



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



Nitrificación en un reactor de lecho fluidizado

Métodos Numéricos

DR. Alejandro Posada Salgado

Alumnos:

Castro Orozco David Uziel

Chávez Velázquez Paulina

Inclan Rubi Diana Isela

Juárez Tamayo Juan Alfredo



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



Introducción

Desde algunas décadas atrás el crecimiento poblacional se ha ido incrementando de una manera desproporcionada a los recursos con los que se cuenta.

La mayor parte de los procesos productivos y las actividades humanas generan residuos que eventualmente llegan al agua y modifican su calidad; la contaminan convirtiéndola en una sustancia nociva o tóxica para la salud humana y la de los ecosistemas, o no apta para ser aprovechada en nuestras actividades, a estas se les llaman aguas residuales.

Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios). Comúnmente las aguas residuales suelen clasificarse como:

- Aguas Residuales Municipales: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal
- Aguas Residuales Industriales: las aguas residuales provenientes de las descargas de Industrias de manufactura.

Existe otra forma de denominar a las aguas residuales es en base al contenido de contaminantes que portan, las cuales se dividen en:

- Aguas negras a las que provienen de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- Aguas grises a las provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.
- Aguas negras industriales a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y tienen la mayoría de ellos efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga.

Actualmente, la conservación y recuperación de la calidad de los recursos hídricos es importante por ello se han invertido recursos en estudios y proyectos de investigación, plantas de tratamiento de aguas y nuevas tecnologías que ayuden a prolongar el tiempo de vida de recursos hídricos.

Una alternativa viable que permite su aplicación en el tratamiento biológico de contaminantes químicos en aguas residuales y que a su vez maneja bajos tiempo de residencia es el reactor de lecho fluidizado (Doble, Kumar, 2005)

Tipos de tratamiento

De acuerdo a la clase de materiales que se pretende remover del agua, los tratamientos se han clasificado en tres tipos: primario, secundario y terciario.

Los tratamientos primarios consisten en una serie de operaciones físicas y en algunas ocasiones químicas, cuyo objetivo es la eliminación de partículas de tamaño y peso considerable denominados sólidos, los cuales pueden ser separados mediante cámaras de sedimentación o a través del empleo de ciertos materiales filtrantes de porosidad específica. Se contempla la eliminación de grasas y aceites.

Los tratamientos secundarios tienen la finalidad de eliminar el agua de la materia orgánica biodegradable o en estado coloidal, transformándola en gases que escapan a la atmósfera. Estos procesos son soportados por la actividad de comunidades heterogéneas de microorganismos degradadores que utilizan la materia orgánica disuelta en el agua como alimento del que obtienen energía para sus funciones.

Tratamientos terciarios son una serie de procesos, como el intercambio iónico, ósmosis inversa y la electrodiálisis que permiten obtener efluentes libres de iones inorgánicos disueltos como fósforo, nitrógeno y metales.

Para este trabajo se usará el proceso de nitrificación a partir de la oxidación del amonio a nitrito y nitrato con un reactor de lecho fluidizado y un absorbedor.

Marco teórico

Nitrificación

El nitrógeno es un contaminante presente en las aguas residuales el cual debe ser eliminado con anterioridad al vertido de éstas en los cursos superficiales de aguas. En caso contrario, el nitrógeno reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, entraña un riesgo para la salud pública y junto al fósforo son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización).

La forma más comúnmente empleada para la eliminación del nitrógeno se basa en un doble proceso biológico de nitrificación y desnitrificación.

En la primera etapa, la de nitrificación, el amonio es convertido primero en nitrito y éste, a su vez, en nitrato, mediante un consorcio de bacterias nitrificadoras que utilizan carbono inorgánico como fuente de carbono y obtienen la energía necesaria para su crecimiento de las reacciones químicas de la nitrificación. La segunda etapa, la de desnitrificación, consiste en la conversión del nitrato en nitrógeno gas, el cual se libera a la atmósfera. Esta conversión la llevan a cabo unas bacterias en condiciones anaerobias, las cuales utilizan el nitrato como aceptor final de electrones y la materia orgánica presente en el agua como fuente de carbono.

