



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Sánchez Mares, Francisco
Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas
Conciencia Tecnológica, núm. 27-30, 2005
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas

Reporte de Proyecto de residencias profesionales

Ing. Francisco Sánchez Mares
Maestría en Ciencias en Ingeniería Química
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
fsanchez96@hotmail.com
Av. López Mateos 1801 Ote., Esq. Av. Tecnológico Aguascalientes, Ags.,
Tel. 9105002 Ext. 103 fax (0149) 700423 C.P.20256

Resumen

Este software es una herramienta interesante para el diseñador de plantas de tratamiento de aguas residuales, o para quien supervisa una, y desea conocer los valores óptimos con los que debe trabajar su sistema.

El paquete contiene cuatro programas distintos, el primero es un sistema de lodos activados con aireación superficial, el segundo un sistema de lodos activados con aireación por difusores, el tercero una laguna de aireación de mezcla completa y el cuarto un sistema de dos lagunas aireadas. También se anexan al programa seis tablas necesarias para el diseño.

Otra parte del proyecto es un manual del usuario, en el cual se muestra el uso del software. Se presentan cuatro ejemplos prácticos que tienen los datos necesarios, así como sus dimensiones, para orientar al usuario sobre el manejo adecuado del software.

Los resultados generados por este software son muy confiables, ya que el lenguaje utilizado, denominado C ++ Builder una de sus características principales es la precisión numérica por encima de otros paquetes.

Palabras clave

Aguas residuales, lodos activados, lagunas aireadas, C ++ Builder

Introducción

El diseño de sistemas de tratamiento secundario como es el proceso de lodos activados y las lagunas aireadas es una actividad que demanda demasiado tiempo, se puede hablar de un mes aproximadamente. Si las empresas dedicadas al diseño de estos sistemas de tratamiento, desean competir en el mercado por una concesión, deben minimizar el tiempo empleado en el diseño.

Un punto importante para ganar una concesión es el no sobredimensionar la planta de tratamiento, ya que implicará gastos innecesarios que aumentarían los costos fijos, por ejemplo más difusores de aire que los

requeridos, bombas de alta potencia, vertederos costosos y válvulas inadecuadas, todo esto puede caer en un rechazo del proyecto. Por lo tanto se deben tener bien elaborados los cálculos de diseño, que a veces por cuestiones de tiempo no se tiene la seguridad de que estén bien efectuados, esto implica que se le añade un factor de seguridad extra que aumentará aun más los costos fijos de la planta.

Los sistemas de tratamiento secundario operan con las mismas condiciones regularmente todo el año y con relaciones de recirculación aplicadas por experiencia del encargado en turno, siendo necesario entender que una planta debe operar en condiciones diferentes según la temporada del año y que la relación de recirculación debe ser recalculada cada vez que sea necesario.

Fundamentos teóricos

1. Sistema de lodos activados

El proceso de lodos activados[1] ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activados. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un periodo de tiempo, se reduce su contenido de materia orgánica, formando a la vez un lodo floculento.

En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función: 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle. La Figura 1 presenta el proceso convencional de lodos activados

con todas sus variables, más adelante se describe la nomenclatura para cada variable.

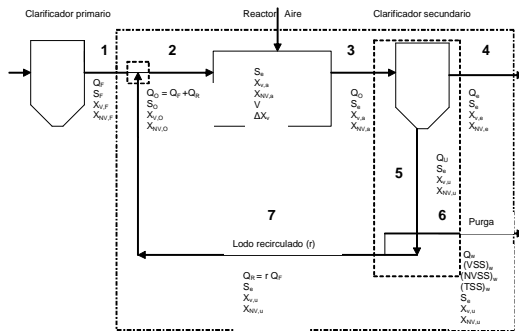


Figura 1. Proceso convencional de lodos activados.

Definición de las variables utilizadas en la Figura 1.

Para los sólidos en suspensión se emplean dos subíndices, por ejemplo, $X_{V,i}$, $X_{NV,i}$. El primer subíndice (V o NV) designa el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente. El segundo subíndice i se refiere a la corriente específica de que se trate:

- F:** alimentación inicial [corriente 1].
- o:** alimentación combinada [corriente 2].
- a:** efluente del reactor [corriente 3].
- e:** efluente final [corriente 4].
- u:** Descarga del clarificador secundario [corriente 5].

Caudales:

- Q_F :** alimentación inicial, m^3/s [corriente 1].
- Q_R :** recirculación, m^3/s [corriente 7].
- r:** relación de de recirculación, ($r = Q_R/Q_F$).
- Q_O :** alimentación combinada, m^3/s , ($Q_O = Q_F + Q_R$) [corriente 2].
- Q_e :** efluente final, m^3/s [corriente 4].
- Q_w :** purga, m^3/s , ($Q_F = Q_e + Q_w$) [corriente 6].
- Q_u :** descarga del clarificador, m^3/s , ($Q_u = Q_R + Q_w$) [corriente 5].

