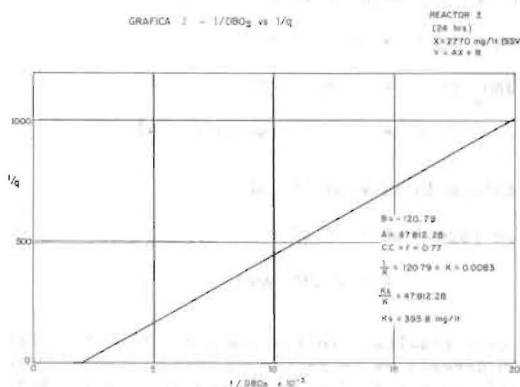
se tiene así, $1/q = K_s/K 1/S + 1/K$; entonces se grafican los valores de $1/S$ versus $1/q$ obteniendo, K_s y K , tal como se muestra en la Fig. No. 2.

Para el cálculo de estas constantes se usaron los valores de DBO_5 obtenidos para el reactor 3 en análisis realizados durante 24 horas con intervalos de 2 horas.

Se seleccionó el reactor 3, ya que fue el que arrojó siempre los mejores resultados y donde se observó una mejor eficiencia de remoción de DBO_5 .

$$q = dS/dt / X$$

Para un $t = 2$ horas la variación del sustrato (DBO_5) será, $S = S_2 - S_1$ y X , que es la concentración de biomasa activa. Este último valor se tomó de 2770 mg/Lt., valor de los SSV, correspondientes al día que se realizó el análisis de 24 horas. Luego graficando $1/q$ y $1/DBO_5$ (Inverso de la Tasa de utilización específica de sustrato versus Inverso de la DBO_5) en la cual la pendiente es $1/K = 120,79$ y $K = 0,0083$ y el intercepto $K_s/K = 47,812$, tenemos $K_s = 395,8$ mg/Lt. Así, los valores obtenidos: $K = 0,0083$ y $K_s = 395,8$ mg/Lt.



3.6. PREDIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR PARA REACCION DE PRIMER ORDEN

Una vez determinado el orden de la reacción para los Reactores 2 y 3, donde ambos resultaron ajustarse a reacciones de primer orden y habiendo determinado las constantes cinéticas pueden hacerse algunas recomendaciones sobre parámetros de operación en el sistema de tratamiento usando, reactores por carga, recomendados para las aguas residuales de la industria camaronera.

3.6.1. APLICACION DE LA ECUACION QUE DESCRIBE LA REACCION DE PRIMER ORDEN. (3)

Reacción de Primer Orden.

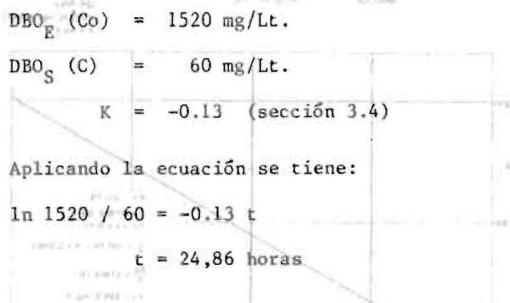
$$C_0/C_1 = e^{-kt} \quad \text{o} \quad \ln(C_0/C) = kt$$

Previamente se establece que la concentración de sustrato o DBO_5 a la entrada del sistema de tratamiento (DBO_{5r}) que se presentará con un 90% de probabilidad corresponde al valor de 1520 mg/Lt.

Por otra parte se tiene que según el Reglamento de la Clasificación de las Aguas y Medidas de Control de Polución de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Cap. III De las descargas directas a cuerpos de aguas, Art. 4, de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Martes 28 de Mayo de 1985, establece que el límite máximo permisible respecto al parámetro DBO es de 60mg/Lt. El porcentaje de remoción exigido será:

$$\% \text{ Remoción de DBO} = \frac{1520 \text{ mg/Lt} - 60 \text{ mg/Lt}}{1520 \text{ mg/Lt}} * 100 = 97\%$$

Se calcula el tiempo de retención hidráulico (θ_h ó t) requerido bajo las condiciones de operación del reactor 3, a manera de encontrar la remoción deseada según indica la norma.



Este resultado indica que para obtener la remoción deseada es necesario un $\theta_h(t) = 24,86$ horas para el reactor 3. Comparando con el $\theta_h = 24$ horas utilizado en el estudio, se nota que es muy cercano al valor anterior y en este caso el porcentaje promedio de remoción de DBO fue aproximado.

Si se utiliza $\theta_h(t) = 24$ horas se obtendrá una DBO de salida con un valor de:

$$\ln \frac{1520}{\text{DBO}_S} = -0,13 * 24$$

$$\frac{1520}{\text{DBO}_S} = e^{3,12}$$

$$\text{DBO}_S = \frac{1520}{e^{3,12}} = 67,12 \text{ mg/Lt} = 60 \text{ mg/Lt}$$

El valor de la DBO_S es muy cercano al que permiten las normas para descargas directas al lago.