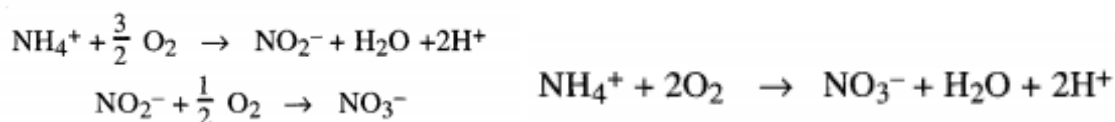


Figura : Oxidación del amonio a nitrito y de nitrito a nitrato//reacción global de amonio a nitrito

Este proceso es ampliamente utilizado por su elevada eficacia. En la etapa de nitrificación es necesario que haya una cierta concentración mínima de oxígeno disuelto en el agua, hecho que supone un elevado consumo energético. Por otro lado, en el proceso de desnitrificación se consume materia orgánica, factor que obliga a disponer de una recirculación interna (esto incrementa el consumo energético) o bien la dosificación de una fuente de carbono externa cuando la existente en el agua residual no es suficiente.

Reactor de lecho fluidizado

la fluidización se da a partir del flujo de un fluido (líquido, gas o ambos) a través de un lecho compuesto por partículas sólidas, a medida que el flujo se incrementa las partículas son elevadas levemente y dejan de estar en permanente contacto unas con otra, logrando un



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



efecto final de mezcla donde se favorece el contacto entre las fases presentes, generando en el sistema reaccionante alta conversión y eficiencia.

Las principales ventajas de la fluidización consisten en que el sólido está vigorosamente agitado por el fluido que circula a través del lecho, y la mezcla de los sólidos asegura que no existen prácticamente gradientes de temperatura en el lecho aún con reacciones fuertemente exotérmicas o endotérmicas. El movimiento de los sólidos también da lugar a elevadas velocidades de transmisión de calor hacia la pared o los tubos de refrigeración sumergidos en el lecho.

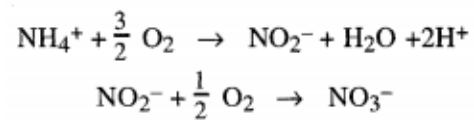
Principios de fluidización

Una vez los fluidos ingresan al reactor, las partículas presentan una leve expansión, la velocidad del fluido a la cual se llega a este fenómeno se conoce como Velocidad mínima de fluidización. A partir de este punto la masa de sólido y fluido, presenta las características de flujo de un líquido.

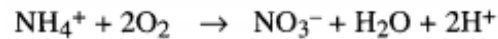
A medida que la velocidad del fluido se incrementa más allá de la velocidad mínima de fluidización, el lecho continúa expandiéndose y se mantiene homogéneo por un tiempo, hasta que se comienzan a observar burbujas y con incrementos en la velocidad del fluido se aumenta el tamaño de las burbujas y la intensidad de estas se hace mayor,

Sistema

La nitrificación es un proceso importante para el tratamiento de aguas residuales. Implica la oxidación secuencial de NH_4^+ a NO_2^- Y NO_3^- . Que procede de acuerdo con la siguiente secuencia de reacción:



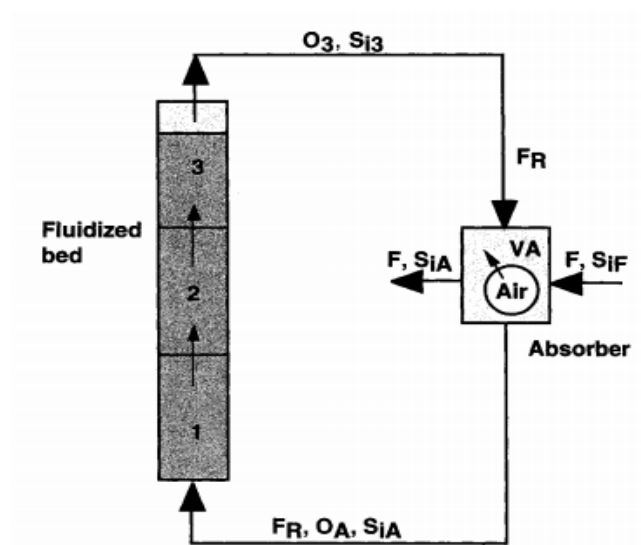
La reacción general ocurre de la siguiente forma:



Ambos pasos están influenciados por el oxígeno disuelto y el nitrógeno correspondiente.

En este ejemplo, un reactor de lecho de arena de biofilm fluidizado para nitrificación, según lo investigado por Tanaka et al. (1981), se modela como tres tanques en serie con un circuito de reciclaje

PROBLEMA: Se desea determinar las concentraciones de nitrito y nitrato a un tiempo de 10 segundos en el reactor.



