

**AIREACIÓN EFICIENTE SEGURA Y ECONÓMICA DEL AGUA EN COLOMBIA Y  
EN EL MUNDO**

**ERIKA PAOLA LÓPEZ SOTO**

**1094272666**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS CIVIL Y AMBIENTAL  
PAMPLONA**

**2016**

PAOLA LOPEZ



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>9</b>
<b>1. AIREACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>1.1. DEFINICIÓN</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1. SISTEMAS DE AIREACIÓN DIFUSA O AIRE COMPRIMIDO</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2. SISTEMAS DE AIREACIÓN SUPERFICIAL</b>	<b>12</b>
<b>1.1.3. SISTEMAS DE TURBINA SUMERGIDA</b>	<b>13</b>
<b>1.2. PROCESO AEROBIO</b>	<b>13</b>
<b>1.3. TRANSFERENCIA DE GASES</b>	<b>14</b>
<b>1.3.1. TEORIA DE LA DOBLE CAPA</b>	<b>15</b>
<b>1.4. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS</b>	<b>17</b>
<b>1.4.1. PROCESOS BIOLÓGICOS AEROBIOS</b>	<b>17</b>
<b>1.5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN.</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1. FILTROS SUMERGIDOS AIREADOS</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1.1. LOCALIZACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1.2. DIMENSIONAMIENTO</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1.2.1. EQUIPO DE AIREACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>2. AIREACIÓN EN AGUA POTABLE</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1. AIREADORES DE CAÍDA DEL AGUA</b>	<b>19</b>
<b>3. EQUIPOS PARA LA AIREACIÓN</b>	<b>24</b>
<b>3.1. FANGOS ACTIVADOS: PROCESO BÁSICO</b>	<b>24</b>
<b>3.2. LODOS ACTIVADOS</b>	<b>25</b>
<b>3.2.1. TANQUE DE AIREACIÓN</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2. TIPOS Y MODIFICACIONES</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3. PARAMETROS EMPÍRICOS EN EL DISEÑO TANQUE AIREADOR</b>	<b>27</b>
<b>3.3. SISTEMAS DE AIREACIÓN</b>	<b>28</b>
<b>3.3.1. GENERALIDADES</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO</b>	<b>28</b>
<b>3.3.3. POTENCIA TÍPICA DE COMPRESORES</b>	<b>29</b>
<b>3.3.4. TRANSFERENCIAS DE OXÍGENO TÍPICAS DE AIREADORES.</b>	<b>29</b>
<b>3.3.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.</b>	<b>30</b>
<b>3.4. RWL WATER EQUIPO DE AIREACIÓN Y AIREADORES.</b>	<b>30</b>
<b>3.4.1. AIREADOR ASPIRADOR SUPERFICIAL TORNADO</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1.2. CONSTRUCCIÓN ROBUSTA</b>	<b>39</b>
<b>3.4.1.3. COMPONENTES DE ACERO INOXIDABLE</b>	<b>40</b>
<b>3.4.1.4. COSTOS DE ENERGÍA REDUCIDOS</b>	<b>40</b>
<b>3.4.1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES</b>	<b>40</b>
<b>3.4.2. EQUIPOS DE AIREACIÓN ECOLÓGICA</b>	<b>41</b>
<b>3.4.2.1. COMO SE USAN ESTOS PRODUCTOS</b>	<b>41</b>
<b>3.4.2.2. CIRCULADOR DE AGUA SOLAR LumenAER.</b>	<b>42</b>
<b>3.4.2.2.1. CARACTERÍSTICAS</b>	<b>42</b>
<b>3.4.2.2.2. ESPECIFICACIONES</b>	<b>43</b>
<b>3.4.3. FUENTE FLOTANTE AuraAER.</b>	<b>44</b>



3.5.	XYLEM SOLUTIONS COLOMBIA	45
3.5.1.	DIFUNDIR EL AIRE FINAMENTE.	47
3.5.1.1.	DIFUSORES DE LA SERIE SANITAIRE GOLD	47
3.5.1.2.	DIFUSORES DE LA SERIE SANITAIRE SILVER	48
3.5.1.3.	DIFUSORES DE CERAMICA SANITAIRE.	49
3.5.2.	COMPONENTES DE PARRILLAS DE SANITAIRE.	50
3.6.	DIFUSORES	52
3.6.1.	USOS	53
3.6.2.	CARACTERISTICAS Y VENTAJAS	53
3.7.	EL AIREADOR-OXIGENADOR FORCE-7	54
3.8.	FORCE-7 PRO	55
3.9.	NYF DE COLOMBIA	56
3.9.1.	PLANTAS DE OXIDACIÓN AVANZADA	56
3.9.2.	PLANTAS DE OXIDACIÓN QUIMICA	57
3.9.3.	ALTA OXIDACIÓN POR COMBINACIÓN DE (H2O2) +UV-C.	58
4.	ESTUDIOS SOBRE LA AIREACIÓN	59
4.1.	OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A TRAVÉS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO ASM1.	59
4.2.	TRATAMIENTO DE EMERGENCIA DE AGUA POTABLE EN EL LUGAR DE CONSUMO (OMS, OPS).	59
4.3.	IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO PILOTO DE BANDEJAS DE AIREACIÓN PARA AGUAS, POTENCIALIZADO CON MICROORGANISMOS EFICIENTES.	60
4.4.	DETALLE DE DISEÑO DEL EQUIPO DE FILTRACIÓN A PARTIR DEL PROTOTIPO.	61
4.5.	OptimEDAR: SOLUCIÓN PARA LA GESTIÓN OPTIMIZADA DE UNA EDAR REDUCIENDO EL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA HUELLA AMBIENTAL, Y AUMENTADO LA PRODUCTIVIDAD.	62
4.6.	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL	63
4.6.1.	EQUIPO DE AIREACIÓN EXPERIMENTAL.	63
4.7.	AIREACIÓN INTERMITENTE PARA REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA SOLA ETAPA.	64
4.8.	ESTACIONALIDAD EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: IMPACTO SOBRE LA EFICIENCIA Y LOS COSTES DE OPERACIÓN.	65
4.9.	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CERVECERA.	65
4.10.	EVALUACION COMPARATIVA EN UNA PLANTA A ESCALA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS DE AIREACION PROLONGADA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO DE RELLENO SANITARIO MUNICIPAL DILUIDO CON AGUA RESIDUAL.	66
	CONCLUSIONES	68
	BIBLIOGRAFIA	69

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores de concentración de saturación de oxígeno en agua limpia a 1 atmósfera de presión (760 mm Hg). .....	16
<b>Tabla 2.</b> Solubilidades De Gases En El Agua Para Diferentes Temperaturas .....	17
<b>Tabla 3.</b> Características de operación de los procesos de lodos activados .....	28
<b>Tabla 4.</b> Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados .....	28
<b>Tabla 5.</b> Tipos de aireadores.....	29
<b>Tabla 6.</b> Rangos típicos de potencia. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Rangos típicos de transferencia de oxígeno .....	31
<b>Tabla 8.</b> Equipos de aireación de RWL Water .....	39
<b>Tabla 9.</b> Especificaciones de los equipos LumenAER .....	45
<b>Tabla 10.</b> Características de funcionamiento a nivel del mar con una temperatura ambiente de 25 °C .....	55
<b>Tabla 11.</b> Características de funcionamiento del FORCE 7 pro.....	56



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Difusores de un reactor biológico de lodos activados .....	11
<b>Figura 2.</b> Detalle de un disco difusor .....	11
<b>Figura 3.</b> Aireador superficial de flujo radial .....	12
<b>Figura 4.</b> Aireador de flujo axial .....	12
<b>Figura 5.</b> Metabolismo aeróbico de la materia orgánica .....	13
<b>Figura 6.</b> Degradación aerobia de la M.O. ....	13
<b>Figura 7.</b> Transferencia de gases. Interfase aire-agua. ....	15
<b>Figura 8.</b> Esquema PTAP. ....	20
<b>Figura 9.</b> Aireadores tipo bandeja .....	21
<b>Figura 10.</b> Aireador de cascada .....	22
<b>Figura 11.</b> Aireador manual para remoción de hierro y manganeso. ....	22
<b>Figura 12.</b> Planta de tratamiento de agua potable compacta .....	23
<b>Figura 13.</b> Diagrama de planta de producción de agua potable tipo compacta .....	23
<b>Figura 14.</b> Torre de aireación .....	24
<b>Figura 15.</b> Proceso de fangos activados .....	25
<b>Figura 16.</b> Esquema básico de un proceso de lodos activados. ....	26
<b>Figura 17.</b> aireador aspirador superficial tornado .....	39
<b>Figura 18.</b> Funcionamiento del aireador Tornado. ....	40
<b>Figura 19.</b> Especificaciones del tornado. ....	42
<b>Figura 20.</b> Circulador de agua solar LumnAER. ....	43
<b>Figura 21.</b> Maxima profundidad del LumnAER. ....	43
<b>Figura 22.</b> Funcionamiento del LumnAER .....	44
<b>Figura 23.</b> Zonas en las que actúa el equipo .....	44
<b>Figura 24.</b> Fuente flotante solar AuraAER para estanques y lagos. ....	46
<b>Figura 25.</b> Sistema de aireación de XYLEM. ....	46
<b>Figura 26.</b> ¿Qué aireador es el apropiado? .....	47
<b>Figura 27.</b> Instalación de difusores de aire Sanitaire. ....	48
<b>Figura 28.</b> Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Gold .....	49
<b>Figura 29.</b> Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Silver .....	49
<b>Figura 30.</b> Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Gold .....	50
<b>Figura 31.</b> Parrila de Sanitaire. ....	51
<b>Figura 32.</b> Especificaciones técnicas de la parrilla .....	52
<b>Figura 33.</b> Difusores. ....	52
<b>Figura 34.</b> Force 7 .....	54
<b>Figura 35.</b> Force 7 Pro. ....	55
<b>Figura 36.</b> Planta de oxidación avanzada. ....	57
<b>Figura 37.</b> Equipos presentes en la oxidación .....	57
<b>Figura 38.</b> Bandeja de aireación .....	59
<b>Figura 39.</b> Detalle de diseño del equipo de filtración a partir del prototipo. ....	61
<b>Figura 40.</b> Ecuaciones implementadas para el diseño de filtración .....	62



