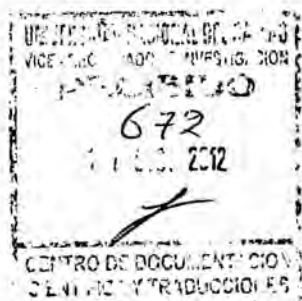




DIC 2012

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION**

**FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
PESQUERA Y DE ALIMENTOS**



INFORME FINAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIREACIÓN DE
SUPERFICIE CON APLICACIÓN DE MATLAB®”**

AUTOR: Ing. DOMINGO JAVIER NIETO FREIRE

**(PERIODO DE EJECUCION: DEL 01 DE NOVIEMBRE DEL 2010 AL
31 DE OCTUBRE DEL 2012)**

RESOLUCION RECTORAL Nº1172-2010-R

2010-2012

INDICE

	pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
MARCO TEORICO	6
MATERIALES Y METODOS	20
RESULTADOS	25
DISCUSION	28
REFERENCIALES	38
APENDICE	39

17

RESUMEN

Podemos definir los "Procesos Biológicos de Depuración Aerobia", como aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. En principio, entre ellas, no hay relación en cuanto a los resultados, ya que los efectos que se producen en el agua varían al aplicar cada técnica, de unas aguas contaminadas a otras. Para el mismo fin se emplea a veces otro parámetro, la Oxidabilidad al Permanganato.

Del diseño de un sistema de aireación de superficie se determinó la potencia del sistema de aireación medido en Hp. Y al desarrollar un sistema de aireación de superficie con aplicación de MATLAB® con la ecuación lineal de pendiente Kla para poder determinar la variación de la concentración de saturación y concentración oxígeno en el líquido en cualquier tiempo t . Se logra corregir para $Kla_T = Kla_{20^\circ} (1.024^{T-20})$ en aguas residuales. De los cálculos obtenidos en el desarrollo del programa para un volumen $600 \text{ Kg} / \text{O}_2$ se obtuvo una potencia de 42,57 HP de potencia del aireador y una concentración de saturación de $16,2 \text{ Kg/m}^3 \text{ O}_2$

Para otras corridas los cálculos obtenidos en el desarrollo del programa para un volumen de 4000 a 6000 se determinó 452 Hp ; $452 * 0.5 = 226$ haciendo un incremento de $678 \text{ HP} / 40 \text{ Hp}$ por bomba = 17 bombas distribuidas dentro del sistema.

INTRODUCCION

Problema.- Cual será la potencia de un sistema de aireación para tratar aguas residuales. Donde la aireación es el proceso mecánico por el cual se procura contacto entre aire y agua. Aplicada al tratamiento de agua, la aireación transfiere moléculas de oxígeno del aire, en este proceso también se eliminan gases no deseados llamada desgasificación. Cuando las aguas residuales entran a una estación depuradora, sufren un pre tratamiento en el que se retiran los sólidos y gruesos de gran tamaño, así como las arenas y grasas. A continuación, el agua pasa al denominado tratamiento primario, donde se eliminan sólidos en suspensión fácilmente sedimentables y algo de materia orgánica.

Objetivo.- Determinar la potencia de un aireador superficial, una turbina o un agitador que gira sobre la superficie del líquido, que genera un efecto de remolino y gran turbulencia, produciéndose una gran cantidad de pequeñas gotas de agua, con lo cual se favorece la transferencia de aire a la fase acuosa. La teoría de la transferencia de masa de una fase gaseosa a una fase líquida, establece, entre otros factores, que cuanto mayor sea el área superficial de contacto, mayor es la eficiencia en transferencia. La mayor área de contacto de la masa acuosa, es cuando ésta forma pequeñas gotas similares al rocío o spray de partículas de agua, por lo que un buen agitador superficial deberá producir un gran volumen de gotas de agua de pequeño tamaño. También, un agitador superficial deberá tener un diseño tal, que produzca un mezclado de toda la masa de agua del reactor. La hidráulica del agitador deberá estar diseñada para que las corrientes de agua de las partes profundas del reactor fluyan hacia la superficie y puedan ser oxigenadas. La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión así como el resto de las partículas

sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, estas son eliminadas mediante los denominados " **Procesos Biológicos de Depuración Aerobia** ", que en la línea de aguas constituyen los tratamientos secundarios. Podemos definir los "Procesos Biológicos de Depuración Aerobia", como aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos es lo que todos conocemos como fango biológico.

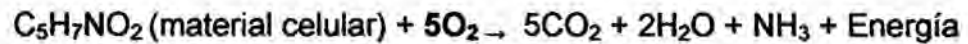
Importancia.- Lo que persigue este tipo de tratamiento en aguas residuales es la transformación de la materia orgánica por procesos oxidativos y su posterior coagulación y sedimentación, eliminando los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas residuales urbanas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, conseguimos además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

Justificación.- Tener un programa que utilice una herramienta como MATLAB®

para determinar la potencia del aireador o aireadores, es útil porque facilita el diseño de posas de tratamiento de aguas residuales.

Teniendo en consideración que los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella

acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



La masa de oxígeno se podrá cuantificar según las ecuaciones:

$$\delta M_{\text{O}_2} / \delta t = - D_{\text{O}_2} * A * \delta C_{\text{O}_2} / \delta x$$

Teniendo como base los resultados de α y β , así como los cálculos para obtener el flujo de O_2 (Kg/h) el volumen del reactor. Donde α y β se definen como la relación $K_{\text{la}_{20}}$ para el agua residual entre $K_{\text{la}_{20}}$ para el agua de llave; y la concentración de saturación de O_2 en agua residual y concentración de saturación de O_2 para el agua de llave en ppm. Se pretende determinar la potencia a diseñar de un aireador de superficie.