Concentraciones (mg/lt) de la DBO soluble.

- S_F :** DBO soluble de la alimentación inicial.
- S_O :** DBO soluble de la alimentación combinada.
- S_e :** DBO soluble del efluente.

Concentraciones (mg/lt) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).

- $X_{V,F}$:** VSS en la alimentación inicial.
- $X_{V,O}$:** VSS en la alimentación combinada.
- $X_{V,a}$:** VSS en el reactor.
- $X_{V,u}$:** VSS en la descarga del clarificador secundario.
- $X_{V,e}$:** VSS en el efluente final.

Concentraciones (mg/lt) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS).

$N_{NV,F}$: NVSS en la alimentación inicial.

$N_{NV,O}$: NVSS en la alimentación combinada.

$X_{NV,a}$: NVSS en el reactor ($X_{NV,a} = X_{NV,O}$).

$X_{NV,u}$: NVSS en la descarga del clarificador secundario.

$X_{NV,e}$: NVSS en el efluente final.

Purga.

$(VSS)_w$: kg/día de VSS en la purga.

$(NVSS)_w$: kg/día de NVSS en la purga.

$(SST)_w$: kg/día de SST en la purga.

Volumen del reactor.

V: volumen del reactor m^3

Producción de lodos.

ΔX_V : kg/día.

Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados.

Tanque de aeración: Estructura donde el desague y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. Se produce reacción biológica.

Tanque sedimentador: El desague mezclado procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desague tratado clarificado.

Equipo de aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.

Sistema de retorno de lodos: El propósito de este sistema es la de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación.

Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retomados al tanque de aireación.

Exceso de lodos y su disposición: El exceso de lodo, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, es eliminado, tratado y dispuesto.

Operación básica

Pretratamiento / ajuste de aguas residuales.

En algunos casos las aguas residuales deben ser acondicionadas antes de introducirse al proceso de lodos activados, esto es debido a que ciertos elementos inhiben el proceso biológico[2], algunos de estos casos son:

a) Sustancias dañinas a la activación microbiana (ejemplo: Cl_2).

b) Grandes cantidades sólidos: utilización de cribas o rejas, tanque de sedimentación primaria (sólidos fácilmente sedimentables).

c) Aguas residuales con valores anormales de pH: proceso de neutralización indispensable.

d) Desagües con grandes fluctuaciones de gasto y calidad de las aguas residuales incluyendo concentración de DBO: Homogenización de caudales.

Remoción de DBO en un tanque de aireación.

Las aguas residuales crudas mezcladas con el lodo activado retornado del tanque de sedimentador final es aireado hasta obtener 2 mg/l de oxígeno disuelto o más, en este proceso una parte de materia orgánica contenida en los desagües es mineralizada y gasificada y la otra parte es asimilada como nuevas bacterias.

Separación sólido líquido en el Tanque de Sedimentación.

Los lodos activados deben ser separados del licor mezclado provenientes del tanque de aireación este proceso se realiza en el tanque de sedimentación, concentrándolos por gravedad. La finalidad de este proceso es: conseguir un efluente clarificado con un mínimo de sólidos suspendidos y asegurar el lodo de retorno.

Descarga del exceso de lodos.

Con la finalidad de mantener la concentración de los lodos activados en el licor mezclado a un determinado valor, una parte de los lodos son eliminados del sistema a lechos de secado o a espesadores seguidos de filtros mecánicos (filtros prensa o de cinta) para posteriormente disponer el lodo seco como residuo sólido.

2. Lagunas aireadas

Las lagunas aireadas[3] son balsas con profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores.

La diferencia fundamental entre lagunas aireadas y el sistema de lodos activados es que en este se lleva a cabo una recirculación del lodo como forma de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia. Dicha concentración esta comprendida entre 80 y 200 mg/lit, esto es, mucho menor que la que se utiliza en las unidades de lodos activados convencionales (2000 a

3000 mg/lit). La Figura 2 muestra un diagrama simplificado de una laguna aireada.

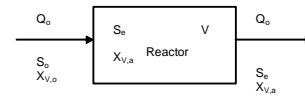


Figura 2. Laguna aireada

Lagunas de mezcla completa.

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días, y los niveles de potencia superiores a 0.007 CV por metro cúbico de balsa. Los niveles de potencia en las unidades de lodos activos se encuentran situados alrededor de 0.07 CV por metro cúbico de balsa. La Figura 3 muestra una laguna de mezcla completa.

