

APLICACIÓN DEL MODELO DE BALANCE DE OXIGENO A LA DESCARGA DE UN EFLUENTE LIQUIDO INDUSTRIAL

L. Leanza, J. Parente, C. Varanese

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL DELTA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ENERGIA Y AMBIENTE
San Martín 1171 – (2804) Campana – Buenos Aires – Argentina – [http:// www.frd.utn.edu.ar](http://www.frd.utn.edu.ar)
Tel / Fax: 54-03489-420249/420400/422018/437617
e-mail: leanzal@frd.utn.edu.ar / parentej@frd.utn.edu.ar

RESUMEN : Considerando que el contenido de oxígeno disuelto en agua y la demanda bioquímica de oxígeno en un curso de agua son indicadores de contaminación por materia orgánica nos hemos fijado como objetivo determinar los valores de la constante de aireación y de la constante de descomposición biológica en un efluente líquido de una industria química. Para ello se han obtenido datos de campo de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de déficit de oxígeno (DO) a la salida de la planta de tratamiento y en su descarga al río, de tal manera de encontrar los valores de aquellas constantes que puedan predecir como descargará al río considerando las mediciones realizadas en la planta de tratamiento. Nos hemos basado en la aplicación de un modelo de balance de oxígeno que utiliza ecuaciones que relacionan estas variables obteniendo como conclusión que en el trayecto desde la planta de tratamiento hasta el río la demanda bioquímica de oxígeno y el déficit de oxígeno disminuyen con valores de constantes acordes a lo indicado por las hipótesis teóricas existentes determinando de esta manera las ecuaciones tipo para este efluente en particular.

PALABRAS CLAVE: efluente líquido, demanda bioquímica de oxígeno, déficit de oxígeno, modelo de balance de oxígeno, constante de aireación, constante de decaimiento biológico

INTRODUCCIÓN: El contenido de oxígeno disuelto en agua (OD) es uno de los parámetros de calidad más característico de los cuerpos de aguas superficiales. La existencia de varias formas de vida acuáticas, y, entonces, la existencia del ecosistema acuático en su conjunto depende de la provisión de oxígeno al agua y de su presencia y disponibilidad. El contenido de OD disminuye debido al uso de oxígeno por parte de los múltiples procesos químicos, biológicos y bioquímicos que tienen lugar dentro del cuerpo de agua. No obstante, otros procesos físico - químicos, reacciones y procesos biológicos resultan en el incremento del oxígeno disuelto. Todos estos procesos contribuyen, pues, al balance del oxígeno disuelto.

En ambientes acuáticos que reciben cargas sustanciales de residuos orgánicos, el consumidor más importante de OD es la descomposición bioquímica de materia orgánica, que reduce el nivel de OD por la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos para su actividad metabólica cuando descomponen, al alimentarse, de sustancias orgánicas. La medida de contenido de material orgánico en agua más utilizada es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que es la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en un volumen de agua unitario para descomponer materia orgánica durante un período especificado de tiempo.

Entre los procesos que contrarrestan la disminución de oxígeno, el más importante, es el de aireación y oxigenación, que representa la provisión de oxígeno al cuerpo de agua, desde la atmósfera, a través de la superficie. Por otra parte también adquiere importancia la tasa de decaimiento de un contaminante. Si el contaminante es la DBO (que, en rigor, es un indicador de contaminación), el decaimiento se debe a descomposición bioquímica (Metcalf & Eddy, 1995).

Nuestro objetivo es determinar los valores de la constante de aireación (K_a) y de la constante de decaimiento (K_d) para un efluente líquido desde la salida de la planta de tratamiento hasta su descarga al río. Conocidos estos valores estaremos en condiciones de predecir los valores con que descargará en el río conociendo los valores de DBO y DO a la salida de la planta de tratamiento. El efluente líquido estudiado corresponde a una industria química productora de colorantes.

METODOLOGIA: El modelo matemático del balance de oxígeno que se utilizará está basado en un análisis unidimensional con una aproximación clásica del sistema debida a Streeter y Phelps (Kiely, 1999) que consiste en considerar condiciones estacionarias y despreciar los términos de dispersión. Considerando condiciones uniformes las ecuaciones a utilizar son las siguientes

$$DBO = DBO_0 e^{-K_d x / U} \quad (1)$$

Y la ecuación conocida como ecuación de depresión de oxígeno

$$DO = \frac{Kd}{Ka - Kd} DBO_0 (e^{-Kd x/U} - e^{-Ka x/U}) + DO_0 e^{-Ka x/U} \quad (2)$$

Donde:

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno en el lugar de descarga

DBO₀ = Demanda Bioquímica de Oxígeno a la salida de la planta de tratamiento

x = Distancia recorrida desde la planta hasta la descarga

U = Velocidad media del líquido descargado

DO = Déficit de oxígeno en el lugar de descarga

DO₀ = Déficit de oxígeno a la salida de la planta de tratamiento

Kd = Constante de decaimiento

Ka = Constante de aireación

DETERMINACIÓN DE CONSTANTES DE REACCIÓN

Existen tres posibilidades para determinar los valores de las constantes de reacción involucradas en el modelo OD – DBO planteado:

- En base a experimentos de laboratorio
- Usando relaciones experimentales publicadas en la literatura
- En base a datos de mediciones de campo

El uso de estas alternativas depende de la fase de estudios y de la disponibilidad de medios. Obviamente, el tercer método es, por lejos, el más confiable. Por ejemplo, para el coeficiente Kd significaría graficar datos de mediciones de DBO en escala logarítmica y determinar la pendiente de la línea recta de ajuste, de acuerdo a la ecuación (1).