<b>Figura 41.</b> Diagrama de proceso de fangos activados de una EDAR.....	62
<b>Figura 42.</b> Instalación en plantas existente .....	63
<b>Figura 43.</b> Esquema del equipo de aireación.....	64



## RESUMEN

El agua como líquido vital para la supervivencia de las especies se encuentra afectada, debido a su alta contaminación asociada a la destrucción del ambiente y vertimiento indiscriminado de sustancias que impide ser apta para el consumo y disminuye la calidad y cantidad del agua, preocupando su consecución en un futuro, es así como la aireación surge para ayudar en la descontaminación de las fuentes hídricas, existen diferentes prototipos que se ajustan a las necesidades que requiere el cliente, algunas implementan el uso de energía renovables, como los paneles solares, para hacer una combinación exitosa que busca reducir gastos de mantenimiento y ejecución, aun se puede seguir explorando, pero los pasos que la industria está generando, dan luz verde para utilizar esta tecnología combinada con otros procesos y ayudar a mejorar la calidad del agua que se suministra y retorna a los cuerpos de agua.

**Palabras claves:** Aireación, Diseño, Eficiencia, Rendimiento, Tratamiento biológico.



## INTRODUCCIÓN

El agua es el componente principal, para que exista la vida, es esencial, no solo para la supervivencia de cualquier especie animal o vegetal, si no que hace parte de muchas actividades que desarrolla el ser humano, como la industria, agricultura, energía entre otros sectores en los que el uso de este vital liquido es fundamental.

La escasez del agua y la alta contaminación que presenta la misma, plantean amenazas para el bienestar del hombre y un sin número de incidencias negativas en el ámbito ecológico, la disminución del agua de buena calidad, perjudica al medio acuático y terrestre, sometiendo a una presión mayor a la flora y fauna, que siente las repercusiones de la ambición que consume al hombre en su afán de poseer mayores riquezas.

Pero la humanidad también posee esa capacidad de crear e innovar frente a cualquier dificultad que se le presenta y en esa constante búsqueda de tratar el agua para su óptimo consumo, plantea proyectos que nos puedan llevar a un futuro sostenible y convivir en armonía con la naturaleza.

La aireación, se presenta como una de estas ideas, que pretende aportar en pro de la purificación del agua residual, consiste en hacer que por medios naturales o artificiales, el agua realice un contacto con el aire con el fin de que los microorganismo allí presentes, obtengan el oxígeno necesario para realizar todas sus actividades y ayudar en la degradación de la materia, un método que en su idea básica es extraordinaria y ayudaría de forma eficiente, el problema se presenta cuando es necesario la consecución de equipos que generen esta inyección de gas, los costos que esto podría generar, serían el primer obstáculo en el camino, actualmente se están generando nuevas técnicas para uno uso eficiente y eficaz de esta metodología.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el método más eficiente, seguro y económico para la aireación de agua en Colombia y el mundo.

### **OBJETIVO ESPECIFICO**

- Recopilar información secundaria con el fin de obtener los métodos más relevantes en materia de aireación usados en Colombia y a nivel mundial para tratamiento del agua.
- Conocer los diversos equipos existentes en el mercado que contribuyen a mejorar la aireación dela agua a tratar.
- Investigar los métodos más eficientes a la hora de realizar la aireación del agua.

## 1. AIREACIÓN

- 1.1. La aireación es el “Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido)”. (RAS 2000)

El proceso de aireación consiste en poner el agua en contacto íntimo con el aire. El objetivo principal de la aireación es el de proporcionarle a los microorganismos el oxígeno necesario para que realicen sus procesos de transformación y degradación de la materia orgánica contaminante (LOZANO 2012). De igual manera, la aireación permite:

- Transferir oxígeno disuelto.
- Remover sustancias volátiles.
- Eliminar anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>).
- Remover ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).
- Remover hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).
- Eliminar gas metano (CH<sub>4</sub>), gas cloro (Cl<sub>2</sub>) y amonio (NH<sub>4</sub>).
- Reducción de trihalometanos.

El oxígeno disuelto –OD– es uno de los factores más asociados a la vida acuática, al incidir en casi todos los procesos químicos y biológicos; las condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) favorecen la diversidad de especies deseables como los peces (que en general pueden subsistir a concentraciones de OD superiores a 4 mg/l). Los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales requieren concentraciones de oxígeno entre 0,2 y 2,0 mg/L. Los requerimientos de la mezcla son los que determinarán la potencia necesaria de los equipos de aireación empleados.

Los tipos de equipos de aireación más empleados en el tratamiento de aguas (LOZANO 2012), son:

- Sistemas de Aireación Difusa o Aire Comprimido.
  - Equipos difusores
- Sistemas de Aireación Superficial
  - Equipos de flujo Radial
  - Equipos de flujo Axial
  - Equipos aspirantes
  - Rotores horizontales o cepillos
- Sistemas de Turbina
  - Equipos de turbina sumergida

### 1.1.1. SISTEMAS DE AIREACIÓN DIFUSA O POR AIRE COMPRIMIDO

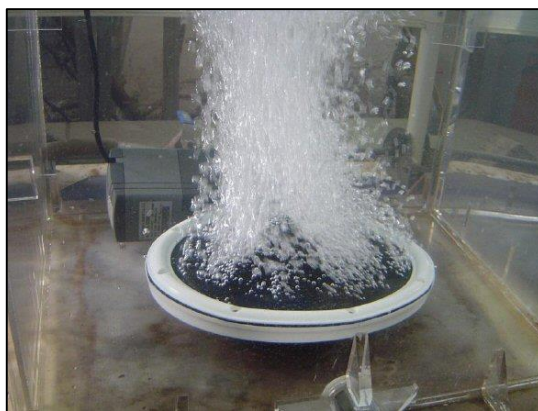
La aireación difusa es la inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, por la parte inferior de la superficie libre del fluido. Esta aplicación se realiza a través de medios porosos conocidos como difusores, que producen burbujas de diámetros muy pequeños (Figura 1). Los preferidos son los de poro fino (2 a 5 mm), seguidos por los de poro semifino (6 a 10 mm) y los de burbuja gruesa (>10 mm) (LOZANO 2012).



**Figura 1.** Difusores de un reactor biológico de lodos activados

**Fuente:** (LOZANO 2012)

Pueden transferir de 0,3 kg O<sub>2</sub>/kW\*h a 1,2 kg O<sub>2</sub>/kW\*h, siendo usados, especialmente en depuradoras pequeñas con tanques que tienen profundidades entre 2,5 y 5,0 m, con anchos entre 3 a 9 metros. La relación ideal ancho/profundidad de estos tanques debe ser menor a 2, con el fin de asegurar una aireación efectiva y una mezcla apropiada (Figura 2).

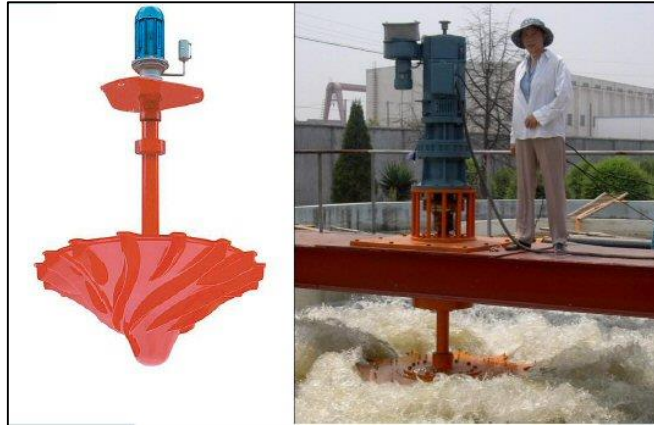


**Figura 2.** Detalle de un disco difusor

**Fuente:** (LOZANO 2012)

### 1.1.2. SISTEMAS DE AIREACIÓN SUPERFICIAL

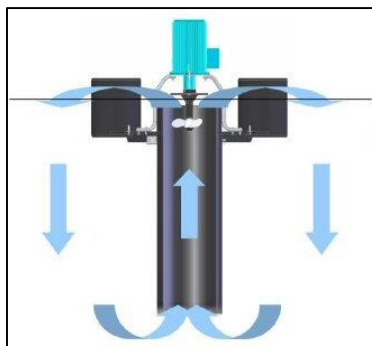
Estos pueden ser de flujo radial (baja velocidad), axial (alta velocidad), equipos aspirantes o cepillos (rotores horizontales) (Figura 3)..



**Figura 3.** Aireador superficial de flujo radial  
**Fuente:** (LOZANO 2012)

Los equipos de flujo radial usan velocidades de operación entre 20 a 100 rpm (revoluciones por minuto), con potencias hasta de 150 kW. Pueden ser fijos o flotantes. La capacidad de transferencia oscila entre 1,5 y 2,0 kg O<sub>2</sub>/kW\*h.