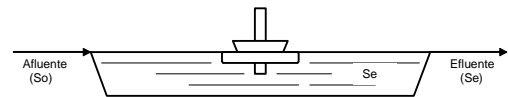


Figura 3. Laguna de mezcla completa.

Lagunas facultativas.

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de retención superan normalmente los seis días.

Una diferencia muy importante en la operación de ambos sistemas reside en la concentración de los sólidos en suspensión del efluente. Ya que en las lagunas de mezcla completa, todos los sólidos se mantienen en suspensión, el efluente contendrá una concentración mucho mayor que la correspondiente a lagunas facultativas y en consecuencia un elevado valor de DBO insoluble. La Figura 4 muestra una laguna facultativa.

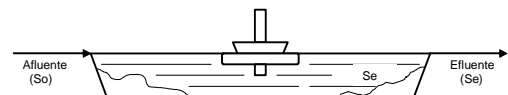


Figura 4. Laguna facultativa.

Materiales y métodos

El proyecto se realizó en las instalaciones de la empresa Servicios Químicos Integrales. El paquete empleado fue el C++ Builder[4], ya que es un lenguaje potente enfocado a objetos, con una excelente visualización y uno de los programas con más alta precisión numérica en los resultados generados.

Por ser un programa de cómputo la metodología que se siguió para cumplir con el objetivo general es la siguiente:

1. Revisión de la teoría del tratamiento de aguas residuales.
2. Comprensión de la teoría de diseño de sistemas de tratamiento secundario.
3. Desarrollo del software para diseñar plantas de tratamiento.
4. Resultados.
5. Conclusiones y recomendaciones.

Resultados y discusión

El software obtenido tiene una excelente presentación visual, conteniendo cuatro programas diferentes, dos de lodos activados y dos de lagunas aireadas, además de algunas tablas útiles para el diseño de tratamientos secundarios. También se elabora un manual del usuario que muestra el manejo del programa y expone cuatro ejemplos claros, en los cuales se presentan los datos necesarios para efectuar el diseño del tratamiento secundario de aguas residuales. La mayoría de estos datos son conocidos por el diseñador, otros se obtienen de tablas contenidas en el programa o proporcionadas por el fabricante y algunos de manera experimental. La Figura 5 muestra el menú de acceso del software.



Figura 5. Menú del software para diseñar sistemas de tratamiento secundario.

Con el software elaborado se evaluó un problema práctico. El ejemplo es el siguiente: Se piensa instalar una laguna aireada con mezcla completa para tratar un agua residual. Se dispone de un área de 2 hectáreas. La siguiente información se toma como base del diseño:

$Q_0 = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (caudal medio).

$S_0 = 600 \text{ mg/l}$ (DBO_5 del afluente).

$X_{V,0} = 20 \text{ mg/l}$ (sólidos suspendidos volátiles en el afluente).

$T_a =$ Temperatura media ambiental, $27 \text{ }^\circ\text{C}$ (verano); $2 \text{ }^\circ\text{C}$ (invierno).

$T_0 = 38 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura del afluente).

Profundidad de la laguna = 2.4 m .

Datos obtenidos de los ensayos a escala semi – piloto a $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$k = 1.44 \text{ días}^{-1}$ (constante de velocidad biocinética).

$Y = 0.5 \text{ kg VSS/kg DBO}$ (parámetro de metabolismo celular).

$k_d = 0.06 \text{ d}^{-1}$ (coeficiente de descomposición microbiana).

$A = 1.1 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}$.

Datos para aireación:

Parámetro $\alpha = 0.8$ (coeficiente de transferencia de oxígeno en agua residual).

$C_{s,w} = 7.0 \text{ mg/l}$ (verano); 9.5 mg/l (invierno).

$C_L = 1.0 \text{ mg/l}$ (nivel de oxígeno disuelto).

Solución

Seleccionar el programa del menú denominado laguna aireada de mezcla completa, y comenzar el llenado con los datos proporcionados por el problema de diseño. Las Figuras 6 y 7 muestran la ejecución del programa y algunos resultados obtenidos.

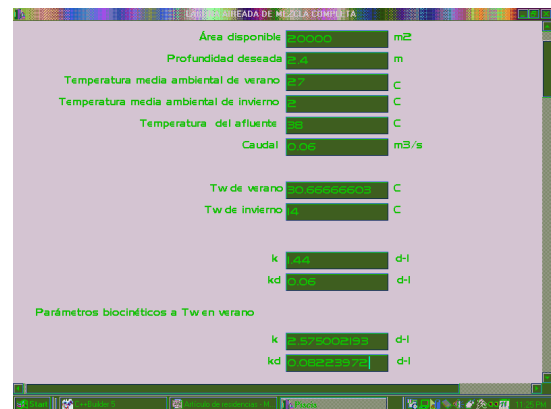


Figura 6. Ejecución del programa de diseño de lagunas aireadas de mezcla completa.