AERADORES

**AERADORES SUPERFICIALES Y AERADORES
SUMERGIDOS O DE INYECCION DE AIRE**

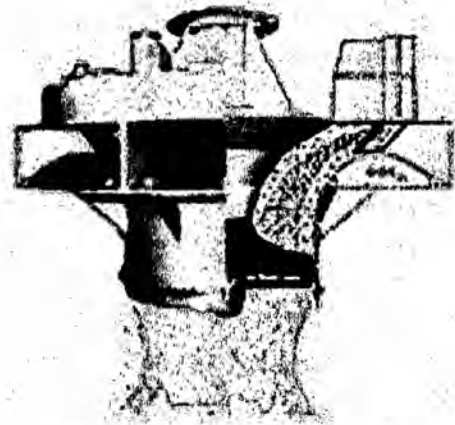
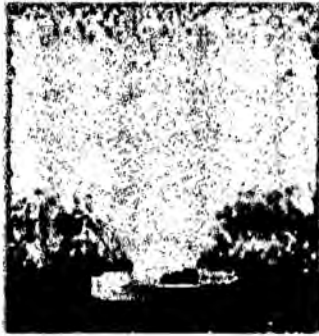


Figura N°1

157

MARCO TEORICO

Cuando las aguas residuales entran en una Estación Depuradora, sufren un pre tratamiento en el que se retiran los sólidos y gruesos de gran tamaño, así como las arenas y grasas. A continuación, el agua pasa al denominado tratamiento primario, donde se eliminan sólidos en suspensión fácilmente sedimentables y algo de materia orgánica.

La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión así como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, son eliminadas mediante los denominados "Procesos Biológicos de Depuración Aerobia", que en la línea de aguas constituyen los tratamientos secundarios.

Podemos definir los "Procesos Biológicos de Depuración Aerobia", como aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos es lo que todos conocemos como fango biológico " ¹

¹ Bailey, J.E y D.F Ollis: Biochemical Engineering fundamentals. McGraw Hill International Editions, N.Y, II Edition, 753 páginas.

Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas residuales urbanas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, conseguimos además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

Básicamente, existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios:

- Procesos de Cultivo en Suspensión (Fangos Activados).
- Procesos de Cultivo Fijo (Lechos Bacterianos).

Nos vamos a centrar en como suceden los mecanismos de depuración biológica aerobia y más concretamente en el proceso de Fangos Activos siendo los Lechos Bacterianos objeto de un siguiente estudio.

TEORÍA DE LA DIFUSIÓN DE GASES: La teoría de la difusión gaseosa se basa en un modelo físico en el cual se considera que existe una película en la interfase aire/agua. Esta interfase es la resistencia que se tiene que vencer para que el gas pase al líquido y viceversa. Matemáticamente este concepto se puede expresar de la siguiente manera:

KLa =coeficiente global de transferencia de masa seg^{-1} .

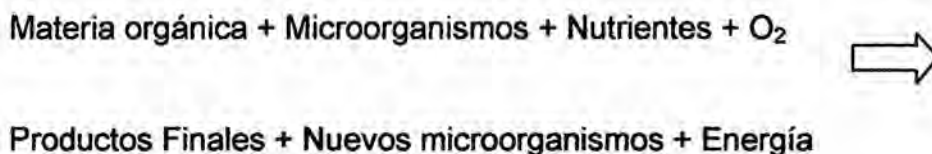
Este coeficiente depende entre otros factores, del área de transferencia líquido/gas.

C_s =Concentración de saturación del gas. mg/lto

C=Concentración del gas en la solución. mg/lto.

Los Procesos de Oxidación Biológica

La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:



Para que lo anteriormente expuesto se produzca, son necesarias dos tipos de reacciones fundamentales totalmente acopladas: de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación.

Como gas el oxígeno es ligeramente soluble en agua . A 20° C y al nivel del mar, la concentración de saturación es solo de 9.5 ppm , a esta concentración representa tan solo el 0.00095 % del peso del agua. Pero a esta concentración cuando se libera como gas ocupa 6. 7 ml o 0.67 % en volumen del agua que lo contenía. Para pasar la solubilidad del gas de peso a volumen se aplica la relación $\text{ml/L} = (22.4 / \text{PM}) \text{ mg/l}$. Como es el caso de la mayor parte de los gases, la solubilidad del oxígeno en el agua es inversamente proporcional a la temperatura. Las concentraciones de los sólidos disueltos también afecta a la disolución de oxígeno.

Principios de transferencia de gas

La aireación se desarrolla en tres pasos

1/2

Primer Paso.- El aire se pone en contacto íntimo con el agua con el agua por exposición de una superficie de gran área. Esta se genera mecánicamente en forma de innumerables gotas o pequeñas burbujas, dependiendo del tipo de aereador empleado.

Segundo Paso.- Las moléculas de este gas pasan a través de esta superficie a la fase líquida. El gas debe pasar a través de una barrera delgada en la superficie líquida, una película líquida, antes de que llegue al grueso de la fase líquida. El líquido que se encuentra por debajo de la película llega a saturarse con oxígeno.

Tercer Paso.- Las moléculas del gas se difunden alejándose de la película líquida hacia el grueso del líquido hasta que la saturación es completa.

