

# Surface rotor aerator with horizontal axis in industrial wastewater

Andrea Del Milagro García-Landa, Environmental Engineer<sup>1</sup>, Diego Heli Sebastián Castillo-Gálvez, Environmental Engineer<sup>2</sup>, Luis Enrique Alva-Díaz, Master of Business Administration<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, andrea1295gl@gmail.com, <sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, diegoegu796@gmail.com

y <sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

**Abstract:** *The objective is to implement a horizontal axis rotor aerator to evaluate the oxygen transfer in industrial wastewater, determining its nominal oxygenation capacity of the aerator and evaluating the oxygen transfer coefficient during the surface aeration time. The experimentation was carried out in the wastewater treatment plant of the Paita Special Development Zone (ZED) where the aeration system was built with dimensions of 1.00 m long x 0.91 m wide and 0.42 m high, whose nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0.3177 kgO<sub>2</sub>/kWh. For the measurement of the oxygen transfer, three sampling stations were carried out, in which they were located at the entrance, in the center and at the exit of the lagoon, with a total of nine samples of 119.5 liters. The results obtained in the transfer coefficient with the highest value was at point 3, background level with 2,005 h<sup>-1</sup> at 30°C, likewise 1,683 h<sup>-1</sup> at the "INTERMEDIATE" level. The saturation factor  $\alpha$  was 0.885, relationship between the coefficient of transfer of wastewater with drinking water, and the saturation factor  $\beta$  was 0.844 corresponding to pressure and temperature in both wastewater and drinking water. Finally, the nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0.3177 kgO<sub>2</sub>/kWh.*

**Keywords—**Oxygen transfer coefficient, surface aerator, nominal oxygenation capacity

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.495>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Aireador superficial de rotor con eje horizontal en aguas residuales industriales

Andrea Del Milagro García Landa, Ingeniero Ambiental<sup>1</sup>, Diego Heli Sebastián Castillo Gálvez, Ingeniero

Ambiental<sup>2</sup>, Luis Enrique Alva Díaz, Magister en MBA Administración de Empresas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, andrea1295gl@gmail.com, <sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, diegoegu796@gmail.com

y <sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

**Resumen:** El objetivo es implementar un aireador de rotor con eje horizontal para evaluar la transferencia de oxígeno en aguas residuales industriales, determinando su capacidad nominal de oxigenación del aireador y evaluando el coeficiente de transferencia de oxígeno durante el tiempo de aireación superficial. La experimentación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de Zona Especial de Desarrollo Paita (ZED) donde se construyó el sistema de aireación con dimensiones de 1,00 m largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura, cuya capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO<sub>2</sub>/kWh. Para la medición de la transferencia de oxígeno se realizaron tres estaciones de muestreo, en la que se ubicaron en la entrada, en el centro y a la salida de la laguna, siendo un total de nueve muestras de 119,5 litros. Los resultados que se obtuvieron en el coeficiente de transferencia con mayor valor fue en el punto 3, nivel fondo con 2,005 h<sup>-1</sup> a 30°C, así mismo 1,683 h<sup>-1</sup> en el nivel "INTERMEDIO". El factor de saturación  $\alpha$  fue de 0,885, relación entre el coeficiente de transferencia de agua residual con el agua potable, y el factor de saturación  $\beta$  fue de 0,844 correspondiente a la presión y temperatura tanto en agua residual con agua potable. Finalmente, la capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO<sub>2</sub>/kWh.