En la Figura 6 se puede observar que el programa genera la temperatura promedio de verano y de invierno, además de los parámetros biocinéticos k y k_d para verano. Y en la Figura 7 se presenta otra parte del programa, donde se obtienen los datos de aireación requerida.

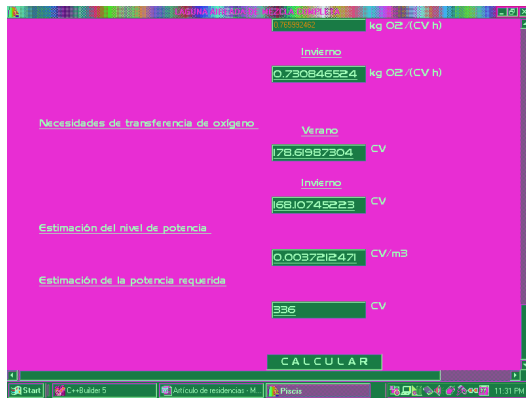


Figura 7. Obtención de los datos de aireación requerida para laguna aireada de mezcla completa.

La Tabla 1 muestra la recopilación de los resultados obtenidos del diseño de la laguna aireada.

	VERANO	INVIERNO
DBO ₅ del efluente	$T_w = 30.666666$ C $k = 2.575002$ días ⁻¹ $k_d = 0.082239$ días ⁻¹ $S_e = 24.152046$ mg/lit Disminución de la DBO soluble = 95.974655 %	$T_w = 14$ C $k = 0.673577$ días ⁻¹ $k_d = 0.050249$ días ⁻¹ $S_e = 82.909278$ mg/lit Disminución de la DBO soluble = 86.181785 %
Concentración de MLVSS	$X_{v,a} = 174.809906$ mg/lit	$X_{v,a} = 190.098434$ mg/lit
DBO ₅ total del efluente	Edad de los lodos = 10.455470 días $VSS = 55.939167$ mg/lit DBO ₅ total en el efluente = 80.091217 mg/lit	Edad de los lodos = 10.347954 días $VSS = 64.633468$ mg/lit DBO ₅ total en el efluente = 147.542755 mg/lit
Cantidad de aireación requerida	Demanda de oxígeno = 2985.195800 kg DBO ₅ /d 136.821472 kg O ₂ /h $kg\ O_2\ (CV\ h) = 0.765992$ kg O ₂ (CV h) Necesidades de transferencia de oxígeno = 178.619873 CV	Demanda de oxígeno = 2680.598144 kg DBO ₅ /d 122.860748 kg O ₂ /h $kg\ O_2\ (CV\ h) = 0.730846$ kg O ₂ (CV h) Necesidades de transferencia de oxígeno = 168.107452 CV
	Nivel de potencia = 0.003721247 CV/m ³ Potencia requerida = 336 CV Tiempo de residencia = 9.259260 días	

Tabla 1. Resultados del diseño de la laguna aireada de mezcla completa.

Conclusiones

El software generado presenta resultados confiables para el cálculo de sistemas de tratamiento secundario con un tiempo de cómputo bastante bajo. El diseño de cualquier sistema de tratamiento de los aquí mostrados u otras variaciones de ellos, teniendo las consideraciones adecuadas pueden ser realizados satisfactoriamente.

Recomendaciones

Las unidades en que deben ser ingresados los datos al programa están bien definidas, al igual que las unidades de los resultados generados.

El software esta dirigido para gente con un conocimiento más amplio del tratamiento de aguas, es decir que tenga conocimientos de diseño de plantas de tratamiento.

Antes de usar el programa se deben tener recabados todos los datos necesarios en sus unidades adecuadas para el diseño, estos datos y sus unidades se muestran en los ejemplos del manual del usuario.

Agradecimientos

El autor de este artículo agradece de manera especial al **M. C. Salvador Bernal Galván** profesor del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes, por su brillante asesoría en este proyecto de residencias y por ser un ejemplo a seguir como persona y como maestro.

Referencias

- [1] Rubens Sette Ramalho (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté.
- [2] Frank N. Kemmer (1989). *Nalco: manual del agua*. Editorial Mc Graw Hill.
- [3] Ron Crites (2000); *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Editorial Mc Graw Hill.
- [4] <http://www.borland.com/techpubs/bcppbuilder/V5/qs/program.html>.