Sistema que muestra los tres reactores en serie y el absorbedor con recirculación

Con una operación continua, el ion amonio se alimenta al reactor y los productos nitrito y nitrato salen al efluente.

El lecho se expande en volumen debido al flujo de circulación constante de líquido hacia arriba a través del lecho.

El oxígeno se suministra externo al lecho en un absorbente de gas licuado bien mezclado.

ECUACIONES

Las ecuaciones para este modelo se plantean por separado, tomando en cuenta el absorbedor, cada uno de los tres reactores y la tasa de reacción de estos.

El reactor de lecho fluidizado se modela considerando los equilibrios de los componentes para los tres componentes de nitrógeno (i) y también para el oxígeno disuelto. Para cada etapa n, las ecuaciones de balance de componentes tienen la forma:

$$\frac{dS_{in}}{dt} = \frac{F_R}{V} (S_{i,n-1} - S_{i,n}) - r_{S_{in}}$$

$$\frac{dO_n}{dt} = \frac{F_R}{V} (O_{i,n-1} - O_{i,n}) - r_{O_n}$$

De manera similar para el tanque de absorción, el balance de los componentes que contienen nitrógeno incluye la entrada y salida de las corrientes adicionales de alimentación y efluentes, dando:

$$\frac{dS_{iA}}{dt} = \frac{F_R}{V_A} (S_{i,3} - S_{iA}) + \frac{F}{V_A} (S_{iF} - S_{iA})$$

El balance de oxígeno en el tanque de absorción debe tener en cuenta la transferencia de masa desde el aire, pero descuida las bajas tasas de suministro de oxígeno y la eliminación de las corrientes de alimentación y efluentes:

$$\frac{dO_A}{dt} = \frac{F_R}{V_A} (O_3 - O_A) + K_L a (O_A^* - O_A)$$

Para el primer y segundo paso de la tasa de nitrificación biológica, se descubrió que la cinética de reacción para cualquier etapa n está dado por :



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



$$r_{1n} = \frac{v_{m1} S_{1n}}{K_1 + S_{1n}} \frac{O_n}{K_{O1} + O_n}$$

$$r_{2n} = \frac{v_{m2} S_{2n}}{K_2 + S_{2n}} \frac{O_n}{K_{O2} + O_n}$$

La tasa de acumulación de oxígeno está relacionada con las tasas de reacción anteriores mediante los coeficientes de rendimiento constante, Y_1 y Y_2 , según

$$r_{O_n} = -r_{1n} Y_1 - r_{2n} Y_2$$

La estequiometría de reacción proporciona el coeficiente de rendimiento para el primer paso y para el segundo paso:

$$Y_1 = 3.5 \text{ mg } O_2 / (\text{mg } N_{NH_4})$$

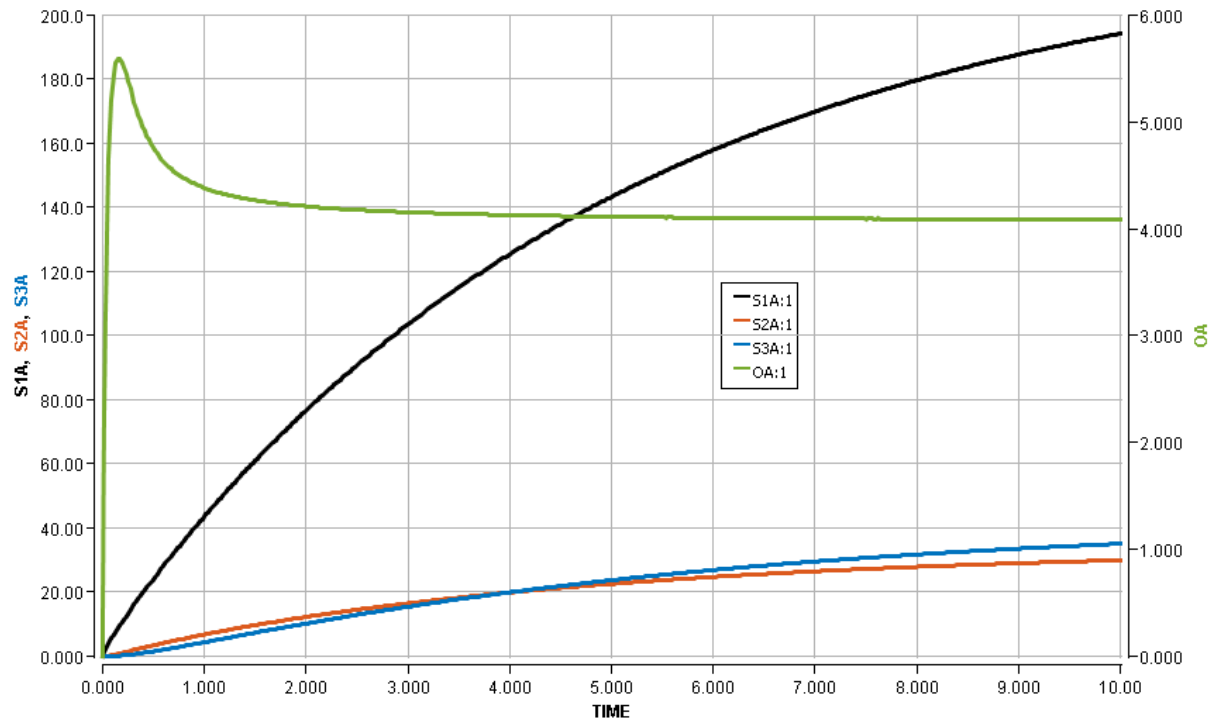
$$Y_2 = 1.1 \text{ mg } O_2 / (\text{mg } N_{NO_2})$$