En caso de disponer de mediciones, y habiendo determinado Kd del perfil de DBO, tal como se indicó anteriormente, puede utilizarse la ecuación (2) para estimar Ka, que es la única incógnita, mediante el ajuste de la curva de depresión de oxígeno a las mediciones.

Habiendo determinado los valores de las constantes de decaimiento y de aireación, a partir de un conjunto de datos medidos de DBO y OD, el modelo puede considerarse calibrado y ser utilizado para fines de predicción, pero solo en los casos donde todas las condiciones externas (flujo, temperatura, etc.) son las mismas que en la situación de calibración. Para nuestro estudio nos basaremos a datos de mediciones de campo lo que le aportará una mayor confiabilidad a los datos obtenidos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EFLUENTE LIQUIDO

Trayecto: Salida de planta de tratamiento hasta su descarga al río receptor

Distancia: 1200 m

Profundidad: 0.5 m a 1.5 m en la desembocadura

Ancho: En los primeros 200 m el ancho es de 1 m, en estructura de hormigón; luego se ensancha a 2.5 m hasta los 600 m con vegetación típica, pastos, arbustos; en los 600 m restantes el ancho es de 4 m con vegetación de pinos en ambas márgenes.

Caudal: 1500 m³/d

Velocidad: en el primer tramo se puede considerar un valor de 0.5 m/s; en los siguientes 400 m la velocidad se reduce a 0.2 m/s y en el tramo final puede considerarse en 0.1 m/s. La velocidad media ponderada es la calculada en la ecuación (3):

$$\frac{200 \text{ m} \cdot 0.5 \text{ m/s} + 400 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m/s} + 600 \text{ m} \cdot 0.1 \text{ m/s}}{1200 \text{ m}} = 0.2 \text{ m/s} \quad (3)$$

MEDICIONES DE CAMPO: Las mediciones se realizaron periódicamente durante todo el año 2003. Se obtuvo un valor medio para cada uno de los meses. En la extracción de muestras se tuvo la precaución que no hubiera efecto de dilución por parte del agua del río fundamentalmente en las crecientes provocadas por las llamadas sudestadas. En la Tabla 1 se reportan valores de DBO y DO (por medición de oxígeno disuelto y deducido de la concentración de saturación a la temperatura determinada). La medición de oxígeno disuelto a la salida de la planta se realizó por medio de sensor continuo, mientras que en la descarga al río se efectuó con equipo digital portátil.

Tabla 1 – Mediciones de campo de DBO y DO

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set	Oct	Nov	Dic
DBO ₀	38	25	45	22	25	35	45	42	40	42	39	37
DBO	35	23	41	20	23	32	41	38	36	38	36	34
DO ₀	4.82	4.21	4.89	4.11	4.20	4.80	5.09	4.88	5.32	5.18	4.78	4.41
DO	4.13	3.17	4.52	2.86	3.17	3.91	4.59	4.53	4.33	4.41	4.19	3.89

CÁLCULO DEL VALOR DE LA CONSTANTE DE DECAIMIENTO K_d

El cálculo se basa en la ecuación (1) y se calcula el valor de K_d para cada uno de los meses de acuerdo a lo indicado en la ecuación (4)

$$\ln \text{ DBO} / \text{ DBO}_0 = - K_d x/U \ln e = - K_d x/U \quad (4)$$

Para el cálculo es: $x/U = 1200 \text{ m} / 0.2 \text{ m/s} = 6000 \text{ s}$

En la tabla 2 se proporcionan los valores de K_d calculados para cada uno de los meses

Tabla 2 – Valores calculados de K_d

Mes	K _d (1/s)	K _d (1/día)
Enero	$1.37 \cdot 10^{-5}$	1.19
Febrero	$1.39 \cdot 10^{-5}$	1.20
Marzo	$1.55 \cdot 10^{-5}$	1.34
Abril	$1.59 \cdot 10^{-5}$	1.37
Mayo	$1.39 \cdot 10^{-5}$	1.20
Junio	$1.49 \cdot 10^{-5}$	1.29
Julio	$1.55 \cdot 10^{-5}$	1.34
Agosto	$1.67 \cdot 10^{-5}$	1.44
Setiembre	$1.75 \cdot 10^{-5}$	1.51
Octubre	$1.67 \cdot 10^{-5}$	1.44
Noviembre	$1.33 \cdot 10^{-5}$	1.15
Diciembre	$1.41 \cdot 10^{-5}$	1.22

Media : 1.3075 1/día

Mínimo: 1.15 1/día

Máximo: 1.51 1/día

Desviación normal: 0.112 1/día

Considerando que la bibliografía (Menendez y Tarela, 2003) indica valores de K_d para la DBO en un rango de $0.7 < K_d < 1.7$ los valores obtenidos son compatibles con esos datos teóricos.