Los equipos de flujo axial se usan mucho en lagunas aireadas, las cuales tienen bajas profundidades (Figura 4). Estos equipos consumen menos energía que los radiales. Se encuentran con potencias hasta de 93 kW y tienen capacidades de transferencia entre 0,7 y 1,4 kg O<sub>2</sub>/kW\*h. Generan una mejor mezcla en los tanques de aireación (LOZANO 2012).



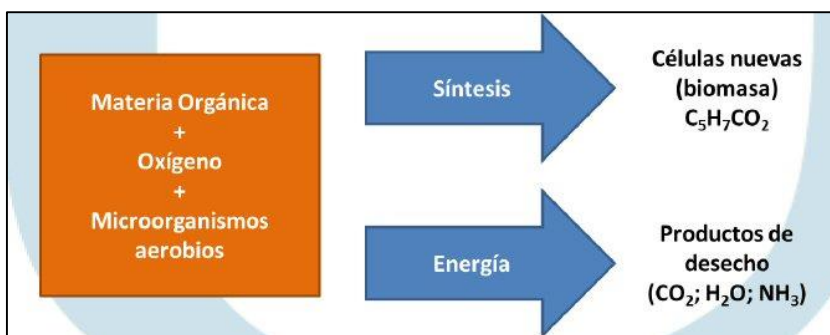
**Figura 4.** Aireador de flujo axial  
**Fuente:** (LOZANO 2012)

### 1.1.3. SISTEMAS DE TURBINA SUMERGIDA

Aunque tienen un volumen o área de influencia menor que los aireadores superficiales, tienen altas capacidades de transferencia de oxígeno que oscilan entre 1,0 y 2,0 kg O<sub>2</sub>/kW\*h. Los diámetros de turbina suelen ser entre 0,1 y 0,2 veces el ancho del tanque para depósitos con alturas entre 5 y 6 metros (LOZANO 2012).

## 1.2. PROCESO AEROBIO

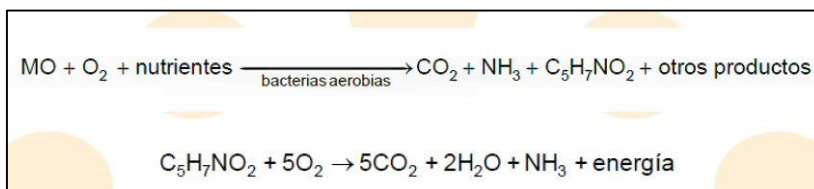
Se considera un proceso de respiración de oxígeno en el que el oxígeno libre es el único aceptor final de electrones. El carbono se oxida y el oxígeno se reduce. A pesar de la complejidad de este metabolismo microbioal, su representación puede simplificarse de la siguiente manera (Figura 5).



**Figura 5.**Metabolismo aeróbico de la materia orgánica

**Fuente:** (Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas, 2012).

Como puede deducirse de la imagen anterior, la molécula C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>CO<sub>2</sub> representa las bacterias o la biomasa formada; de igual manera, la degradación biológica aerobia de la materia orgánica, implica la aparición de nitrógeno amoniacal, incrementándolo en el afluente (Figura 6).

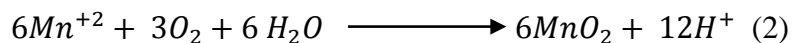
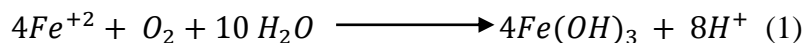


**Figura 6.** Degradación aerobia de la M.O.

**Fuente:** (LOZANO 2012)

Las bacterias emplearán el oxígeno disuelto para oxidar la materia orgánica en anhídrido carbónico y generar energía. En ambas vías del metabolismo aeróbico de la materia orgánica, se genera nitrógeno amoniacal y se consume el oxígeno disponible en el agua. Estequiométricamente, se estima que para oxidar 1 g de biomasa, se consumen 1,42 g de oxígeno.

Las reacciones de oxidación utilizando la aireación en presencia de hierro y manganeso respectivamente son las siguientes:



Según la estequiometría de la reacción entre el hierro y el oxígeno (1) se tiene en forma general que 4 moles de hierro reaccionan con un mol de oxígeno, para el manganeso (2), se tiene 6 moles de manganeso, reaccionan con tres moles de oxígeno (Burbano,2005).

### 1.3. TRANSFERENCIA DE GASES

Fenómeno físico acompañado de cambios químicos, bioquímicos y biológicos mediante el cual, moléculas de un gas son intercambiadas en la interfase gas líquido, El proceso de la disolución de un gas en el agua se trata generalmente como una transferencia de materia que ocurre en cuatro pasos:

El primero implica el paso del gas a través de la fase vapor hacia la interface gas- líquido.

El segundo corresponde al paso del gas a través del vapor que forma la interface gas- líquido.

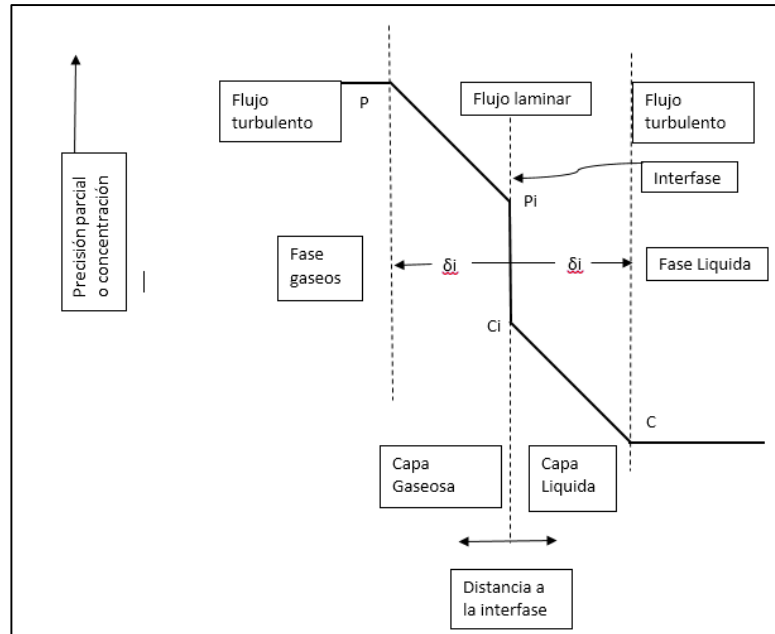
El tercero es la transferencia a través de la película líquida situado en el líquido de la interface.

En el cuarto el gas debe dispersarse en la masa principal de la solución

Desde luego estos cuatro pasos se dan a velocidad diferente, por tanto la velocidad de transferencia estará controlada por el paso más lento así: Cuando la masa principal de la disolución en la cual el gas se está disolviendo está suficientemente agitada, la etapa que controla la velocidad en el proceso de transferencia global será posiblemente el paso del gas a través de la interfase gas-líquido, lo contrario ocurre si las condiciones son de muy poca agitación, en este caso el controlador de velocidad será el paso de gas a la solución (PROCESOSBIO, 2016).

### 1.3.1. TEORIA DE LA DOBLE CAPA

Se basa en un modelo físico, según el cual, en la interfase gas - líquido existen dos capas, una capa gaseosa y una capa líquida, por las cuales se transfiere el gas por difusión molecular.



**Figura 7.** Transferencia de gases. Interfase aire-agua.  
**Fuente:** (PROCESOSBIO, 2016) editado por: autor.

Pasos del transporte.

- Paso del gas a través de la fase gaseosa hacia la interfase.
- El gas debe atravesar la capa gaseosa situada en el lado de la fase gaseosa de la interfase.
- Este debe atravesar la capa líquida situada en la fase líquida de la interfase.
- El gas debe dispersarse a través de la masa principal de la solución.

El gas se mueve espontáneamente de una región de alta concentración a una de baja concentración, y a medida que la diferencia de concentración es mayor, la tasa de difusión aumenta. El coeficiente de transferencia de oxígeno depende del valor de saturación de oxígeno en el agua residual, el cual corresponde al valor de saturación de oxígeno en el agua limpia, afectado por un factor de corrección “ $\beta$ ”. Los valores de saturación de oxígeno “ $C_s$ ” en el agua limpia a diferentes temperaturas se muestran en la Tabla 1.

TEMPERATURA (°C)	“Cs” OXIGENO DISUELTO (mg/l)	TEMPERATURA (°C)	“Cs” OXIGENO DISUELTO (mg/l)
0	14,62	18	9,54
5	12,80	19	9,35
7	12,17	20	9,17
8	11,87	21	8,99
9	11,59	22	8,83
10	11,33	23	8,68
11	11,08	24	8,53
12	10,83	25	8,38
13	10,60	26	8,22
14	10,37	27	8,07
15	10,15	28	7,92
16	9,95	29	7,77
17	9,74	30	7,63

**Tabla 1.** Valores de concentración de saturación de oxígeno en agua limpia a 1 atmósfera de presión (760 mm Hg).

Fuente: (LOZANO, 2012)

El coeficiente de transferencia de oxígeno puede ser medido en pruebas de laboratorio, así:

- Tomar entre 2 y 200 L de agua potable, se lee su OD y se desoxigena con Sulfito de Sodio (12 mg/L por mg/L de OD) y 0,04 mg/L de Cloruro de Cobalto (catalizador). También se logra burbujeando gas nitrógeno.
- Con el oxígeno disuelto en cero, encender los agitadores (de velocidad o volumen constante) y registrar los incrementos de oxígeno en función del tiempo de aireación, hasta que el oxígeno disuelto se estabilice (este corresponderá al valor de saturación).
- Graficar el Logaritmo de la concentración de saturación de oxígeno “ $Log C_s$ ”, dividido por la concentración de saturación de oxígeno menos el valor de oxígeno disuelto a diferentes intervalos de tiempo “ $C_s - C$ ”

La solubilidad es función de la presión parcial del gas presión del gas presente en la atmósfera que está en contacto con el agua, de la temperatura del agua y de la concentración de impurezas. La solubilidad de un gas disminuye al aumentar la temperatura y la concentración de impurezas iónicas. La tabla No. 2 se ilustra el efecto de la temperatura sobre la solubilidad, los coeficientes de absorción  $K_h$ , de los diferentes componentes del aire (CARRASQUERO, 2013).