**Palabras clave**—Coeficiente de transferencia de oxígeno, aireador superficial, capacidad nominal de oxigenación.

**Abstract:** The objective is to implement a horizontal axis rotor aerator to evaluate the oxygen transfer in industrial wastewater, determining its nominal oxygenation capacity of the aerator and evaluating the oxygen transfer coefficient during the surface aeration time. The experimentation was carried out in the wastewater treatment plant of the Paita Special Development Zone (ZED) where the aeration system was built with dimensions of 1.00 m long x 0.91 m wide and 0.42 m high, whose nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0.3177 kgO<sub>2</sub>/kWh. For the measurement of the oxygen transfer, three sampling stations were carried out, in which they were located at the entrance, in the center and at the exit of the lagoon, with a total of nine samples of 119.5 liters. The results obtained in the transfer coefficient with the highest value was at point 3, background level with 2,005 h<sup>-1</sup> at 30°C, likewise 1,683 h<sup>-1</sup> at the "INTERMEDIATE" level. The saturation factor  $\alpha$  was 0.885, relationship between the coefficient of transfer of wastewater with drinking water, and the saturation factor  $\beta$  was 0.844 corresponding to pressure and temperature in both wastewater and drinking water. Finally, the nominal capacity of the surface aerator in the wastewater was 0.3177 kgO<sub>2</sub>/kWh.

**Keywords**—Oxygen transfer coefficient, surface aerator, nominal oxygenation capacity.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, se generan diariamente alrededor de 2 millones 217 mil 946 m<sup>3</sup> de aguas residuales; las cuales son descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadora de Servicio de Saneamiento (EPSS) para ser tratadas sólo el 32% de estas. Lo anterior equivale a una generación per cápita diaria de 142 litros de aguas residuales por habitante en el país. En este contexto, se estima que, para el año 2024, el Perú duplique la generación de aguas residuales que actualmente gestionan las EPSS [27].

La problemática descrita se ha posicionado en la agenda gubernamental a lo largo de la última década, en consecuencia, se han desarrollado e implementado políticas públicas vinculadas al tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y municipales; entidades relacionadas a la fiscalización ambiental que controlen y manejen este tipo de residuos de forma más eficiente.

En el norte del Perú, departamento de Piura, Provincia de Paita, durante tres décadas las empresas pesqueras han arrojado clandestinamente aguas residuales al mar contaminando la bahía es así que en el 2014 se presentaron 194 denuncias por contaminación y delitos contra el medio ambiente en la bahía de dicha zona; luego en el 2015 aumento en un 27%, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) identificó la existencia de 39 plantas de procesamiento industrial pesquero en Paita. Sin embargo, solo el 20% de las empresas cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, el otro 80% se dedica a verter sus efluentes directamente al mar de Paita, contaminando todo a su paso, de manera constante [26].

La Planta de tratamiento de Aguas Residuales Industrial de la Zona Especial de Desarrollo (ZED) de Paita, Piura compuesto por 08 lagunas de oxidación (4 anaerobias y 4 facultativas), en las cuales las lagunas aireadas presentan 04 aireadores superficiales (paletas) cuyo funcionamiento es 6 horas diarias mediante un equipo electrógeno y tiene una capacidad de 7668 m<sup>3</sup>, por lo que se observa un tratamiento incompleto ya que los aireadores son insuficientes al volumen almacenado.

Respecto del tratamiento de aguas residuales; la transferencia del gas se puede formular por la teoría de la doble capa de Lewis y Whitman y que la cantidad másica de gas

transferido se calcula con base en la teoría de Fick para describir el fenómeno de difusión [16].

En el mercado existen diferentes mecanismos de aireación; los equipos de aireación empleados en el tratamiento de aguas residuales son de tres tipos: de aireación difusa o también llamados de aire comprimido, en donde el aire se transforma en burbujas y se dispersa a través del tanque; sistema de aireación por turbina, cuyo proceso se da cuando el aire se dosifica debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido y, la aireación superficial, su ubicación se da en la superficie del agua y la transferencia de oxígeno se realiza mediante la turbulencia superficial y aspersión del agua [24].