Para este caso $\text{DBO}_S = 67,12 \text{ mg/Lt}$.

$$\% \text{ Remoción DBO} = \frac{1520 - 67,12}{1520} * 100 = 95,6\%$$

3.7. RECOMENDACIONES DE DISEÑO

Los valores obtenidos para la constante K de la velocidad de reacción (sección 3.4), que aparece en la ecuación para reacción de primer orden; referida a otros parámetros de operación del reactor 3, permite presumir ciertas condiciones; tal es el caso de que aumentando el tiempo de retención

celular (θ_c), mejoraría la eficiencia en la remoción de DBO, la constante K sería mayor y consecuentemente el tiempo de retención hidráulico (θ_h) disminuiría.

Cuando se indica que aumentando θ_c se encontrará un aumento de K, es porque se presume que la remoción de DBO aumentará, ya que según el estudio realizado con diferentes reactores, se encontró que la mayor concentración de biomasa pertenecía al reactor 3 donde el $\theta_c = 9$ días fue el mayor. Así, por todo lo antes dicho se cree que para optimizar la eficiencia del uso de reactores por carga sería necesario experimentar con las variables antes mencionadas, es decir, aumentando θ_c (mayores de 9 días) y a la vez utilizar diferentes valores de θ_h (menores de 24 horas) para encontrar unas condiciones medias, favorables que mejoren la eficiencia del proceso y faciliten la operación del sistema. Por ejemplo, con un θ_c mayor, habrá que extraer periódicamente menor volumen de lodo en exceso y si θ_h es menor, al tiempo de aireación sería menor.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el reactor por carga si puede ser usado para el tratamiento de aguas residuales de industrias pequeñas, ya que resulta fácil de operar y económico.
2. Según los análisis realizados en relación a la DBO_5 , se estima que un valor confiable para operar el sistema es aquel que se presente con un 70% a un 90% de probabilidad, para nuestro caso se tomó el segundo, con un valor de DBO_5 correspondiente a 1520 mg/Lt.
3. El resultado de la relación DQO/DBO_5 está muy cercano a la unidad lo que significa que la mayor proporción de materia orgánica es biodegradable.
4. De los seis reactores estudiados, con diferentes tiempos de retención celular (θ_c) y tiempos de retención hidráulico (θ_h) se observó del análisis de resultados que el Reactor 3, el cual operó con $\theta_c = 9$ días y $\theta_h = 24$ horas, arroja los mayores valores en cuanto a eficiencia en la remoción de DBO y DQO se refiere.
5. El orden de la reacción para este tipo de agua residual, resultó ser de primer orden, lo cual es esperado para estos tipos de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica biodegradable.
6. Los coeficientes cinéticos determinados para este tipo de agua residual fueron: Coeficiente de muerte de microorganismos (K_d); Coeficiente de crecimiento real (Y_r); tasa específica de utilización de sustrato (K); y la Constante de saturación.

ración (Ks); para las cuales se obtuvieron los valores siguientes: $K_d = 0,448d^{-1}$; $Y_T = 0,735$ mg/mg; $K = 0,0083$ y $K_s = 395,8$ mg/Lt.

7. El tratamiento completo de esta agua residual industrial puede ser llevado a cabo, diseñando unidades tales como: Rejas, Equipo de Bombeo, Tanques de aireación y tanques para el tratamiento de Lodos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer estudios con otras aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, utilizando valores de tiempo de retención celular (θ_c) mayores de nueve (9) días, a fin de determinar como influye en la eficiencia de remoción de DBO_5 . Asimismo, se podrían hacer estudios variando el tiempo de retención hidráulico (θ_h), a valores menores de veinticuatro (24) horas.
2. Se recomienda analizar diariamente el agua del sobrenadante en cuanto a nitrógeno y fósforo, a fin de conocer como funcionan estos ciclos en el sistema y poder conocer el proceso de nitrificación.
3. Es necesario medir la cantidad de oxígeno que se suministra a la mezcla en el reactor, para de-

terminar si este es suficiente de acuerdo a los requerimientos.

4. Continuar las determinaciones de las constantes cinéticas para otros tipos de aguas residuales industriales a fin de tener toda la información, adaptada a nuestras condiciones ambientales.

LITERATURA CITADA

1. Standard methods for the Examination of water and waste water. APHA - AWWA - WPCF. 14th Edition. 1975.
2. BENEFIELD, LARRY D. y RANDALL, CLIFFORD W.: "Biological Process Design for Wastewater Treatment". Prentice-Hall, INC. 1980.
3. GAUDY, ANTONY F. y GAUDY, ELIZABETH, T.: "Microbiology for Environmental Scientists and Engineers". Mc Graw-Hill Book Company. 1980.
4. METCALF and EDDY: "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse". Mc Graw-Hill Book Company. Second Edition. 1979.
5. SANKS, ROBERT L. : "Water Treatment Plant Design". Ann Arbor Science. Cuarta Dimensión, 1982.

Recibido el 17 de Noviembre de 1988