La concentración de oxígeno disuelto en agua es bastante pequeña a causa de su baja solubilidad. Puesto que en el aire seco la presión parcial de oxígeno,  $PO_2$ , es de 0,21 atmósferas (el oxígeno se encuentra en la atmósfera en un 21%, aproximadamente), se deduce que la solubilidad del  $O_2$  en agua es de 8,7 mg/L, lo que equivale en este caso a 8,7 ppm supuesta una densidad de 1 g/mL para el agua.



Temperatura		Coeficiente de absorción (ml/L)			
°C	°F	Aire <sup>b</sup>	Oxígeno	Nitrógeno	Dióxido de carbono
0	32	29,2	48,9	23,5	1713
5	41	25,7	42,9	20,9	1424
10	50	22,8	38,0	18,6	1194
15	59	20,6	34,2	16,9	1019
20	68	18,7	31,0	15,5	878
25	77	17,1	28,3	14,3	759
30	86	15,6	26,1	13,4	665
35	95	-	24,4	12,6	592
40	104	-	23,1	11,8	530

**Tabla 2.** Solubilidades De Gases En El Agua Para Diferentes Temperaturas  
**Fuente:** (Iozano, 2016)

Dada la reducida solubilidad del oxígeno y por tanto la baja velocidad de transferencia, en muchas ocasiones la cantidad de oxígeno que penetra en el agua a través de la interfase aire-superficie del líquido no es suficiente para satisfacer la demanda de oxígeno del tratamiento aerobio, es preciso generar condiciones adicionales para aumentar la transferencia de oxígeno, inyectando burbujas de oxígeno puro, o atomizando el agua permitiendo mayor área de contacto entre aire – agua (CHAVARRO, 2014).

## 1.4. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, en buena parte de las aguas industriales.

### 1.4.1. PROCESOS BIOLÓGICOS AEROBIOS

Son muchas las posibilidades de tratamiento:

- Cultivos en suspensión: Proceso de fangos activados (lodos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).
- Cultivos fijos: Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos).

## **1.5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN**

En el ras 2000 capítulo E.3. Se trata el tema de tratamientos en el sitio de origen, en los cuales se dan los parámetros a tener en cuenta para diseño de ciertos métodos para el tratamiento con aireación.

### **1.5.1. FILTROS SUMERGIDOS AIREADOS**

Proceso de tratamiento de aguas que utiliza un medio sumergido en el reactor para la fijación de los microorganismos; el aire se suministra a través de un equipo de aireación. Se caracteriza por la capacidad de fijar grandes cantidades de microorganismos en la superficie del medio y reducir el volumen del reactor biológico, permitiendo una depuración avanzada de las aguas residuales sin necesidad de recircular los lodos, como sucede en el proceso de lodos activados (RAS 2000).

#### **1.5.1.1. LOCALIZACIÓN**

Deben colocarse aguas abajo del tanque séptico que sirve como sedimentador.

#### **1.5.1.2. DIMENSIONAMIENTO**

##### **1.5.1.2.1. EQUIPO DE AIREACIÓN**

El oxígeno necesario para el tratamiento aerobio se suministra a través de equipos de aireación de modo continuo e ininterrumpido. Por tanto, los equipos de aireación deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$Q_a = 30 \frac{N_c \cdot C}{1440}$$

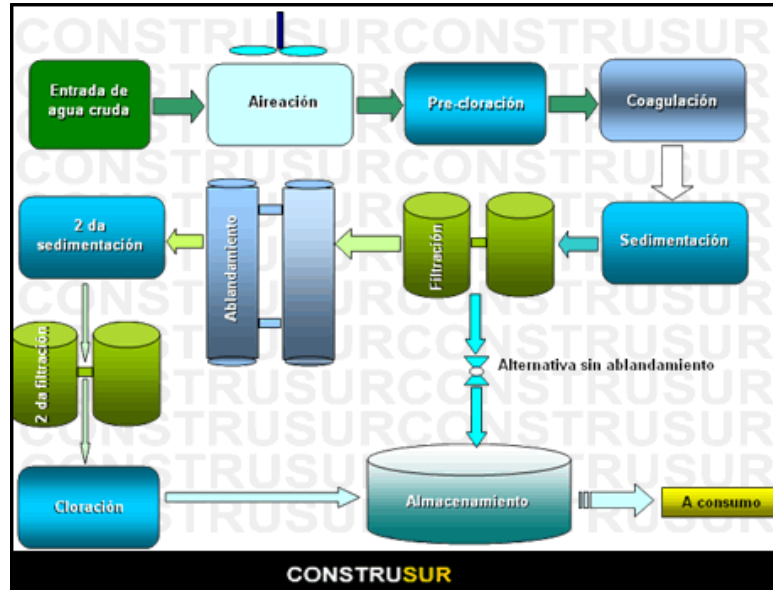
Para casos en que el sistema recibe aguas residuales de origen no exclusivamente doméstico (tales como de bares, restaurantes, etc.), el caudal debe calcularse considerando un valor de 80 m<sup>3</sup> de aire/día por kg. De DBO removido. Debe preverse una concentración mínima de oxígeno disuelto de 1.0 mg / L en el efluente del reactor aireado

La potencia requerida para el compresor puede calcularse considerando todas las pérdidas relativas a la tubería, los accesorios, medidores, etc., para la

situación más desfavorable del sistema de aireación. De usarse otro método, es necesario comprobar su efectividad previamente (RAS 2000).

## 2. AIREACIÓN EN AGUA POTABLE

La aireación representa una de las operaciones de uso más intensivo de energía en los sistemas de potabilización de agua, mediante equipos de aireación difusa, equipos de turbina y aireadores mecánicos.



**Figura 8.** Esquema PTAP.

**Fuente:** <http://www.construsur.com.ar/media/news/109/Image/potabilizacion.gif>

La aireación cumple sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por el proceso de oxidación de los metales y los gases. Los principales aireadores utilizados en purificación de aguas de pozos, son los de cascadas, canales inclinados y aireadores por difusores y aireadores mecánicos superficiales o sumergidos (VERA, 2007).

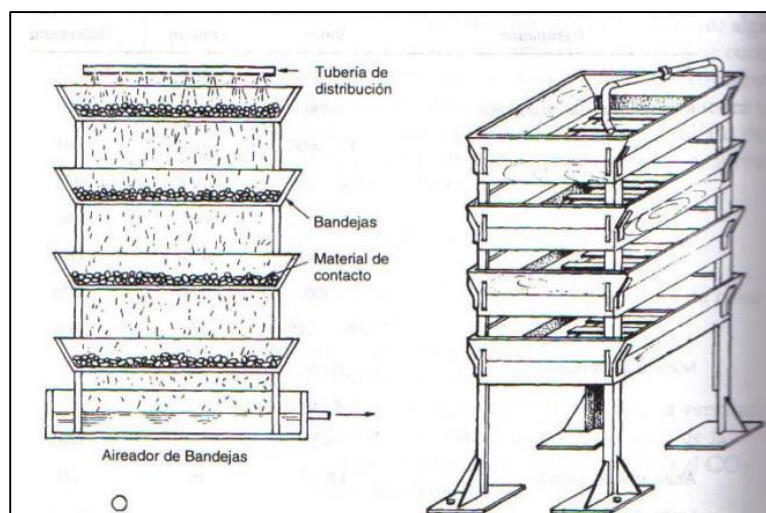
### 2.1.1. AIREADORES DE CAÍDA DEL AGUA

#### ▪ AIREADORES DE FUENTE O SURTIDORES

Consisten usualmente en una serie de toberas fijas, sobre una malla de tuberías, las cuales dirigen el agua hacia arriba, verticalmente o en ángulo inclinado, de tal manera que el agua se rompe en gotas pequeñas. Este tipo de aireadores ha sido usado para la remoción de CO<sub>2</sub> y la adición de oxígeno; tiene gran valor estético, pero requieren un área grande (VERA, 2007).

### ▪ AIREADORES DE BANDEJAS MÚLTIPLES.

Un aireador de bandeja múltiple consiste en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base. En muchos aireadores de bandeja se coloca medio grueso de 5 – 15 cm de espesor, para mejorar la eficiencia del intercambio de gases y la distribución del agua. Generalmente se usan de 3 a 9 bandejas. La ventilación es un factor importante en el diseño de estos aireadores y debe estudiarse cuidadosamente para la selección del sitio de localización (figura 9)

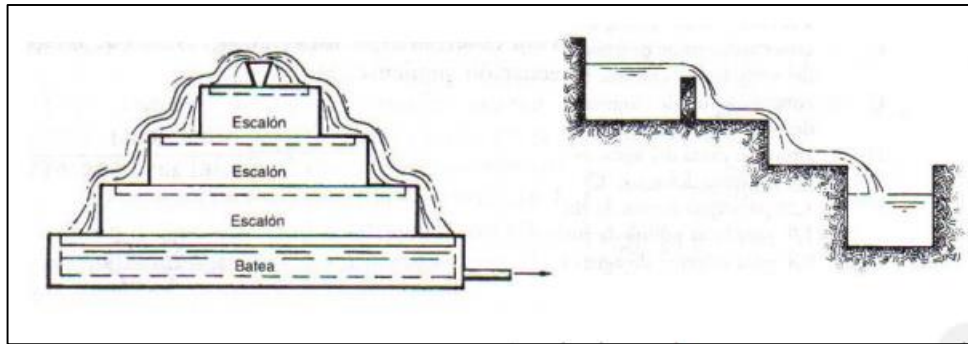


**Figura 9.** Aireadores tipo bandeja

**Fuente:** (VERA, 2007)

### ▪ AIREADORES DE CASCADAS Y VERTEDORES (agua en aire)

En este tipo de aireadores, el agua se deja caer, en láminas o capas delgadas, sobre uno o más escalones de concreto. El aireador de cascada se diseña como una escalera; entre más grande sea el área horizontal, más completa es la aireación. La aireación ocurre en las áreas de salpicamiento en forma similar a la que ocurre en un río turbulento; por ello se acostumbra colocar salientes, bloques o vertedores en los extremos de los escalones. La aireación en vertedores es factible cuando existe suficiente energía disponible; en ese caso el sistema es económico, no se requiere energía adicional y el mantenimiento es sencillo (figura 10). Es posible mejorar la aireación creando turbulencia (VERA, 2007).