Coexisten teorías que han sido propuestas para el mecanismo de transferencia de oxígeno en el agua, entre ellas tenemos la teoría de Fick, la doble capa y Henry. Estas teorías son ampliamente utilizadas al modelar la cinética de la transferencia de oxígeno y poder determinar dicha variable. De manera interesante, las formas más sencillas han probado ser efectivas en el diseño de aireación, cediendo resultados cercanos a modelos más complejos y que, por lo general, proporcionan predicciones equivalentes de transferencia de oxígeno.

La teoría de Fick refiere la tasa de movimiento de gas dentro de un líquido en la que se describe la relación entre la tasa de transferencia de masa y el gradiente de la concentración. La teoría más representativa de este fenómeno es dada por Lewis y Withman, también llamada la teoría de la doble capa, esta demuestra la interfase de la transferencia de masa que ocurre de una capa o película delimitando sus áreas de contacto. La teoría de Henry describe que la concentración de oxígeno disuelto en la fase líquida es proporcional a la presión parcial del oxígeno en la fase gaseosa [14].

En caso de tratamiento de aguas, la transferencia del gas se puede formular por la teoría de la doble capa de Lewis y Whitman y que la cantidad másica de gas transferido se calcula con base en la teoría de Fick para describir el fenómeno de difusión [16].

Por otra parte, existen diversos estudios a nivel mundial que aplican distintas tecnologías de aireación para el cálculo del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales, en la que para optar por la tecnología más eficiente que ayude a mejorar sus tratamientos se basa en el tipo de aireador, y las condiciones climáticas del lugar de la investigación.

Dando lugar como objetivo implementar un aireador superficial de rotos con eje horizontal para la evaluación de la transferencia de oxígeno en aguas residuales industriales y como objetivos específicos determinar la capacidad nominal de oxigenación del aireador superficial en las aguas residuales de ZED Paíta, evaluar el coeficiente de la transferencia de oxígeno durante el tiempo de aireación superficial y determinar los factores de corrección que afectan al coeficiente global de la transferencia de oxígeno ( $\alpha$  y  $\beta$ ).

## II. METODOLOGÍA

### A. Tipo de investigación

La presente investigación encuadra dentro del tipo descriptivo, dado que la finalidad es especificar características y propiedades de variables, fenómenos, hechos o conceptos en un contexto específico. Por otro lado, el investigador escoge un número de cuestiones y luego busca información sobre cada variable, para obtener una representación de lo investigado [25].

Así mismo, es no experimental, debido a que no existe una manipulación deliberada de las variables [25]. Para analizarlas, se evalúan fenómenos o estudian situaciones ya acontecidas, de la misma forma que en su contexto natural.

### B. Materiales, Instrumentos y Métodos

El sistema aireador superficial de rotor horizontal este compuesto por un motor de  $\frac{1}{4}$  HP, dos ruedas de acero inoxidable con paletas de 28 cm de diámetro, las dimensiones de 1,00 m de largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura, dos poliestireno expandido con medidas de 1 m de largo x 0,30 m de ancho y 0,10 m de altura y un eje principal de acero inoxidable de 0,90 m de largo.

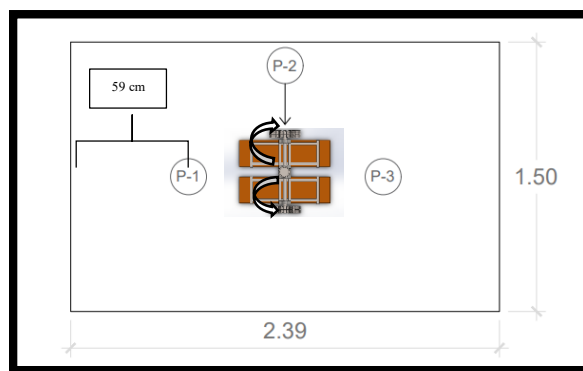


Figura 1. Vista planta- Ubicación de los puntos de medición de oxígeno disuelto con un sentido de rotación horario.