Es obvio que una gran superficie y condiciones turbulentas, que rompen la película líquida y agitan el grueso del líquido, aumentan la velocidad de transferencia. Donde la velocidad de transferencia del oxígeno al cuerpo líquido esta expresada matemáticamente por la ecuación de transferencia global.

$$\frac{\delta C}{\delta t} = K_L a (C_s - C) \quad F^1$$

Integrando tenemos:

$$\ln (C_s - C_0 / C_s - C_t) = K_L a t$$

C_s = concentración de saturación de oxígeno

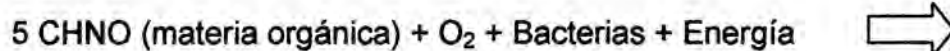
C_0 = Concentración de oxígeno en el instante cero

EF 2

Ct = concentración de oxígeno en el instante t

Reacciones de Síntesis o Asimilación

Consisten en la incorporación del alimento (materia orgánica y nutriente) al interior de los microorganismos. Estos microorganismos al obtener suficiente alimento no engordan, sino que forman nuevos microorganismos reproduciéndose rápidamente. Parte de este alimento es utilizado como fuente de Energía. La reacción que ocurre es la siguiente:



$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ (sustancias del interior bacteriano)

Reacciones de Oxidación y Respiración Endógena

Los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de Energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



Como podemos observar, después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos. Este nuevo cultivo microbiano seguirá actuando sobre el agua residual.

112

A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas.

Los microorganismos se ven obligados a la respiración endógena y a metabolizar el material del citoplasma de sus "colegas" y sus propias reservas (lisis) de esta forma aumentan la tasa de formación del Floc biológico.

Factores que Intervienen en la Oxidación Biológica

Los factores principales que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y por tanto, la depuración del agua residual son:

Las Características del Sustrato

Las características físico-químicas del agua residual, determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.

Los Nutrientes

Según ² el interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg e.t.c., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

² <http://es.wikibooks.org/wiki>

Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 g. de C, 43 de N y 6 de P, y que en las aguas residuales urbanas existen por cada 1000 g. de C, 200 g. de N y 16 g. de P.

Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente.

Es interesante comentar que en el caso de determinadas aguas con vertidos industriales, las proporciones de dichos elementos no están equilibradas, siendo necesario a veces dosificar N y P en el agua, para que pueda darse el desarrollo bacteriano y exista depuración biológica.

Aportación de Oxígeno

Como hemos visto, para el desarrollo de las reacciones biológicas es necesario un medio aerobio, es decir, con oxígeno suficiente que permita el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios.

Temperatura

A medida que aumenta la Temperatura, aumenta la velocidad con que los microorganismos degradan la materia orgánica, pero a partir de los 37°C, dichos organismos mueren. Nuestras temperaturas son ideales para el desarrollo óptimo de los procesos de depuración biológica.

Salinidad

El contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en el proceso de fangos activos hasta concentraciones de 3 a 4 g/L. En los procesos de cultivos fijos (lechos bacterianos), la influencia es aún menor, no afectando valores que no superen los 15 g/L. Sin embargo, existen multitud de grupos bacterianos capaces de vivir en aguas saladas, de forma que si a tu sistema de depuración le das tiempo de adaptación, pueden desarrollarse bastante bien dichos grupos microbianos a concentraciones salinas superiores. En este sentido, la E.D.A.R. del rompimiento que funciona mediante tratamiento biológico por Fangos Activos, tiene un rendimiento excelente con aguas residuales de elevada salinidad.

Tóxicos o inhibidores

Existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que, a ciertas concentraciones, inhiben o impiden los procesos biológicos. Este tipo de sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, ejercen un efecto perjudicial sobre los microorganismos encargados de depurar el agua y por tanto, no deben de entrar en las plantas depuradoras con el agua residual, o si entran deben de hacerlo en concentraciones muy bajas.

Todos estos factores mencionados son de gran importancia, y deben de ser controlados si queremos obtener un rendimiento eficaz de depuración por parte de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica del agua residual

Los Procesos de Nitrificación-Des nitrificación

Son procesos llevados a cabo por determinados grupos de microorganismos bacterianos que se utilizan en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales,

1/17

donde aparte de la eliminación de la materia orgánica se persigue la eliminación de nitrógeno.

La eliminación de la materia nitrogenada es necesaria cuando el efluente de la E.D.A.R. va a ir bien a embalses o masas de agua utilizadas para captación de aguas potables, bien a las denominadas por ley como zonas sensibles.

La nitrificación es el proceso en el que el nitrógeno orgánico y amoniacal se oxida, transformándose primero en nitrito y, posteriormente en nitrato.

Estas reacciones las llevan a cabo bacterias muy especializadas, diferentes de aquellas que se encargan de degradar la materia orgánica del medio.

Este tipo de bacterias, se reproducen más lentamente y son muy sensibles a los cambios de su medio habitual.

A su vez, necesitan de un aporte de Oxígeno suplementario para que sean capaces de desarrollar las reacciones anteriormente mencionadas, de esta forma en las cubas de aireación de fangos activados necesitan de un nivel de oxígeno de al menos 2 mg/L

La des nitrificación consiste en el paso de los nitratos a nitrógeno atmosférico, por la acción de un grupo de bacterias llamadas desnitrificantes. Dicha forma de nitrógeno tenderá a salir a la atmósfera, consiguiéndose así, la eliminación de nitrógeno en el agua.

Para que las bacterias des nitrificantes actúen, es necesario que el agua tenga bastante carga de materia orgánica, una fuente de nitratos elevada, muy poco oxígeno libre y un pH situado entre 7 y 8.

El oxígeno asociado a los nitratos es la única fuente de oxígeno necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales [2]. De esta forma los niveles de oxígeno libre en el medio donde actúan deben de ser inferiores a los 0,2 mg/L.

Es interesante comentar que el tiempo mínimo de contacto entre el agua y las bacterias des nitrificantes el cual debe de ser suficiente para que se produzcan las reacciones deseadas, estimándose un tiempo mínimo de 1,5 horas a caudal medio.