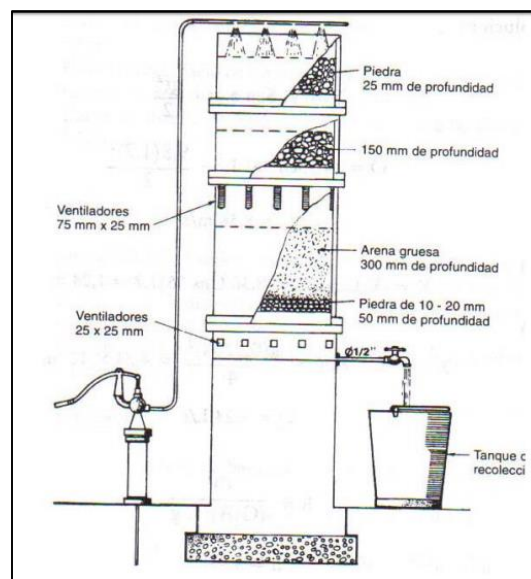


**Figura 10.** Aireador de cascada

**Fuente:** (VERA, 2007)

▪ **AIREADOR MANUAL PARA REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO.**

La Figura 11 muestra un aireador de operación manual para la remoción de Hierro y Manganeso. El aireador consta de tres cilindros colocados uno sobre otro. En cada uno de los cilindros superiores se colocan 15 cm de piedra. En la capa del cilindro inferior se coloca un espesor de 30 cm de arena gruesa sobre un lecho de soporte de grava de 5 cm de espesor y grava de 1 - 2 cm.



**Figura 11.** Aireador manual para remoción de hierro y manganeso.

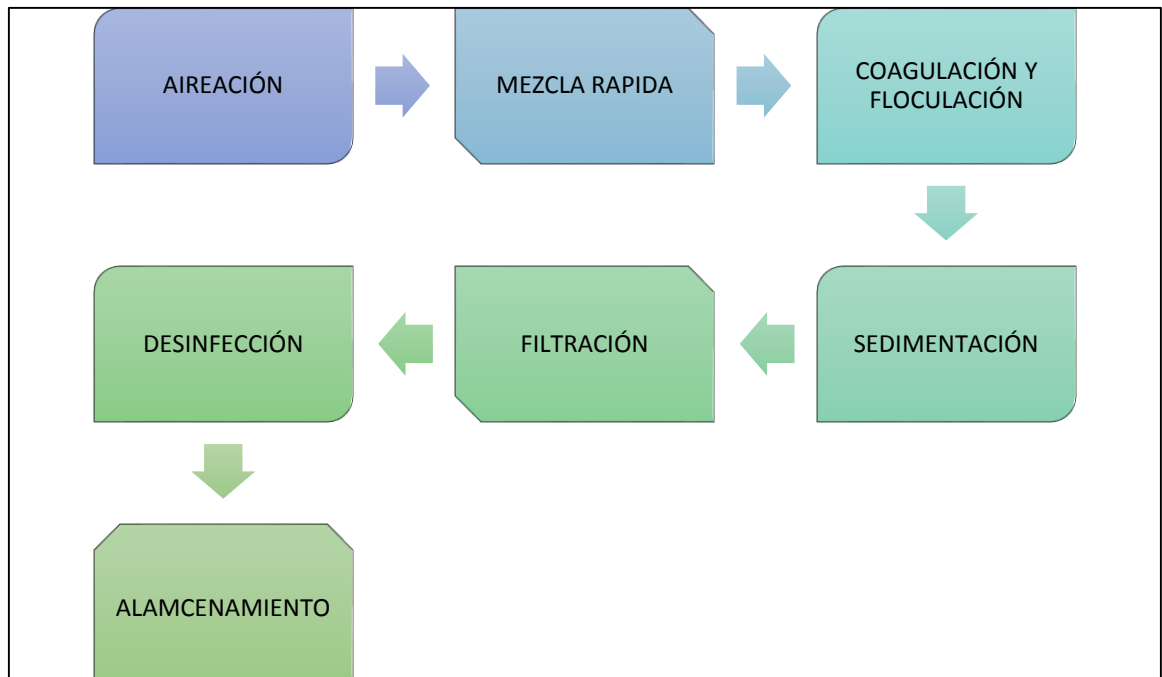
**Fuente:** (VERA, 2007)

La planta de tratamiento de agua potable, consta de una unidad compacta construida en lámina collroled (tipo de lámina en acero que se obtiene por laminación en frío de bobinas o bandas en caliente mediante reducción mecánica de espesor) de 1/4 " con recubrimiento en pintura epoxica para garantizar impermeabilización, de 2,50m de ancho, 2.20m de alto por 6 m de largo (figura 12), en las que se encuentran todos los

componentes básicos para realizar el tratamiento del agua: torre de aireación, compartimiento de preparación de productos químicos, tanque de mezclado, panel de sedimentación, zona de clarificación, filtro de arena, bombas de dosificación y transferencia (figura 13).



**Figura 12.** Planta de tratamiento de agua potable compacta  
**Fuente:** (KNOCOLOMBIA, 2014)



**Figura 13.** Diagrama de planta de producción de agua potable tipo compacta  
**Fuente:** (KNOCOLOMBIA, 2014) **editado por:** autor.

- Características de la torre de aireación de la figura 14 son:
  - **Bandejas:** 4 unidades.
  - **Cono recolector:** 1 unidad.
  - **Entrada:** 2 pulgadas
  - **Salida:** 3 pulgadas
  - **Espesor:** 5mm
  - **Distribuidor superior** 2 a 1 pulgada
  - **Soporte tubo** 1.5 a 2 pulgadas
  - **Espacio entre bandejas:** 50 cm
  - **Color:** blanco.



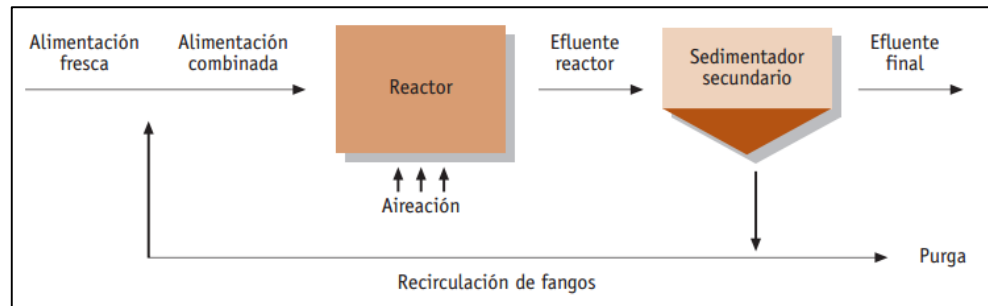
**Figura 14.** Torre de aireación  
**Fuente:** (KNOCOLOMBIA, 2014)



### 3. EQUIPOS PARA LA AIREACIÓN AGUA RESIDUAL

#### 3.1. FANGOS ACTIVADOS: PROCESO BÁSICO

Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza un recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos. Un esquema simplificado se muestra en la Figura 15:



**Figura 15.** Proceso de fangos activados  
**Fuente:** (ARDILA, 2011)

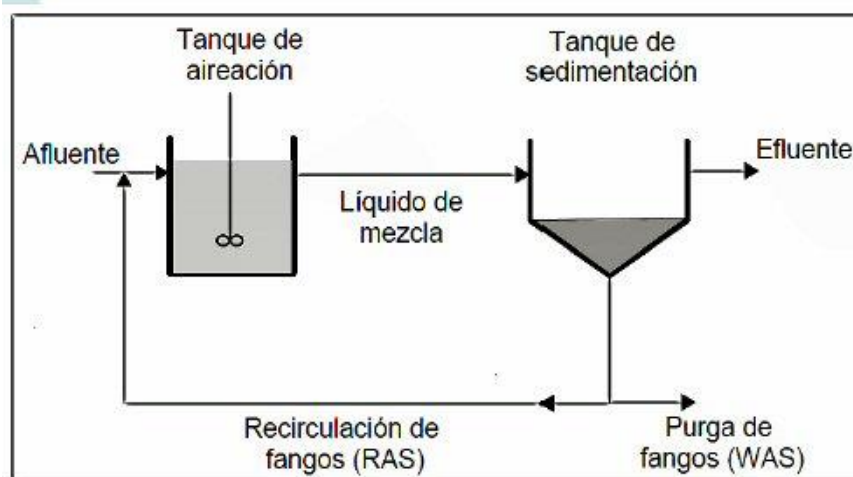
Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO<sub>2</sub>/l dependiendo de presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales, capaces de suministrar 1 kgO<sub>2</sub>/kW·h, o bien difusores. El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/l. El consumo eléctrico en esta operación será importante dentro de los costes de operación del proceso.