#### 1) Transferencia de oxígeno en agua potable:

La transferencia de oxígeno en agua potable se desarrolló en un estanque de dimensiones de 2,39 m largo, 1,50 m ancho y 0,58 m profundidad, cuyo volumen de aforo fue de 1075,5 L llegando hasta una profundidad de 0,30 m como se observa en la figura 1.

La desoxigenación del agua potable se realizó el método de oxidación del sulfito para la obtención de los valores de  $K_L a$ . Este método es la oxidación del sulfito se adiciona cloruro de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ) como catalizador. Se añade  $\text{CoCl}_2$  en cantidad suficiente para tener una concentración de  $\text{Co}^{+2}$  mínima de 1.5 ppm. Al constatar que el oxígeno disuelto (OD) sea 0 ppm se comenzó la aireación.

Se ubicó nueve puntos de medición Figura 1 para el OD que corresponde el 6,25% del área total del estanque. Ubicados en los tres niveles; superficie, intermedio y fondo, cuya distancia entre niveles es de 10 cm.

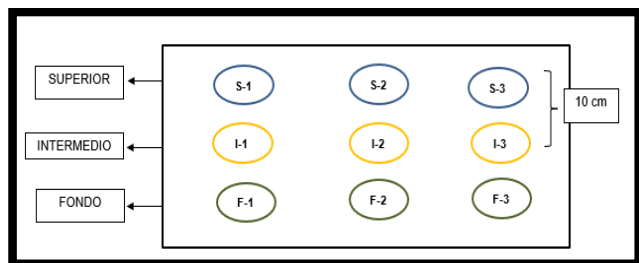


Figura 2. Vista perfil, ubicación de los niveles de medición de oxígeno disuelto. Separación en el eje horizontal de 0,59 m y en eje vertical 0,10m con respecto al aireador.

## 2) Transferencia de oxígeno en agua residual:

Se repite el mismo procedimiento para la medición en los puntos establecidos con respecto al tiempo usando agua residual.

## 3) Procesamiento de datos:

Se tabularon las concentraciones de OD con los diferentes periodos de aireación, utilizando el Excel se utilizó la ecuación de la teoría de doble capa de Lewis y Whitman descritas anteriormente (ver Ecuación 1)

$$\frac{N}{V} = \frac{dC}{dt} = K_L \cdot \frac{a}{V} \cdot (C_s - C) \quad (\text{Ec. 1})$$

para hallar el coeficiente de transferencia de oxígeno. Procedió con el gráfico correspondiente de  $\log(C_s - C_0)/(C_s - C)$  contra tiempo de aireación será una recta con pendiente igual a  $K_L a/2.3$ .

Se desarrolló la correlación de las dos variables para hallar la pendiente.

Se halló los factores de corrección de  $\alpha$  (relación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a agua potable, a la misma temperatura) (ver Ecuación 2)

$$\alpha = \frac{K_{La} \text{ de agua residual}}{K_{La} \text{ de agua corriente}} \quad (\text{Ec. 2})$$

y  $\beta$  (relación de concentración de saturación de OD en el agua residual a la del agua potable o destilada,  $\beta = C_{sr}/C_s$ . El efecto de la temperatura sobre la difusividad y viscosidad (ver Ecuación 3),

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{T-20} \quad (\text{Ec. 3})$$

también la presión con su respectiva ecuación descrita en las Ecuación 4.

$$C_{sr} = \beta C_s = \beta (C_s)_{760} \frac{P - P^v}{760 - P^v} \quad (\text{Ec. 4})$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 1  
DATOS PROMEDIOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA (KLA A 20° C)

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	1,020	1,237	1,441
Intermedio	1,129	1,296	1,559
Fondo	1,324	0,861	1,745

TABLA 2  
DATOS PROMEDIOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA (KLA A 30° C)

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	1,292	1,568	1,826
Intermedio	1,430	1,642	1,976
Final	1,678	1,092	2,212

TABLA 3  
DATOS PROMEDIO DEL KLA DE AGUA POTABLE A 20 °C

NIVEL	PUNTO		
	1	2	3
Superficie	2.947	3.041	1.031
Intermedio	0.966	1.076	1.073
Final	1.173	0.587	1.219

TABLA 4  
DATOS PROMEDIOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO A 20° EN LOS TRES NIVELES DEL ESTANQUE CON AGUA RESIDUAL Y POTABLE.