Equipo

Las técnicas de tratamiento de aguas dulces y de desecho son similares aunque los requerimientos de capacidad son mayores en el segundo caso.

Los tipos de aireadores más ampliamente utilizados son los de difusión, aireadores de superficie, y aireadores de turbina sumergida.

Las eficiencias y requerimientos de potencias para los aireadores sumergidos están íntimamente ligados con los difusores empleados. Estos pueden ser

porosos, no porosos o de tubo perforado. El tipo de difusor utilizado se selecciona sobre la base de las características de la transferencia de oxígeno como observamos los aereadores de tipo de superficie mecánica han aumentado su uso en plantas de desechos industriales , estos ponen en contacto el agua con la atmosfera y los sumergidos en forma inversa.

EF

Básicamente un aireador de superficies un impulsor accionado por motor colocado bajo la superficie del líquido, montado sobre soportes o llamados pontones anclados al recipiente de aireación. Algunas veces se usa un tubo de aspiración para mejorar la capacidad de bombeo.

Se emplean dos diseños de impulsores, de corriente ascendente y de aspas tipo placa. El impulsor de corriente ascendente mueve grandes volúmenes de agua hacia arriba, mientras el de placas mueve el agua hacia afuera.

Dimensionamiento del equipo de aireación

Para aplicaciones simples los requerimientos de caballos de potencia

Stan expresados por :

$$hp = \frac{Q \cdot \delta \cdot L}{24 \cdot q} \cdot F^3$$

Dónde:

Por día

Q= flujo (mgd) miles de galones día

δ = densidad (mg/L)

L= cargas o demanda de oxígeno en ppm

q= velocidad de transferencia de oxígeno

BIORREACTOR

El autor ³ dice que la velocidad de transferencia de masa de oxígeno en un biorreactor aerobio es importante por cuanto dicho valor determinara la productividad del sistema. Donde la característica principal es que el oxígeno pasa de una fase a otra y estas son:

- Transporte de oxígeno de la fase gas a la interface gas-liquido.
- Difusión del oxígeno a través de la interface gas-liquido.
- Transporte de oxígeno de la fase liquida hasta el límite del microorganismo
- Difusión del oxígeno en la interface liquido solido en la célula
- Difusión intracelular
- Reacción bioquímica intracelular

Una particularidad de este proceso es que todas estas fases se dan en serie, donde se ha podido determinar que la etapa interfase gas-liquido se convierte en una etapa limitante, de modo que la velocidad de transferencia neta se convierte en términos de un coeficiente de transferencia referido a la fase liquida, el área de interface y las gradientes de concentración de oxígeno los que al final representaran un índice de capacidad de aeración de un biorreactor. Donde el valor de este parámetro depende del diseño del biorreactor, el grado de agitación, del flujo de aire ,la viscosidad del medio entre otros. En consecuencia el diseño y operación del

³ <http://es.wikibooks.org/wiki>

bioreactor deben ser tal que satisfacen los requerimientos de oxígeno por parte del microorganismo.

Sin presencia de microorganismos veremos cómo determinar $K_L a$. (coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno) en un reactor batch isotérmico.

“Consideremos una burbuja de aire moviéndose en un líquido de fermentación donde el oxígeno debe pasar del interior de la burbuja hacia el líquido y después consumido por los microorganismos.”⁴

En la interfase burbuja –líquido se aplica la ley de Henry

$$P_i = H' \cdot C_i \quad (4)$$

Los coeficientes de transferencia de masa para la diferencia de concentraciones de oxígeno en el líquido y en la interfase.

$$N = K_L (C_i - C_L) \quad (5)$$

Y a través del gas será

$$N = K_G (p - p_i) \quad (6)$$

$$K_L = 1 / (1/K_L) + (1/K_G \cdot H) \quad (7)$$

$$K_G = 1 / (1/K_G) + (H / K_L) \quad (8) \text{ Resultando las expresiones}$$

$$N = K_L (C_s - C_L) \quad (9)$$

⁴ Martínez D, Sergio ; Rodríguez R Miriam. Tratamiento de Aguas residuales con MATLAB ED.Reverte,S.A Mexico 2005.

$$N = K_G (p - p^*) \quad (10)$$

Si H' de (4) es muy pequeño la resistencia a la transferencia de oxígeno es mayor en el gas que en el líquido y será la fase gaseosa la controlante.

La igualdad en el caso contrario se da por agitación y el oxígeno de la burbuja de aire llega con facilidad a la interfase en estas condiciones el flujo de transferencia de masa será expresado por:

$$N = K_L (C^*s - C_L) \quad (11)$$

Si N varía como $\partial C_L / \partial t$ técnicamente para la eliminación de gases un balance molar para el oxígeno en un biorreactor batch ⁵ tipo tanque de área conocida y con agitación llegamos a la ecuación siguiente:

$$\partial C_L / \partial t = K_L a (C_g - C_L) \quad (12)$$

Donde el producto $K_L a$ ⁶ es conocido como coeficiente de transferencia volumétrica. Para $t=0$ y $C_L=0$ la expresión (12) queda como:

$$\ln (1 - C_L/C_g) = - K_L a t \quad (13)$$

⁵ L. Russell David TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. UN ENFOQUE PRÁCTICO. (traducido al español). AÑO 2012 (1ª Edición).

⁶ Rubens Sette Ramalho TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AÑO 2003 (1ª Edición, 2ª reimpresión).