Otro parámetro clave en el proceso se refiere al parámetro A/M, algunas veces denominada I, intensidad de carga. Se refiere a la relación entre la carga orgánica alimentada y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema, con unidades kgDBO<sub>5</sub> (o DQO) / kgSSV·día. Es un parámetro de diseño fundamental, teniendo un valor óptimo entre 0.3-0.6 para las condiciones más convencionales de funcionamiento. Además tiene una influencia determinante en la buena sedimentación posterior. La denominada “edad celular” también es un parámetro importante. Se refiere al tiempo medio que permanecen los fangos (flóculos, microorganismos) en el interior del sistema. Esta magnitud suele tener un valor de 5-8 días en condiciones convencionales de operación (CITME, 2016).

## 3.2. LODOS ACTIVADOS

Un reactor de lodos activados mantiene en suspensión a un cultivo microbiano en condiciones aerobias. El proceso hace uso de un sistema de aireación o agitación, el cual suministrará el oxígeno que demandan las bacterias, evitará que haya asentamiento de la biomasa en el reactor y, además, mantendrá homogeneidad del licor mezclado en el tanque.

Una vez que la materia orgánica ha sido oxidada, el efluente se envía a un sedimentador o decantador secundario en donde se separará el fango (biomasa) del agua. Parte de esta biomasa decantada es recirculada al reactor con el fin de mantener en él una buena concentración de microorganismos y otra parte se desecha (purga), llevándola a tratamiento de lodos, evitando así acumulaciones excesivas de microorganismos en el sistema que pueden alterar los tiempos de retención celular (ARDILA, 2011) (Figura 16).



**Figura 16.** Esquema básico de un proceso de lodos activados.

**Fuente:** (ARDILA, 2011)

El lodo activo es la suma de la biomasa formada en el reactor y los sólidos suspendidos (materia inerte y compuestos inorgánicos) aportados por el agua residual. Esta mezcla de microorganismos y materia inerte tiene una alta capacidad de absorción de la materia orgánica y por ello se le llama “activo” o “activado”.

### 3.2.1. TANQUE DE AIREACIÓN

La purificación de las aguas residuales según el proceso de lodos activados exige ciertos requisitos del tanque de aireación, en cuanto a técnica de procesos, operación y eficiencia que se mencionan a continuación (RAS 2000):

- a) Suficiente concentración de biomasa, medida en forma simplificada como contenido de la materia seca del licor mixto.
- b) Homogeneización intensiva de la mezcla de aguas residuales y lodo biológico.
- c) Adición suficiente de oxígeno para cubrir la demanda y la capacidad de ajuste con el fin de adaptarla a las diferentes condiciones de operación y de carga.
- d) Suficientes velocidades de corriente sobre el fondo del tanque; por lo menos 15cm/s en el caso de lodos livianos y hasta 30 cm/s para lodos pesados, con el fin de evitar la formación de depósitos en el fondo.
- e) Funcionamiento adecuado de los dispositivos de aireación en condiciones de operación, posibilidad de operación a intervalos en el caso de desnitrificación.
- f) Suficiente capacidad de ajuste a las oscilaciones de afluencia de aguas residuales y características de la misma.
- g) Optimización del consumo de energía para la adición de oxígeno, circulación y homogeneización.
- h) Costos de construcción y operación reducidos.
- i) Ningún tipo de molestias debidas a olores, aerosoles, ruido o vibraciones.
- j) Gran seguridad de operación.

### **3.2.2. Tipos y modificaciones**

El diseñador está en libertad de seleccionar la modificación al proceso de lodos activados que considere conveniente siempre y cuando se garantice la eficiencia operacional, minimización de impactos por ruidos y olores, adecuado manejo de lodos y eficiencia económica. En la tabla 3 se resumen las características de operación típicas de los procesos de lodos activados.

Modificación al proceso	Modelo de flujo	Sistema de aireación	Eficiencia en remoción de DBO, %
Convencional	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85 - 95
Completamente mezclado	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85 - 95
Aireación escalonada	Flujo pistón	Aire difuso	85 - 95
Aireación modificada	Flujo pistón	Aire difuso	60 - 75
Estabilización por contacto	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80 - 90
Aireación extendida	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75 - 95
Aireación de alta tasa	Flujo continuo reactor agitado	Aireadores mecánicos	85 - 95
Oxígeno puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85 - 95
Zanjón de oxidación	Flujo pistón	Aireador mecánico (tipo eje horizontal)	75 - 95
Reactor SBR	Flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85 - 95

**Tabla 3.** Características de operación de los procesos de lodos activados  
Fuente: (RAS 2000)

### 3.2.3. PARÁMETROS EMPÍRICOS EN EL DISEÑO DEL TANQUE DE AIREACIÓN

Los diseños deben cumplir con los parámetros presentados en la tabla 4.

Tipo de Proceso	Carga orgánica kgDBO <sub>5</sub> / KgSSVLM/d (f/m)	Carga Volumétrica KgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /d (fq/v)	Tiempo de detención (horas) (t <sub>a</sub> )	Edad de lodos (días) (θ <sub>c</sub> )	SSLM mg/L (x <sub>t</sub> )	Retorno Fracción (r)
Convencional	0.2 - 0.5	0.3 - 1.0	4 - 8	5 - 15	1500 - 3000	0.25 - 0.5
Completamente mezclado	0.2 - 0.6	0.8 - 2.0	4 - 8	5 - 15	3000 - 6000	0.25 - 1.0
Aireación escalonada	0.2 - 0.5	0.6 - 1.0	3 - 5	5 - 15	2000 - 3500	0.25 - 0.7
Alta tasa	0.4 - 1.5	0.6 - 2.4	0.25 - 3	1 - 3	4000 - 5000	1.0 - 5.0
Aireación modificada	1.5 - 5.0	1.2 - 2.4	1.5 - 3	0.2 - 0.5	200 - 1000	0.05 - 0.25
Estabilización por contacto	0.2 - 0.5	1.0 - 1.2	0.5 - 1.0	5 - 15	1000 - 3000	0.2 - 1.0
Contacto Estabilizado	-	incluido ya	3 - 6	-	4000 - 10000	-
Aireación extendida	0.05 - 0.25	<0.4	18 - 36	15 - 30	3000 - 6000	0.75 - 1.5
Oxígeno puro	0.4 - 1.0	2.4 - 4.0	1 - 3	8 - 20	6000 - 8000	0.25 - 1.5
Zanjón de oxidación	0.05 - 0.30	0.1 - 0.5	8 - 36	10 - 30	3000 - 6000	0.75 - 1.5
Reactor SBR	0.05 - 0.30	0.1 - 0.2	12 - 50	No aplica	1500 - 5000	No aplica

**Tabla 4.** Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados  
Fuente: (RAS 2000)

### 3.3. SISTEMA DE AIREACIÓN

#### 3.3.1. GENERALIDADES

Los requerimientos de oxígeno en sistemas biológicos son el resultado de tres demandas principales:

- DBO carbonácea
- DBO nitrogenada
- DBO inorgánica

El diseñador debe estimar no solo la demanda de oxígeno total causada por estas fuentes sino también las variaciones temporales y espaciales de las demandas en el sistema de reactores a ser aireados. En especial deben calcularse las demandas máximas que se generan por los cambios de caudal y concentración en la planta. El diseñador debe seleccionar el tipo de aireador que necesite de acuerdo a las características propias de su diseño. Ver tabla 5 con tipos de aireadores recomendados:

Difusores porosos	Características típicas recomendadas
<i>Difusores de placa</i>	Cuadrados. Lado = 30 cm, espesor = 2.5 a 3.8 cm
<i>Difusores con forma de domo</i>	Diámetro = 18 cm, altura = 3.8 cm, espesor del medio = 15 mm (bordes) y 19 mm (parte superior)
<i>Difusores con forma de disco</i>	Diámetro = 18 - 24 cm, espesor = 13 a 19 mm
<i>Difusores de tubo</i>	Longitud del medio poroso = 50 a 60 cm, diámetro externo = 6.4 a 7.6 cm
Difusores no porosos	
<i>Tuberías perforadas</i>	
<i>Burbujeadores</i>	Diámetro del orificio = 0.3 a 0.8 cm
Difusores con válvula en el orificio	
Aireadores de tubo estático	
Mangueras perforadas	
Aireación por chorro	
Mecanismos aspiradores	
Aireación con tubo U	

**Tabla 5.** Tipos de aireadores.  
**Fuente:** (RAS 2000)

#### 3.3.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Deben determinarse los requerimientos de oxígeno para las tres demandas presentadas con anterioridad. Para el cálculo de la DBO carbonácea se recomiendan los siguientes rangos típicos encontrados en la práctica:

- a) 94 a 125 m<sup>3</sup> de oxígeno/kg de DBO<sub>5</sub> aplicada.

b) 1.1 kg de oxígeno transferido / kg de DBO5 pico aplicada al tanque de aireación convencional.

c) 3.7 a 15 m<sup>3</sup> de oxígeno / m<sup>3</sup> de agua residual a tratar y d) 31 a 56 m<sup>3</sup> de oxígeno / kg de DBO5 removida.

d) Para la DBO nitrogenada se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$R_n = 4.57 Q(N_o - N) - 2.86 Q(N_o - N - NO_3)$$

Para encontrar la DQO se recomienda hacer un cálculo estequiométrico para la reacción dada. En caso de adoptar una metodología distinta de las recomendadas aquí, el diseñador debe soportar técnicamente su diseño. (RAS 2000)

### 3.3.3. POTENCIA TÍPICA DE COMPRESORES

En la tabla 6 aparecen rangos de potencias típicas de compresores que se deben usar.