Teniendo estas ecuaciones planteadas, se empieza el desarrollo de las mismas obteniendo la siguiente gráfica con su respectivo código.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



Gráfica obtenida con los parámetros originales [S1A ,S2A,S3A vs Tiempo]

Donde: S1A es la presencia de amonio, S2A la producción de nitrito y S3A es la producción de nitrato

CODIGO

S1F=300{Concentración en el flujo de alimentación, mg/L}

S2F=0

S3F=0

METHOD RK4

STARTTIME = 0

STOPTIME = 10

DT = 0.02

{PARÁMETROS}

V=0.5 {volumen de cada tanque de la columna , L}

VA=1.0 {Volumen del absorbedor , L}

FR=50 {Flujo de recirculación, L/h}

FA=0.5 {Flujo de alimentación, L/h}

OST=8 { conc. de oxígeno disuelto, mg/L}

{1:NH₄}

{2:NO₂}

{3:NO₃}

S1F=300 {Concentración en el flujo de alimentación, mg/L}

S2F=0

S3F=0

{Constantes cinéticas, mg/L}

KS1=5.0

KS2=3.0

KO1=0.25

KO2=0.5

{tasas de reacción máximas, mg/L h}

VM1=30

VM2=20

Y1=3.5 {Coef. de rendimiento. O₂ to NH₄-N, mg/mg}

Y2=1.1 {Coeficiente de rendimiento. O₂ to NO₂-N, mg/mg}

KLA=40 {coef transferencia de oxígeno 1/h}

{CONDICIONES INICIALES EN EL ABSORBEDOR}

INIT S1A=0

INIT S2A=0

INIT S3A=0

INIT OA=0



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



{CONDICIONES INICIALES EN EL TANQUE}

INIT S11=0

INIT S12=0

INIT S13=0

INIT S21=0