1.47

MATERIALES Y METODOS

Condiciones del trabajo experimental, este trabajo se aplica a condiciones de presión y temperaturas normales tanto en verano como en invierno

Materiales: Programa en MATLAB®

Método: Desarrollado Programa en MATLAB®

Para estación de verano: T = 25°C y con presión estándar (760 mmHg) se adjuntan tablas correspondientes

% Diseño de un sistema de aireación con aireadores de superficie

% de superficie

% Parámetros de inicio

Kg= 600; % Kg O₂/d

V=4000; %volumen del reactor (m³)

CL=2.5; % Concentración de oxígeno en el reactor (mg/L)

Alfa₂₀=0.802

Beta =0.99

Pope=760; %presión de operación (mmHg)

% Condiciones de verano

Tv=25; %temperatura de verano (°C)

DESARROLLO

%Datos de tablas de concentración de oxígeno con la temperatura

Tsint= [0:5 :40];

Csatint = [14.6 12.8 11.3 10. 29.2 8.4 7.6 7. 16.6] ;

%Interpolación para obtener concentración de saturación de tablas

% en función de la Temperatura

CO₂ satvst = interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

% Interpolacion para obtener la presión de tablas

% en función a la temperatura

Pvapint = [4.579 6.543 9.209 12.788 17.535 23.759 31.824 42.175 55.324]

Pvapv= interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

Csv= cO₂satvst* (Pop-Pvapv)/ (760- Pvapv)

Cssv= beta* Csv;

%Calculo de Kv

Kv=alfa20*(1.024^(Tv-20))*(Cssv-CL)/9.2

% Condiciones de invierno Ti= 15 °C

% en función de la Temperatura

CO₂ satist = interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

% cO₂ satist = -0.00005*Ti^3+0.0067*Ti^2-0.383*Ti+14.576;

% Interpolación para obtener la presión de vapor de tablas

Pvapi= interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

% Pvapi= 0.0005*Ti^3+0.0035*Ti^2+0.0393*Ti+4.5197;

Csi=Co2satist*(Pop-Pvapi)/(760-Pvapi);

Cssi=beta*Csi;

%Calculo de Ki

Ki=alfa20*(1.024^(Ti-20))*(Cssi-CL)/9.2

If Kv>Ki

Kdiseño=Ki;

Else

Kdiseño=Kv

end

RfPV=inline(solve('(Kgo/(Kdiseño*(6.2*x+1.2)*V))-x =0'));

Format short g;

disp("")

VF₂


```
disp('')
```

```
disp('-----')
```

```
disp('Nivel Potencia (HP/m3)')
```

```
PV= RfPV(Kdiseño,V,Kgo)
```

```
disp('-----')
```

```
disp('Potencia (HP)')
```

```
Pot=PV*V
```

```
disp('-----')
```

```
disp('Eficiencia de transferencia real (KgO2/Hp h)')
```

```
% Caracteristicas del aireador
```

```
ETreal=Kdiseño*(6.2*PV+1.2)
```

```
%Disposicion de los aireadores
```

```
disp('NOTA:')
```

```
disp('Los resultados con signo negativo No se toman en cuenta')
```

```
disp('ya que no tienen significado fisico,')
```

```
Potv= input ('seleccione la potencia verdadera :')
```

```
Largoair=input('introduzca el numero de aireadores a lo largo:');
```

```
Anchoair= input('introduzca el numero de aireadores a lo ancho:');
```

Numair= Largoair* Anchoair

Potair=input ('seleccione la potencia de los aireadores:');

Potairint= [0 5.6 11 15 20 25 29.9 35 40 45 50 5560 65 71.7]

dinfint =[3.6 6.8 9.7 11.6 13 14.5 15.4 16.5 17.4 18.1 18.8 19.319.7 20.2 20.6];

dinf=interp1(Potairint,dinfint,Potair,'spline')/1.2

Area=Numair*dinf^2

disp('-----')

Altura=V/Area,Largo=dinf*Largoair,Ancho=dinf*Anchoair

Potenciatotal=Numair*Potair

RESULTADOS

El programa permite introducir los parámetros de cálculo de la siguiente forma:

PARA VERANO/ INVIERNO

% Diseño de un sistema de aireación con aireadores

% de superficie

% Parámetros de inicio

Kg= 600; % Kg O₂/d

V=4000; %volumen (m³)

CL=2.5; % Concentración de oxígeno en el reactor (mg/L)

Alfa₂₀=0.802

Beta =0.99

Pope=760; % presión de operación (mmHg)

% Condiciones de verano

Tv=25; % temperatura de verano(°C)

%Datos de tablas de concentración de oxígeno con la temperatura

Tsint= [0:5 :40];

Csatint = [14.6 12.8 11.3 10. 29.2 8.4 7.6 7. 16.6];

%Interpolación para obtener concentración de saturación de tablas

% en función de la Temperatura

$c_{O_2\text{ satvst}} = \text{interp1} (T_{\text{sint}}, C_{\text{satint}}, T_v, \text{'spline'})$;

% Interpolacion para obtener la presión de tablas

% en función a la temperatura

$P_{\text{vapint}} = [4.579 \ 6.543 \ 9.209 \ 12.788 \ 17.535 \ 23.759 \ 31.824 \ 42.175 \ 55.324]$

$P_{\text{vapv}} = \text{interp1} (T_{\text{sint}}, C_{\text{satint}}, T_v, \text{'spline'})$;

$C_{\text{sv}} = c_{O_2\text{ satvst}} * (P_{\text{op}} - P_{\text{vapv}}) / (760 - P_{\text{vapv}})$

$C_{\text{ssv}} = \text{beta} * C_{\text{sv}}$;