AGUA RESIDUAL	AGUA POTABLE	FACTOR DE CORRECCIÓN
$K_{La}$ a 20°C, h <sup>-1</sup>	$K_{La}$ a 20°C, h <sup>-1</sup>	$\alpha$
1.290	1.457	0.885

TABLA 5  
FACTORES DE CORRECCIÓN HALLADOS Y LA CAPACIDAD NOMINAL DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN TÉRMINOS DE POTENCIA

FACTOR DE CORRECCIÓN DE SATURACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL DE TRANSFERENCIA DE O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /KWh)
$\beta$	
0.844	0.3177

TABLA 8  
DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y MEDIA DE LOS PUNTOS Y NIVELES DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO.

	Media	Desviación Estándar
<b>PUNTOS</b>		
1	1.467	0.195
2	1.434	0.298
3	2.005	0.194
<b>NIVEL</b>		
Superficie	1.562	0.267
Intermedio	1.683	0.275
Fondo	1.661	0.56

TABLA 9  
PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS DE LOS PUNTOS N° 1

Puntos	Media	Intervalo de confianza
Punto 1	1.467 (0,195)	[0,980;1,952]
Punto 3	2.005 (0,194)	[1,521;1,488]
Diferencia	-0.538 *** (0,006)	[-0,555; -0,520]
T student		-0.013
P - value		0.000

TABLA 10  
PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS DE LOS PUNTOS N° 2 Y N° 3

Prueba: Diferencia de media		
Puntos	Media	Intervalo de confianza
Punto 2	1.434 (0,298)	[0,692; 2,175]
Punto 3	2.005 (0,194)	[1,521;2,488]
Diferencia	-0.571 * (0,477)	[-1,756;0,614]
T student		-2,071
P - value		0,087

TABLA 11  
PRUEBA DE DIFERENCIA ENTRE NIVELES “SUPERIOR” E “INTERMEDIO”

Prueba: Diferencia de media		
Niveles	Media	Intervalo de confianza
Superficie	1.562 (0,267)	[0,898;2,225]
Intermedio	1.682 (0,275)	[0,998; 2,366]
Diferencia	-0.120 ** (0,040)	[-0,222; -0,019]
T student		-5.115
P - value		0.018

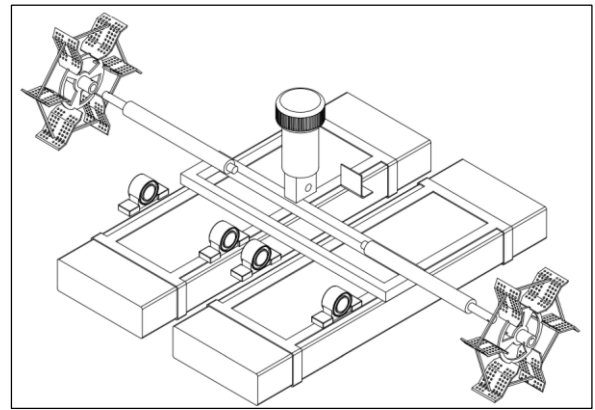


Figura 3. Sistema de encaje de cada parte correspondiente a la implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal

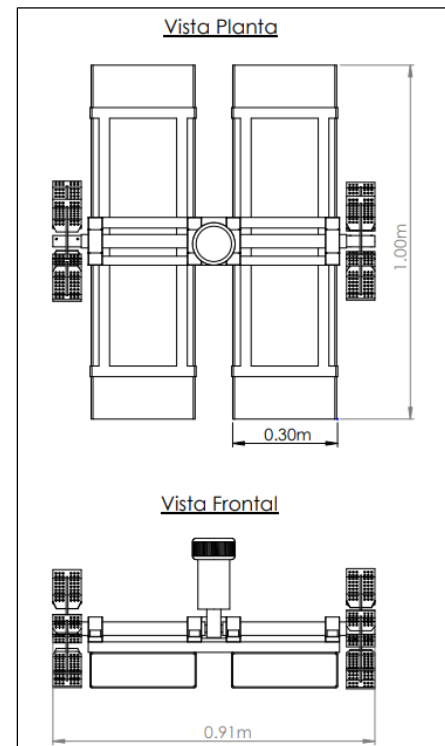


Figura 4. Dimensión y longitud del sistema ensamblado en vista planta y frontal para implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal

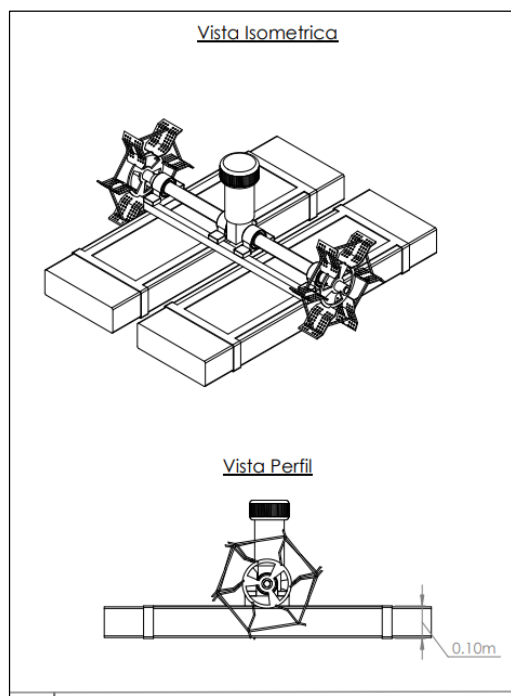


Figura 5. Dimensión y longitud del sistema ensamblado en vista isométrica y vista perfil para implementación del aireador superficial de rotor con eje horizontal

El aireador superficial tiene dimensiones finales de 1 m de largo, 0,91 m de ancho y 0,42 m de altura, funcionando con una velocidad de 146 rpm y con un sentido de rotación horario por parte de las paletas. Los aireadores comunes comerciales de rotor con eje horizontal tienen como características que trabajan a una profundidad entre 0.5 y 1.20 metros, en sus accesorios de circulación del agua tiene un reductor, eje principal, paletas rectangulares, flotadores, son de fácil instalación y las paletas pueden ser de 1 HP y 2 HP [11], estas además se pueden aplicar en un área de 0.25 a 6 Ha para tanques de depuración, y trabajan con una capacidad de 106 rpm.

Con respecto a los aireadores de rotor con eje horizontal, entre sus principales ventajas tiene que debido al movimiento horizontal que realiza permite abarcar grandes distancias, cuenta con una eficiencia similar a la de Inyección por hélice, además es eficiente para oxigenar, de estratificar y circular, asimismo considera que las desventajas más resaltantes se tiene cuando hay mayor profundidad va a ser menor la mezcla, trabajo unidireccional, y riesgo de deterioro, además debido a la gran cantidad de partes móviles, conduce a altos costos de mantenimiento y reparación, su diseño de reductor de engranajes requiere constante lubricación, y que podría volverse bajo vientos fuertes [11].