INIT S22=0

INIT S23=0

INIT S31=0

INIT S32=0

INIT S33=0

INIT O1=0

INIT O2=0

INIT O3=0

{ECUACIONES}

{TANQUE 1}

$$S11'=((FR/V)*(S1A-S11))-RS11$$

$$S21'=((FR/V)*(S2A-S21))-RS21+RS11$$

$$S31'=((FR/V)*(S3A-S31))+RS21$$

$$O1'=((FR/V)*(OA-O1))+RO1$$

{TANQUE 2}

$$S12'=(FR/V)*(S11-S12)-RS12$$

$$S22'=(FR/V)*(S21-S22)-RS22+RS12$$

$$S32'=(FR/V)*(S31-S32)+RS22$$

$$O2'=(FR/V)*(O1-O2)+RO2$$

{TANQUE 3}

$$S13'=(FR/V)*(S12-S13)-RS13$$

$$S23'=(FR/V)*(S22-S23)-RS23+RS13$$

$$S33'=(FR/V)*(S32-S33)+RS23$$

$$O3'=(FR/V)*(O2-O3)+RO3$$

{ABSORBEDOR}

$$S1A'=((FR/VA)*(S13-S1A))+((FA/VA)*(S1F-S1A))$$

$$S2A'=((FR/VA)*(S23-S2A))+((FA/VA)*(S2F-S2A))$$

$$S3A'=((FR/VA)*(S33-S3A))+((FA/VA)*(S3F-S3A))$$

$$OA'=((FR/VA)*(O3-OA))+((KLA)*(OST-OA))$$

{TASA DE REACCIÓN}

{TANQUE 1}

$$RS11=((VM1*S11)/(KS1+S11))*(O1/(KO1+O1))$$

$$RS21=((VM2*S21)/(KS2+S21))*(O1/(KO2+O1))$$

$$RO1=-RS11*Y1-RS21*Y2$$

{TANQUE 2}

$$RS12=((VM1*S12)/(KS1+S12))*(O2/(KO1+O2))$$

$$RS22=((VM2*S22)/(KS2+S22))*(O2/(KO2+O2))$$

$$RO2=-(RS12*Y1)-(RS22*Y2)$$

{TANQUE 3}

$$RS13=((VM1*S13)/(KS1+S13))*(O3/(KO1+O3))$$



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



$$RS23=((VM2*S23)/(KS2+S23))*(O3/(KO2+O3))$$

$$RO3=-RS13*Y1-RS23*Y2$$

{LÍMITES}

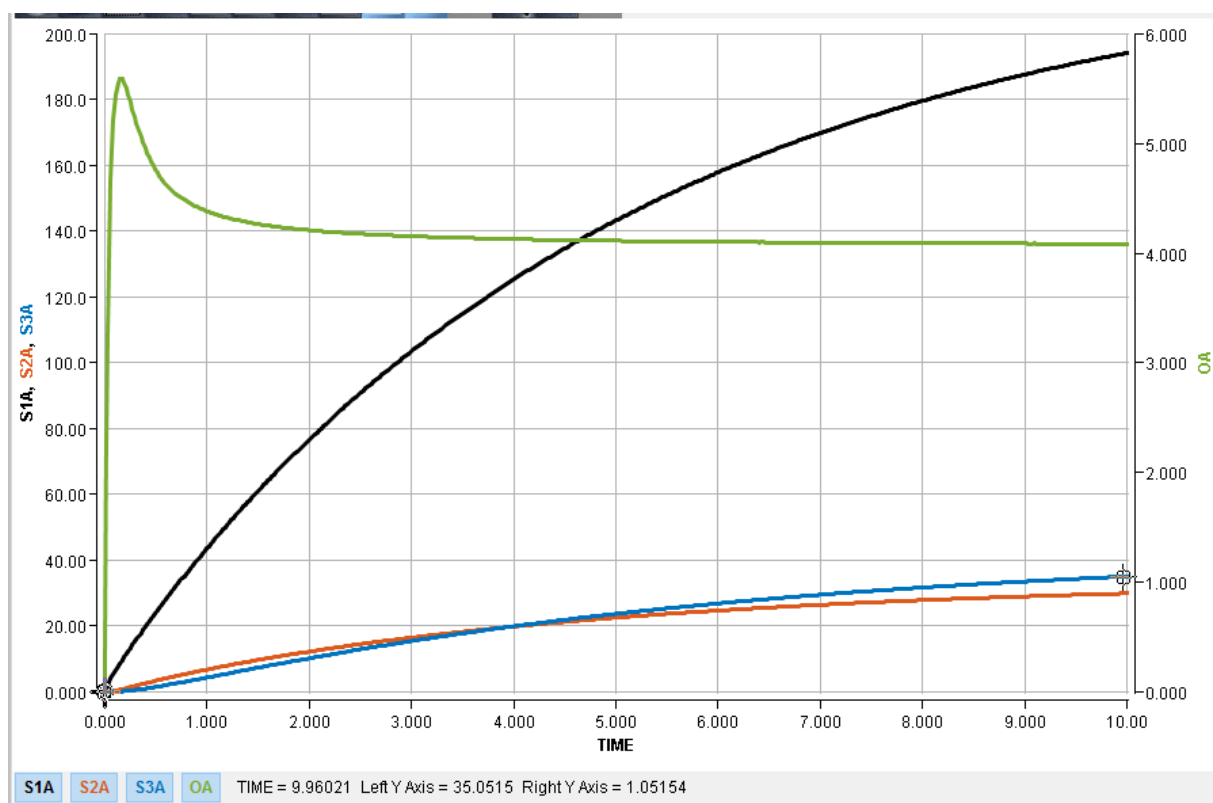
LIMIT O1>=0

LIMIT O2>=0

LIMIT O3>=0

RESULTADOS.