Clase	Tipo	Potencia (hp)
Reciprocante de desplazamiento positivo	Pistón - etapa sencilla	25-200
	Pistón multi etapas	10-10000
Rotatoria de desplazamiento positivo	lobe	10-3000
	sliding vane	10-500
	helical screw	10-500
Compresor dinámico	Centrifuga	50-20000
	axial	1000-10000

**Tabla 6.** Rangos típicos de potencia.  
Fuente: (RAS 2000)

### 3.3.4. TRANSFERENCIAS DE OXÍGENO TÍPICAS DE AIREADORES

En la tabla 7 aparecen las tasas de transferencia típicas de oxígeno recomendadas.

Tipo de aireador	Estándar	Campo
Aireadores mecánicos	kg O <sub>2</sub> / kW h	kg O <sub>2</sub> / kW h
Centrífuga superficial (baja velocidad)	1.2 - 3.0	0.7 - 1.4
Centrífuga superficial con tubo succionador	1.2 - 2.8	0.7 - 1.3
Axial superficial (Alta velocidad)	1.2 - 2.2	0.7 - 1.2
Turbina abierta con succión hacia abajo	1.2 - 2.4	0.6 - 1.2
Turbina cerrada con succión hacia abajo	1.2 - 2.4	0.7 - 1.3
Turbina sumergida con tubo burbujeador	1.2 - 2.0	0.7 - 1.1
Impeler superficial	1.2 - 2.4	0.7 - 1.1
Cepillo superficial y pala	0.9 - 2.2	0.5 - 1.1
Difusores de aire	L / segundo	Pérdidas en cm
Domo de cerámica	0.24 - 1.2	15 - 63
Disco de cerámica (8.5" diámetro)	0.3 - 1.4	13 - 48
Tubo de medio poroso	1 - 2.8	
Tubo con funda flexible	1 - 2.8	
Funda flexible tipo disco I(8.5" diámetro)	1 - 2.8	23 - 58
Funda flexible tipo disco II(9" diámetro)	1 - 2.8	
Funda flexible tipo disco III(29" diámetro)	1 - 9.4	23 - 61
Burbujeador	3.8 - 5.6	15 - 23
Tubo perforado	4.7 - 11.3	7.6 - 33
Orificio con válvula	2.8 - 5.6	13 - 30

**Tabla 7.** Rangos típicos de transferencia de oxígeno  
Fuente: (RAS 2000)

### 3.3.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación efectiva de un equipo de aireación puede minimizar el consumo de energía y maximizar el rendimiento. La operación y mantenimiento debe enfocarse en:

- a) El control de la concentración de oxígeno en el líquido que va a airearse.
- b) Suministro de por lo menos la mínima intensidad de mezclado requerida
- c) Inspección y servicio del equipo de aireación para garantizar una operación ininterrumpida.

## 3.4. RWL WATER EQUIPOS DE AIREACIÓN Y AIREADORES

Los equipos de aireación de RWL Water tienen un diseño único, y toman en consideración las necesidades del cliente para mejorar la calidad de las aguas y minimizar los costos operativos. Nuestros aireadores se utilizan en todo el mundo en una amplia variedad de instalaciones de tratamiento, tanto municipales como industriales (RWL WATER, 2016).

PRODUCTOS DE AIREACIÓN			
PRODUCTO	APLICACIONES	CARACTERISTICAS	FUNCIÓN
<b>Aireador aspirador superficial Tornado®</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción y reducción de la BOD (demanda bioquímica de oxígeno)</li> <li>• Control de algas y olores</li> <li>• Nitrificación y desnitrificación</li> <li>• Aireación y mezcla en tanques, lagunas y estanques</li> <li>• Digestión aeróbica</li> <li>• Control de hielo</li> <li>• Remoción de VOC (compuestos orgánicos volátiles)</li> <li>• Tratamiento de lixiviado</li> <li>• Acuicultura</li> <li>• Separación o remoción de grasas, aceites y lubricantes</li> <li>• Revitalización de cuerpos de agua dulce: ríos, lagos, etc.</li> </ul>	<p>Disminuya el potencial de olores viciados en los tanques de aireación y fuera de la planta en comunidades cercanas. Esto mejora la moral del empleado y mantiene felices a los vecinos. Los aireadores Tornado cuentan con una construcción sin igual de acero inoxidable, que proporciona una excelente resistencia a la corrosión y a los rayos UV, incluso en las aguas residuales más duras.</p>	<p>El aireador Tornado está diseñado con un conducto fijo de gran diámetro con una entrada de aire no restringida para producir la cantidad máxima de capacidad de mezcla y aireación usando la menor cantidad posible de energía. Toda la aireación y la mezcla se llevan a cabo debajo de la superficie del agua, eliminando los olores de las salpicaduras o aspersión. No se generan dañinos aerosoles cargados de bacterias, manteniendo el proceso del tratamiento seguro.</p>
<b>Mezclador/Aireador sumergible Hurricane®:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digestores aeróbicos</li> <li>• Tanques de almacenamiento de lodo</li> <li>• Lodo activado</li> <li>• Tanques de equalización de flujo</li> <li>• Reactores discontinuos secuenciales (SBR)</li> </ul>	<p>Con 14 tamaños de modelo que varían de 5 a 100 hp (3,75 a 75 kw), el aireador/mezclador Hurricane se adapta a múltiples aplicaciones. También puede optar por las opciones de montaje fijo o extraíble. Construcción completa de acero inoxidable resistente a los rayos UV y a la corrosión</p>	<p>El aireador Hurricane está diseñado con un mínimo de piezas móviles para lograr el mezclado del depósito y la transferencia de oxígeno confiables. Al instalarlo en la parte inferior de un tanque o depósito, el motor eléctrico integrado y sumergible hace girar un sólido impulsor de acero inoxidable de 17-4 para generar una zona de baja</p>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento municipal de aguas residuales</li> <li>• Elaboración de vino y bebidas</li> <li>• Producción de lácteos</li> <li>• Plantas de procesamiento de comidas y carnes</li> </ul>	<p>Tubería de entrada de aire de acero inoxidable</p> <p>Pruebas de fábrica para verificar la calidad</p> <p>Una pieza móvil</p> <p>No requiere bombas, plataformas de montaje ni compresores adicionales</p> <p>14 tamaños de modelo; tuberías que se adaptan a depósitos rectangulares o circulares y brindan distribución uniforme del aire para la cobertura completa de la superficie</p> <p>Componentes intercambiables que le permiten cambiar a caballos de fuerza (kw) dentro de los rangos especificados con solo cambiar el motor y el impulsor</p>	<p>presión en torno a las puntas de las aspas del impulsor.</p>
<p><b>Aireador superficial de baja velocidad Twister®:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de aguas residuales</li> <li>• Aireación complementaria</li> <li>• Tratamiento de lixiviado</li> <li>• Reactores de lotes secuenciales</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales municipales</li> <li>• Pasteras y papeleras</li> <li>• Procesamiento químico</li> <li>• Fabricación de bebidas y vinos</li> <li>• Residuos de agricultura</li> <li>• Zanjas de oxidación</li> </ul>	<p>El aireador de superficie de baja velocidad Twister ofrece alta transferencia de oxígeno y un funcionamiento confiable para cumplir los requisitos de sus ambientes de tratamiento de aguas residuales más duras.</p> <p>El aireador Twister está diseñado para funcionamiento continuo a largo plazo, y utiliza un innovador material compuesto en la construcción de su rotor hidrodinámicamente eficiente. El rotor está especialmente moldeado para optimizar el rocío de gotas de agua, que dan como resultado algunas de las más altas tasas de transferencia de oxígeno de cualquier sistema mecánico de aireación.</p>	<p>Todos los aireadores Twister consisten en un motor montado sobre un reductor de velocidad y un eje extendido. Un rotor diseñado especialmente está unido a la parte inferior del eje extendido. El aireador está posicionado de forma tal que el rotor esté parcialmente sumergido en las aguas residuales. Cuando se activa, el Twister se enciende a baja velocidad (generalmente, de 40 a 100 rpm). Las aletas especialmente diseñadas del rotor luego bombean grandes cantidades de agua hacia el aire en un fino rocío. Estas gotas muy pequeñas crean un patrón circular de 360 grados.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Aireador flotante de alta velocidad Typhoon®:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de lixiviado</li> <li>• Aireación complementaria</li> <li>• Reactores de lotes secuenciales</li> <li>• Lagunas</li> <li>• Desechos industriales</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales</li> </ul>	<p>El aireador flotador Typhoon de RWL Water cuenta con un flotador relleno de espuma de poliéster reforzada con fibra de vidrio o acero inoxidable, con un cono de entrada. Una hélice de acero inoxidable que no se obstruye tritura los desechos mientras bombea grandes volúmenes de aguas residuales hacia arriba y hacia afuera. Todos los motores están diseñados específicamente para el uso continuo en aplicaciones húmedas. Los motores cuentan con ejes extendidos, eliminando la necesidad de cojinetes especiales de eje del aireador en aguas residuales. Este sencillo diseño prácticamente elimina el mantenimiento. Tanto los soportes como los ajustes del motor son de acero inoxidable para una excelente resistencia a la corrosión. Los motores, de 2 a 200 hp (1,5 a 150 kW), están disponibles en 60 Hz a 1200 o 1800 rpm, o en 50 Hz en versiones de 1000 o 1400 rpm.</p>	<p>El flotador de Typhoon sostiene el motor en forma vertical encima de la superficie del agua. El motor cuenta con un eje extendido con una hélice sumergida adherida al extremo. La hélice rotativa lleva el agua a través del cono de entrada del aireador y la proyecta hacia afuera, por encima de la línea del agua. El fino rocío de gotas produce una intensa mezcla de aire y agua de baja trayectoria, que da como resultado una excelente transferencia de oxígeno.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Mezclador superficial de accionamiento directo Riptide™:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de aguas residuales</li> <li>• Mezcla de productos químicos</li> <li>• Suspensión de sólidos</li> <li>• Mezcla complementaria</li> <li>• Procesamiento de productos químicos</li> </ul>	<p>La ingeniería de última generación y las especificaciones de construcción meticulosas aseguran que el mezclador de superficie Riptide funciona correctamente desde el inicio y se mantiene funcionando sin perder tiempo en mantenimientos. El propulsor bajo la superficie no se obstruirá incluso con sólidos</p>	<p>El Riptide es ideal para el tratamiento de aguas residuales y una mezcla complementaria, y ofrece una gran flexibilidad en el diseño de la piletta. Se puede montar en posición vertical o casi horizontal en el agua, con el motor sobre la superficie y donde el propulsor gira por debajo, a través de un eje sólido. Los pernos de bloqueo del ajuste del ángulo permiten la</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de vinos o bebidas</li> <li>• Productos textiles</li> <li>• Pulpa y papel</li> <li>• Productos lácteos</li> </ul>	<p>pesados. Una doble fila de cojinetes soporta de manera segura el eje del mezclador, evitando la vibración y absorbiendo todas las cargas de impulso del propulsor, que contribuyen a una mayor vida útil de los cojinetes del motor. La velocidad lenta (900 rpm a 60 Hz o 750 rpm a 50 Hz) prolonga la vida útil y aumenta la eficiencia de la mezcladora.</p> <p>Las características adicionales contribuyen a un rendimiento de larga duración, incluidas las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción completamente de acero inoxidable resistente a la corrosión y a los rayos UV</li> <li>• Eje sólido, diseño sin vibraciones</li> <li>• Cojinetes de bola sellados</li> <li>• Sellos mecánicos que no requieren mantenimiento</li> <li>• Cambio de motor simplificado y acoplamiento del motor/eje</li> <li>• Propulsor anti-algas.</li> </ul>	<p>optimización de las velocidades de mezcla para asegurar una potente acción de mezcla.</p> <p>Su montaje completamente ajustable sobre flotadores o abrazaderas permite una mezclar completa en una pileta de cualquier profundidad o forma y simplifica el envío de la mezcla hacia un área deficiente.</p> <p>Los modelos están disponibles entre 2 y 30 hp (1,5 a 30 kW). Los motores de cara C estándares de alta eficiencia o eficiencia superior aumentan la versatilidad del diseño del sistema. RWL Water puede recomendar configuraciones que se adapten de mejor manera a su aplicación.</p>
<p><b>Aireador superficial horizontal Monsoon®:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagunas de oxidación</li> <li>• Zanjas de depósitos de eculización</li> </ul>	<p>Cojinetes de calidad superior, sellos resistentes al polvo, un reductor extragrande y flotadores rellenos de espuma que hacen que cada aireador flotante de paletas Monsoon sea seguro y confiable.</p> <p>Los ejes reemplazables de acero inoxidable</p>	<p>Las aspas giratorias giran entre 40 y 80 rpm y recogen agua en la atmósfera de forma eficiente. Esta acción de recolección y mezcla divide las gotas de agua en una fina niebla, la cual se combina con el aire para generar altos niveles de transferencia de oxígeno.</p>