CÁLCULO DEL VALOR DE LA CONSTANTE DE AIREACIÓN K_a

Los cálculos se basan en la ecuación (2) y se calcula el valor de K_a para cada uno de los meses.

Para el cálculo es: $x/U = 1200 \text{ m} / 0.2 \text{ m/s} = 6000 \text{ s}$

En la tabla 3 se proporcionan los valores de K_a calculados para cada uno de los meses

Tabla 3 – Valores calculados de Ka

Mes	Ka (1/s)	Ka (1/día)
Enero	$1.37 \cdot 10^{-4}$	11.8
Febrero	$1.37 \cdot 10^{-4}$	11.9
Marzo	$1.50 \cdot 10^{-4}$	13.0
Abril	$1.57 \cdot 10^{-4}$	13.6
Mayo	$1.37 \cdot 10^{-4}$	11.9
Junio	$1.51 \cdot 10^{-4}$	13.1
Julio	$1.53 \cdot 10^{-4}$	13.3
Agosto	$1.64 \cdot 10^{-4}$	14.2
Setiembre	$1.65 \cdot 10^{-4}$	14.3
Octubre	$1.65 \cdot 10^{-4}$	14.3
Noviembre	$1.36 \cdot 10^{-4}$	11.8
Diciembre	$1.40 \cdot 10^{-4}$	12.1

Media aritmética: 12.942 1/día

Mínimo: 11.8 1/día

Máximo: 14.3 1/día

Desviación normal: 0.097 1/día

Los valores obtenidos de la constante de aireación fueron el resultado de cálculos por prueba y error con los datos de campo provistos. Se verificó que la relación entre las tasas de aireación y de descomposición bioquímica fueron de aproximadamente del orden de 10

$$f = K_a / K_d \cong 10$$

Este dato es racional de acuerdo a la tabla de Fair (Menéndez y Tarela, 2003) la que indica que para caídas de agua $f > 5$.

CONCLUSIONES: Conforme a los datos de campo obtenidos y aplicando el modelo matemático del balance de oxígeno hemos arribado a la obtención de la constante de decaimiento biológico con un valor medio de 1.3075 1/día y con una desviación normal de 0.112 1/día lo que implica un rango entre 1.1955 y 1.4195 1/día, o sea una dispersión respecto de la media aritmética de 8.5 %. Consideramos que los valores obtenidos son compatibles con los valores teóricos que indican un Kd entre 0.7 y 1.7 1/día.

Con respecto a la constante de aireación la media obtenida fue de 12.942 1/día con una desviación normal de 0.097 1/día, determinando un rango entre 12.845 1/día y 13.039 1/día, con una dispersión del 7.5 % respecto de la media aritmética. En este caso el valor de Ka es aproximadamente 10 veces el correspondiente a Kd, lo cual es también compatible con la hipótesis teórica ya que para caídas de agua indica una relación mayor a 5 entre Ka y Kd.

Con el cálculo de ambas constantes y reemplazando por sus valores en la ecuación de depresión de oxígeno (2), estamos en condiciones de establecer las ecuaciones tipo del modelo de balance de oxígeno, a fin de predecir las concentraciones de descarga al río conociendo las correspondientes a la salida de la planta de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA: Metcalf & Eddy (1995) – Ingeniería de Aguas Residuales – Tratamiento, Vertido y Reutilización – Capítulo 3 – Características de Aguas Residuales – Mc Graw Hill – Tercera Edición

Gerard Kiely (1999) – Ingeniería Ambiental – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión – Capítulo 7 - Calidad del agua en ríos y lagos – Mc Graw Hill – Primera Edición

A.N.Menéndez y P.A.Tarela (2003) - Transporte de contaminantes en el medio acuático - Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Delta. Capítulo 3 pp. 3-25 a 3-29

ABSTRACT: Considering that the content of dissolved oxygen in water and the biochemical oxygen demand in a watercourse are pollution indicators by organic matter, we have set ourselves the objective of determine the values of the ventilation constant and the biological decay constant in a wastewater from a chemical industry. Therefore data field of biochemical oxygen demand (BOD) and oxygen deficit has been obtain from a treatment plant sewer and its outlet into the river, to find the constant values that can predict how the river will discharge, considering the measurements taken from the treatment plant.

We have based in the application of an oxygen balanced model that uses equations which relates these variables, coming to the conclusion that in the way from the plant to the river the biochemical oxygen demand and the oxygen deficit diminishes with constant values according to the existing theoretical hypothesis determining in this way the standard equations for this particular wastewater.

KEYWORDS: wastewater, biochemical oxygen demand, oxygen deficit, oxygen balanced model, ventilation constant , biological decay constant