Para nitrato se tiene una concentración de 35.05 mg/L a los 10 segundos de reacción.

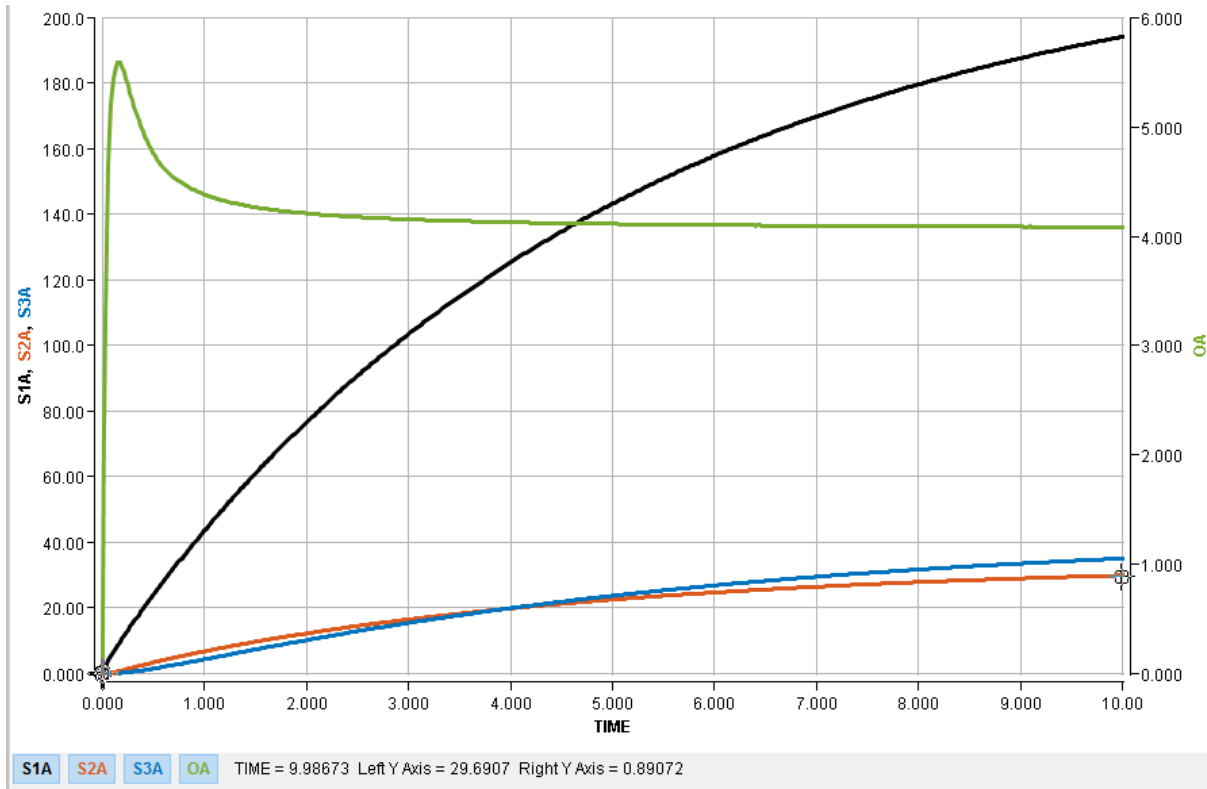


Para los nitratos se tiene una concentración de 29.69 mg/L a los 10 segundos de reacción



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa



Referencias

- Domínguez, V., Irisarri, P., & Gonnet, S. (2007). Emisiones de óxido nitroso por suelos cultivados con arroz: efecto de un inhibidor de la nitrificación. *Agrociencia*, 11(2), 50-57.
- <https://www.parrinst.com/es/products/tubular-reactor-systems/fluidized-bed-reactors/>
- <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/7669>
- https://www.google.com.mx/search?q=reactor+de+lecho+fluidizado&tbm=isch&ved=2ahUKEwjqrC9v_bIAhWEPqwKHennAtIQ2-cCegQIABAA&oq=REACTOR+DE+LEC HO&gs_l=img.1.1.35i39j0l8j0i5i30.2162.3654..5999...0.0..0.352.1358.2j6j0j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i8i30.lqM0eHLmVhg&ei=jf3TXaOwLYT9sAXpz4uQDQ&bih=625&biw=1366#imgsrc=N7xuGJDukEbhM
-