En lo que respecta a la capacidad nominal de transferencia de oxígeno cuyo valor obtenido fue de 0,317 kgO<sub>2</sub>/kWh; esta no cumple con los intervalos establecidos por Yañez, quien reporta valores entre 0,7 a 1,1 kgO<sub>2</sub>/kWh; este resultado puede haber sido afectado por el diseño del aireador y sus componentes a escala de laboratorio. No obstante, se debe considerar que para un óptimo tratamiento biológico por aeración prolongada se requiere usualmente 2 – 2,5 kgO<sub>2</sub>/kg de

demanda biológica de oxígeno (DBO) abastecido, esto hace que el oxígeno abastecido sea suficiente para proveer energía para síntesis, respiración endógena y nitrificación total [23].

Por lo tanto, para lograr estar dentro del rango de la capacidad nominal, se puede trabajar con una rotación axial por parte de las paletas, la cual permitiría una distribución homogénea de aireación a lo largo de todo el estanque cuando se realice la rotación, asimismo se podría considerar evaluar las revoluciones por minuto generadas para un posible aumento, asimismo evaluar el nivel de profundidad que tienen las hélices.

La profundidad de inmersión de las hojas del rotor es una variable importante en el diseño, esta es determinada bajo condiciones estáticas. Generalmente las curvas características de capacidad de oxigenación para rotores son determinadas para variar profundidades de inmersión. De todos modos, el efecto de la profundidad, es incrementar la capacidad de oxigenación. El rendimiento de rotores horizontales es prácticamente uniforme para variar condiciones de inmersión y velocidad, lo cual es usual en aeración mecánica.

La turbulencia es un factor clave en dicho proceso, debido a que, al existir una baja turbulencia, la resistencia a la difusión en la masa de la fase líquida es mayor que la de la película líquida. Con niveles de turbulencia moderados, la primera disminuye, pudiendo ser la resistencia de la película líquida la que gobierne el proceso. Caso contrario sucede, con mayores niveles de turbulencia, la película de líquido se rompe y la transferencia de oxígeno se controla por la frecuencia con la cual gotas de líquido, con una concentración de oxígeno en total de la masa líquida reemplazan el líquido interfacial, también llamado factor de renovación superficial, esto explica los resultados obtenidos a nivel del fondo, los cuales fueron mejores debido a la presencia de turbulencia por efecto de los aireadores [14].

Por otro lado, la longitud y número de rotores también pueden ser considerados como factores en los resultados, esto se debe por las curvas de capacidad de oxigenación provista, puesto que, como se indicó anteriormente, hay 3 métodos diferentes de expresar la tasa de transferencia de oxígeno, de acuerdo con el perfil de oxígeno disuelto asumido a través del rotor. También se debe averiguar si las curvas provistas incluyen o no la pérdida de potencia a través del motor y engranaje reductor, lo cual conlleva a realizar más investigaciones usando estas variables intermitentes [15].

## V. CONCLUSIONES

Se implementó el sistema de aireación superficial de rotor con eje horizontal con dimensiones 1,00 m largo x 0,91 m ancho y 0,42 m de altura, cuya capacidad nominal del aireador superficial en las aguas residuales fue de 0,3177 kgO<sub>2</sub>/kWh, no encontrándose dentro de los límites, esto se debe a diferentes variantes que influye significativamente en el oxígeno disuelto como se da en el caso de la temperatura, la profundidad de la paleta de aireación, rendimiento de rotores, turbulencia y carga orgánica del agua.

El factor de saturación  $\alpha$  fue de 0,885, relación entre el coeficiente de transferencia de agua residual con el agua

potable. Y el factor de saturación  $\beta$  es de 0,844 correspondiente a la presión y temperatura tanto en agua residual con agua potable.