%Calculo de Kv

$K_v = \text{alfa}20 * (1.024^{(T_v - 20)}) * (C_{\text{ssv}} - CL) / 9.2$

% Condiciones de invierno

% en función de la Temperatura

$c_{O_2\text{ satist}} = \text{interp1} (T_{\text{sint}}, C_{\text{satint}}, T_v, \text{'spline'})$;

% $c_{O_2\text{ satist}} = -0.00005 * T_i^3 + 0.0067 * T_i^2 - 0.383 * T_i + 14.576$;

% Interpolación para obtener la presión de vapor de tablas

$P_{\text{vapv}} = \text{interp1} (T_{\text{sint}}, C_{\text{satint}}, T_v, \text{'spline'})$;

% $P_{\text{vapv}} = 0.0005 * T_i^3 + 0.0035 * T_i^2 + 0.0393 * T_i + 4.5197$;

$C_{\text{si}} = c_{O_2\text{ satist}} * (P_{\text{op}} - P_{\text{vapv}}) / (760 - P_{\text{vapv}})$;

Cssi=beta*Csi;

%Calculo de Ki

Ki=alfa20*(1.024^(Ti-20))*(Cssi-CL)/9.2

If Kv>Ki

Kdiseño=Ki;

Else

Kdiseño=Kv

end

Como resultado de los cálculos que se encuentran en anexos se tiene:

$452 \cdot 0.5 = 226$ haciendo un incremento de 678 HP / 40 Hp por aireador = 17

aireadores dentro del sistema.



DISCUSION

El programa de MATLAB® aplicado a un sistema de aireación de superficie permite modificar los siguientes parámetros:

De inicio

Kg= 600; % Kg O₂/día

V=4000; %volumen (m³)

CL=2.5; % Concentración de oxígeno en el reactor (mg/L)

Manteniendo constantes los valores de:

Alfa₂₀=0.802

Beta =0.99

La condición de presión también puede ser variada según la altitud donde ubiquemos el sistema de aireación en nuestro caso la aplicamos a nivel del mar.

P_{ope}=760; %presión de operación (mmHg)

Y como lo hemos señalado la estacionalidad influye en la retención del oxígeno por estar condicionada a la temperatura.

% Condiciones de verano

Tv=25; %temperatura de verano (°C)

%Datos de tablas de concentración de oxígeno con la temperatura

Tsint= [0:5 :40];

Csatint = [14.6 12.8 11.3 10. 29.2 8.4 7.6 7. 16.6] ;

%Interpolación para obtener concentración de saturación de tablas

% en función de la Temperatura

CO₂ satvst = interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

% Interpolación para obtener la presión de tablas

% en función a la temperatura

Pvapint = [4.579 6.543 9.209 12.788 17.535 23.759 31.824 42.175 55.324]

Pvapv= interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

Csv= cO₂satvst* (Pop-Pvapv)/ (760- Pvapv)

Cssv= beta* Csv;

%Calculo de Kv

Kv=alfa₂₀*(1.024^(Tv-20))*(Cssv-CL)/9.2

% Condiciones de invierno

% en función de la Temperatura

CO₂ satist = interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

% CO₂ satist = -0.00005*Ti^3+0.0067*Ti^2-0.383*Ti+14.576;

% Interpolación para obtener la presión de vapor de tablas

Pvapi= interp1 (Tsint,Csatint,Tv, 'spline');

1.17

$\% P_{vapi} = 0.0005 \cdot T_i^3 + 0.0035 \cdot T_i^2 + 0.0393 \cdot T_i + 4.5197;$

$C_{si} = CO_2satist \cdot (Pop - P_{vapi}) / (760 - P_{vapi});$

$C_{ssi} = \beta \cdot C_{si};$

%Calculo de Ki

$K_i = \alpha_{20} \cdot (1.024^{(T_i - 20)}) \cdot (C_{ssi} - CL) / 9.2$

If $K_v > K_i$

$K_{diseño} = K_i;$

Else

$K_{diseño} = K_v$

end

$RfPV = inline(solve('(Kgo / (K_{diseño} \cdot (6.2 \cdot x + 1.2) \cdot V)) - x = 0'));$

Format short g;

disp("")

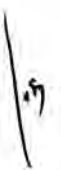
disp("")

disp('-----')

disp('Nivel Potencia (HP/m3)')

$PV = RfPV(K_{diseño}, V, Kgo)$

disp('-----')




```
disp('Potencia (HP)')
```

```
Pot=PV*V
```

```
disp('-----')
```

```
disp('Eficiencia de transferencia real (KgO2/Hp h)')
```

```
% Características del aireador
```

De lo anterior se puede ver que la ecuación de diseño experimental que se detalla puede sufrir modificaciones en función de PV por ser función de la presión y la temperatura de operación.

Por otro lado si aplicamos la ecuación

```
ETreal=Kdiseño*(6.2*PV+1.2)
```

```
%Disposicion de los aireadores
```

```
disp('NOTA:')
```

```
disp('Los resultados con signo negativo No se toman en cuenta')
```

```
disp('ya que no tienen significado físico,')
```

```
Potv= input ('seleccione la potencia verdadera :')
```

```
Largoair=input('introduzca el numero de aireadores a lo largo:');
```

```
Anchoair= input('introduzca el numero de aireadores a lo ancho:');
```

```
Numair= Largoair* Anchoair
```

```
Potair=input ('seleccione la potencia de los aireadores:');
```

Potairint= [0 5.6 11 15 20 25 29.9 35 40 45 50 5560 65 71.7]

dinfint =[3.6 6.8 9.7 11.6 13 14.5 15.4 16.5 17.4 18.1 18.8 19.319.7 20.2 20.6];

dinf=interp1(Potairint,dinfint,Potair,'spline')/1.2

Area=Numair*dinf^2

disp('-----')

Altura=V/Area,Largo=dinf*Largoair,Ancho=dinf*Anchoair

Potenciatotal=Numair*Potair

Todo lo anterior mostrado permite indicar que este tipo de programa es flexible dentro los parámetros máximos permitidos, teniendo por ejemplo problemas cuando no se modifica la temperatura de referencia de 20°C y la temperatura de operación coinciden.

P_{ope}=760; %presión de operación (mmHg)

Y como lo hemos señalado la estacionalidad influye en la retención del oxígeno por estar condicionada a la temperatura.

% Condiciones de invierno

Ti=10; %temperatura de invierno (°C)

%Datos de tablas de concentración de oxígeno con la temperatura

Tsint= [0:5 :80];

Csatint = [20.6 18.8 15.3 13. 29.2 10.4 17.6 12. 25.6] ;

%Interpolación para obtener concentración de saturación de tablas

% en función de la Temperatura

$CO_{2\text{ satvst}} = \text{interp1} (Tsint, Csatint, Tv, 'spline');$

% Interpolación para obtener la presión de tablas

% en función a la temperatura

$Pvapist = [4.579 \ 6.543 \ 9.209 \ 12.788 \ 17.535 \ 23.759 \ 31.824 \ 42.175 \ 55.324]$

$Pvapv = \text{interp1} (Tsint, Csatint, Tv, 'spline');$

$Csv = cO_{2\text{ satvst}} * (Pop - Pvapv) / (760 - Pvapv)$

$Cssv = \text{beta} * Csv;$

%Calculo de Ki

$Ki = \text{alfa}_{20} * (1.024^{(Ti-20)}) * (Cssv - CL) / 9.2$

% “Condiciones de invierno”

% “en función de la Temperatura”

$CO_{2\text{ satist}} = \text{interp1} (Tsint, Csatint, Tv, 'spline');$ “Concentration de oxigeno de saturation”

% $CO_{2\text{ satist}} = -0.00005 * Ti^3 + 0.0067 * Ti^2 - 0.383 * Ti + 14.576;$

% Interpolación para obtener la presión de vapor de tablas

$Pvapi = \text{interp1} (Tsint, Csatint, Tv, 'spline');$

% $Pvapi = 0.0005 * Ti^3 + 0.0035 * Ti^2 + 0.0393 * Ti + 4.5197;$

$Csi = CO_{2\text{ satist}} * (Pop - Pvapi) / (760 - Pvapi);$ “Condición de saturación de invierno”

Cssi=beta*Csi;

%Calculo de Ki "Constante de invierno"

Ki=alfa₂₀*(1.024^(Ti-20))*(Cssi-CL)/9.2

If Kv>Ki

Kdiseño=Ki;

Else

Kdiseño=Kv

end

RfPV=inline(solve('(Kgo/(Kdiseño*(6.2*x+1.2)*V))-x =0'));

Format short g;

disp("")

disp("")

disp('-----')

disp('Nivel Potencia (HP/m3)')

PV= RfPV(Kdiseño,V,Kgo)

disp('-----')

disp('Potencia (HP)')

Pot=PV*V

disp('-----')

disp('Eficiencia de transferencia real (KgO₂/Hp h)')

% Características del aireador

De lo anterior se puede ver que la ecuación de diseño experimental que se detalla puede sufrir modificaciones en función de Presión y Volumen por ser función de la temperatura de operación.

Por otro lado si aplicamos la ecuación

$$ET_{real} = K_{diseño} * (6.2 * PV + 1.2)$$

% Disposición de los aireadores

disp('NOTA:')

disp('Los resultados con signo negativo No se toman en cuenta')

disp('ya que no tienen significado físico,')

Potv= input ('seleccione la potencia verdadera :')

Largoair=input('introduzca el número de aireadores a lo largo:');

Anchoair= input('introduzca el número de aireadores a lo ancho:');

Numair= Largoair* Anchoair

Potair=input ('seleccione la potencia de los aireadores:');

Potairint= [0 5.6 11 15 20 25 29.9 35 40 45 50 5560 65 71.7]

dinfint =[3.6 6.8 9.7 11.6 13 14.5 15.4 16.5 17.4 18.1 18.8 19.319.7 20.2 20.6];

$dinf=interp1(Potairint,dinfint,Potair,'spline')/1.2$

$Area=Numair*dinf^2$

$disp('-----')$

$Altura=V/Area,Largo=dinf*Largoair,Ancho=dinf*Anchoair$

$Potenciatotal=Numair*Potair$

Al terminar de correr el programa se encuentra el resultado de la potencia de aireación. No se encontraron trabajos de aplicación similar para su comparacion.

Pero se pudo efectuar el cálculo siguiente:

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE AEREACION

DETERMINAREMOS LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA EN CABALLOS EXPRESADO POR LA ECUACION

$$hp=Q*d*L/24*q$$

dónde:

Q= flujo mgd (miles de galones dia)

d:densidad del liquido 8.34 lbs/gal

L=demanda de oxigeno **DBO** mg/L o carga de oxigeno

q= velocidad de transferencia de oxigeno en lbs de O₂ / c de p -hr

Datos 1:
90
110
120
120

Problema

Para adicionar 6 ppm de oxígeno disuelto a una corriente de agua que fluye a 4.5 miles de galones dia (mgd) usando un dispositivo de aireación.

que tiene una velocidad de transferencia de 2 lbs de O₂/c de p-hr

Cual será el requerimiento de potencia?