## REFERENCIAS

- [1] Meza, A. & Cueto, D. (2012). Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal (Título Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- [2] Chávez, M. (2004). Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un Biodigestor Aeróbico (Título de Ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [3] Correa, G. (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia (Tesis de Maestría). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
- [4] Castell, D., García, M., Tormos, I., Ferrer, C., Morenilla, J., Bernacer, I., y Basiero, A. (2011). Optimización energética del sistema de aireación de una EDAR. Análisis comparativo de dos tecnologías. Tecnología del Agua, 327, 2-8.
- [5] Lompe, D. (2012). Oxygen Transfer Measurements at Surface aerators in waste water as basis for energy saving in aeration. Recuperado de <http://zeszyty.umg.edu.pl/sites/default/files/ZN147.pdf>
- [6] Durán, E. (2005). Propuesta de un Modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la Transferencia de Oxígeno en Sistemas de Aireación con Difusores de Poro Fino (Magister Cientae en Ingeniería Química). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- [7] Monroy, F. & Puerto, C. (2014). Desarrollo de Prototipo para la Aireación Automática en Estanque Artificial Aplicado a la Piscicultura (Título de Ingeniero Mecatrónico). Universitaria Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia.
- [8] Fair, G., Geyer, J. & Okun, A. (1994). Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. México D.F., México: Limusa
- [9] Kane M. (2013). Cambios en los niveles de oxígeno disuelto, amoníaco y nitrato en una instalación de tratamiento de aguas residuales al convertir un sistema aireación de difusor a disco (tesis de maestría). Universidad de Tennessee, Estados Unidos.
- [10] Kwong, E. et al (s.f). Distribución del oxígeno disuelto, pH y temperatura de la laguna facultativa de la planta Maracaibo Sur. Recuperado en [www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/venelop.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/venelop.pdf)
- [11] Malpartida, J. (2015). Piscicultura y Aireación. Recuperado de <http://tecnoaquas.com/wp-content/uploads/2015/10/Curso-Aireaci%C3%B3n.-Neiva-octubre-20151.pdf>
- [12] Marcillo, F. (s.f). Uso de Aireación en Camaroneras. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8971/1/Aireacion.pdf>
- [13] Merino, O. & Sal, F. (2007). Sistemas de Recirculación y Tratamientos de Agua. Santa Fe, Colombia. Recuperado de [http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/\\_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf](http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf)
- [14] Ramalho, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona, España: Quebec Reverté.
- [15] Rodríguez, A. (2013). Estudio de eficiencia en sistemas de aireación y estrategia de optimización y control basado en eliminación de nutrientes en EDAR de Santa Pola (tesis maestría). Universidad Jaime, Valencia, España.
- [16] Romero, J. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teorías y principios de diseño (3ra Edición). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [17] Roman, D. & Muresan, V. (2014) Analysis of oxygen requirements and transfer efficiency in a wastewater treatment plant. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a883/a2ee2309135e92864242caa567cae525034.pdf>
- [18] Sánchez M., Aguilar M., Fenolla R. & Roig A. (2008). Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. Doi: 10.1016/j.watres.2008.06.028
- [19] Rolim, S. (1999). Lagunas Aireadas Mecánicamente. Recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Julio2006/CD1/pdf/spa/doc13078/doc13078-a.pdf>
- [20] Soler, A. (2009) Evaluación de un sistema de aireación externo en la fermentación con Lactococcus lactis (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia
- [21] Tecno Agua (2016). Estudio comparativo de la transferencia de oxígeno en distintos sistemas de aireación en EDAR de la Región de Murcia, España. Recuperado de [http://www.redcontrol.com/archivos\\_subidos/TecnoAgua-21-2016.pdf](http://www.redcontrol.com/archivos_subidos/TecnoAgua-21-2016.pdf)
- [22] Ugalde, D. (2011) Estudio de determinación de la eficiencia de transferencia de oxígeno (Tesis de Licenciatura) Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [23] Yañez, F. (1991). Transferencia de Oxígeno y Aeración. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima.
- [24] Alviz, M. & Cueto, D. (2012). Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal (Título Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- [25] Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>.
- [26] Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Fiscalización Ambiental de Residuos Sólidos de gestión municipal provincial, 2014, 2015. [Online]. Available: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=16983](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16983).
- [27] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), el regulador de los servicios de saneamiento, 2012. [Online]. Available: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/7.-Memoria-anual-2012.pdf>.