Solución: hp=412.5

11/7

REFERENCIALES

- [1] Bailey, J.E y D.F Ollis Edition Biochemical Engineering fundamentals. McGraw Hill International Editions, N.Y, E.D II, 753 páginas.
- [2] Erazo E. Raymundo ; Cárdenas Jorge . Determinación Experimental del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno (KLa) en un Birreactor Batch, Departamento Académico de Procesos Facultad de Química e Ingeniería Química UNMSM.
- [3] Martínez D ,Sergio ; Rodríguez R Miriam. Tratamiento de Aguas residuales con MATLAB ED.Reverte,S.A Mexico 2005.
- [4] Rubens Sette Ramalho TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AÑO 2003 (1ª Edición, 2ª reimpresión).
- [5] Russell L. David TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. UN ENFOQUE PRÁCTICO. (traducido al español). AÑO 2012 (1ª Edición).
- [6] <http://es.wikibooks.org/wiki> Setiembre 2012.

APENDICE

ANEXOS

Tablas de resultados a 760 mmHg ; valores validos en la costa tanto para verano e invierno.

Cuadro N°1-2

<u>Datos 1</u>					
Kg(O ₂ / dia)	600				
V. reactor (m ³)	4000				
O ₂ reactor	2.5				
A	0.802				
B	0.99				
P Op. (mmHg)	760				
Temp. V °C	25				
CsV		2			
CssV	1.992919875				
T sint	Pvap int	Csat int	f	EST	
0	4.58	14.60	0.8083	16.2	
2	6.54	12.80			
4	9.21	11.30			
5	12.79	10.20			
10	17.54	9.20			
20	23.76	8.40			
25	31.82	7.60			
30	42.18	7.10			
40	55.32	6.60			
Kv=	0.049271764				

<u>Datos 2</u>	
Kg(O ₂ / dia)	800
V. reactor (m ³)	100
O ₂ reactor	3.5
A	0.802
B	0.99
P Op. (mmHg)	760
Temp. V °C	25

CsV	3				
CssV	2.790087825				
T sint	Pvap int	Csat int	f	EST	
0	4.58	14.60	0.8083	20.2	40
2	6.54	12.80			42
4	9.21	11.30			44
5	12.79	10.20			46
10	17.54	9.20			48
20	23.76	8.40			50
25	31.82	7.60			52
30	42.18	7.10			54
40	55.32	6.60			56

Kv= 0.068980469
 Seleccionamos el K menor 0.04927176
 Eficiencia de transferencia de Oxigeno

Calculo
 potencia
 requerida HP 42.5757576
 EN HP/m³ 0.42575758

Autor: Elaboración propia

Cuadro N° 3

Datos calculados para invierno 3

Kg(O ₂ / día)	6000,00
V (m ³)	4000,00
O ₂ reactor	2,50
A	0,80
B	0,99
P Op. (mmHg)	760,00
Temp. Inv°C	10,00
Csiv	-8,41
Cssiv	8,33

T sint	Pvap int	Csat int	f	EST
0,00	4,58	14,60	80,81	120,62

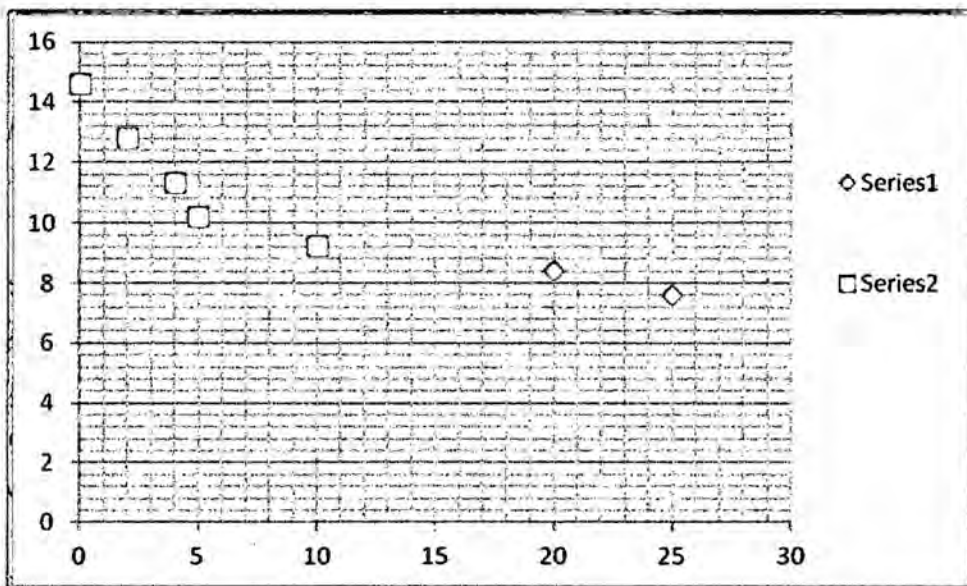
MF 2

2,00	6,54	12,80	90,00
4,00	9,21	11,30	110,00
5,00	12,79	10,20	110,00
10,00	17,40	19,20	120,00

$K_i = 0,06$

Calculo potencia requerida HP =451,2

CURVA DE OPERACIÓN DEL AIREADOR



Grafica N°1

Dimensionamiento: 452 Hp / bomba de 40 HP = 11.3 Bombas equivalente a 12 Bombas.

En la práctica por razones de requerimiento de oxidación de lodo y factores de diseño de seguridad global, puede proporcionarse una capacidad extra de 50% superior a la requerida por el DBO soluble consideraciones semejantes e aplican a las instalaciones industriales por lo que se tendría el valor siguiente: $452 \cdot 0.5 = 226$ haciendo un incremento de $678 \text{ HP} / 40 \text{ Hp por bomba} = 17$ bombas distribuidas dentro del sistema.