		<p>maquinado se atornillan a un tubo de torsión, lo que proporciona una alineación exacta y maximiza la vida útil del cojinete del eje. Las protecciones para salpicaduras evitan el exceso de inmersión de los cojinetes, los reductores y el motor para lograr una mayor confiabilidad. Las características incluyen lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción 100 % de acero inoxidable: la máxima solución para la resistencia a la corrosión.</li> <li>• Patas y soportes integrales que evitan el daño del equipo y del depósito si disminuye el nivel de agua.</li> <li>• Reductor de alta resistencia adicional para brindar la mayor seguridad de diseño.</li> <li>• Flotadores de acero inoxidable rellenos de espuma que no se hundirán incluso si se perforan.</li> <li>• Cojinetes lubricados con grasa para maximizar la vida útil del equipo.</li> <li>• Aspas de rotor que se pueden reemplazar en el lugar.</li> <li>• Consumo de energía ajustable.</li> </ul>	<p>Luego, la acción de bombeo horizontal empuja el agua sumamente aireada hacia el depósito mientras extrae agua de las profundidades de este y desde atrás del aireador Monsoon, lo que resulta en condiciones de transferencias de oxígeno extremadamente altas en el depósito.</p>
<p><b>Sistema de flotación por aire inducido Zephyr®:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flotación</li> <li>• separación de fases</li> <li>• flotación con turbulencia y mezcla mínimas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separa con precisión las fases líquidas: ideal para la recuperación de aceite y grasa</li> </ul>	<p>El Zephyr se monta de forma vertical en un tanque con el motor encima del agua y el disco difusor debajo. Cada unidad cuenta</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• remoción, recuperación y eliminación de productos</li> <li>• inyección de gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las microfinas burbujas se adhieren a diminutos sólidos, haciéndolos flotar hacia la superficie: excelente para las plantas de empaquetado de carne de ave o carne roja, plantas de procesamiento de vegetales, pasteras y papeleras, y plantas petroquímicas</li> <li>• Mejora las operaciones de remoción de películas de la superficie</li> <li>• Ideal para incorporar gases en medios líquidos, incluidos dióxido de carbono, ozono, gas de cloro, metano, nitrógeno, etc.</li> <li>• Construcción íntegramente de acero inoxidable: lo último en resistencia a los químicos y a la corrosión</li> <li>• Un eje sólido y un diseño de cojinete sellado patentado significan prácticamente nada de mantenimiento</li> <li>• Componentes estandarizados, incluidos motores, cojinetes y acoplamientos</li> <li>• El disco difusor se desmonta fácilmente para limpiarlo con jabón y agua caliente.</li> </ul>	<p>con un disco difusor que incorpora finos huecos cerca de su perímetro para la difusión de burbujas ultrafinas en el líquido. El motor hace girar el disco difusor, creando una zona de baja presión en los puertos de difusión del disco, lo que atrae aire o gas desde arriba de la superficie del líquido. El aire o gas luego baja por el conducto hacia el disco y sale por los puertos del difusor sumergidos. Cada burbuja sale por un hueco en el borde del disco difusor. El disco girador las rompe generando burbujas de aire microscópicas de 10 a 100 micrones de diámetro. Estas burbujas de aire se adhieren a diminutos sólidos, como el aceite y la grasa, y lentamente suben a la superficie, llevando los sólidos a la superficie.</p>
<b>Difusores de burbujas</b>	Los difusores de burbujas gruesas Cyclone son ideales	Los difusores Cyclone tienen muchos beneficios	El aire ingresa a los difusores Cyclone y sale por los puertos grandes. En el

<p><b>gruesas Cyclone®:</b></p>	<p>para aplicaciones, tales como las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piletas de lodo activadas</li> <li>• Digestores aeróbicos</li> <li>• Tanques de almacenamiento de lodo</li> <li>• Canales de pileta</li> <li>• Aireación del recinto/contacto con cloro</li> <li>• Vaciado de VOC</li> </ul> <p>Se utilizan en una gran variedad de industrias, incluidas las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpa y papel</li> <li>• Procesamiento de alimentos y carnes</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales municipales</li> <li>• Productos lácteos</li> <li>• Elaboración de cerveza</li> <li>• Producción de vinos</li> <li>• Recuperación de aguas subterráneas</li> </ul>	<p>y características, incluidos los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tres filas de puertos, que suministran tres niveles de descarga de aire en cada lado y mejoran la eficiencia de transferencia de oxígeno.</li> <li>• Capacidad de intercambio con los cabezales de aire ya existentes y hardware. La tecnología Cyclone se puede incorporar fácilmente con cualquier sistema de aireación.</li> <li>• Los puertos con forma de diamante rompen las burbujas para formar burbujas más pequeñas a medida que se elevan para mejorar la eficiencia de transferencia de oxígeno.</li> <li>• Sin piezas movibles o flexibles; fabricados completamente con acero inoxidable.</li> <li>• Diseño resistente que evita las deformaciones o los pliegues que a veces se producen con los difusores de base abierta en aplicaciones con temperatura elevada o tensión.</li> <li>• Puertos de extremo abierto que cambian el patrón de burbujas para indicar a los operadores que se obstruyó el difusor.</li> <li>• Una pieza de extremo fundido que genera una máxima potencia</li> </ul>	<p>proceso, el aire se corta y se distribuye en el líquido. A diferencia de los difusores de membrana o de medios, el Cyclone prácticamente no se obstruye: su forma única de diamante y el deflector de la base impiden que los desechos ingresen al difusor.</p>
---------------------------------	---	---	--

		y que es resistente a la fatiga de material que producen las vibraciones.	
--	--	---	--

**Tabla 8.** Equipos de aireación de RWL Water  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016) **editado por:** autor.

### 3.4.1. AIREADOR ASPIRADOR SUPERFICIAL TORNADO

TORNADO brinda capacidades de alta transferencia de oxígeno y de mezcla intensiva (figura 17). La mezcla direccional turbulenta y la descarga de propulsión a chorro del aireador TORNADO aseguran que el oxígeno se mezcle en forma rápida con el agua para lograr una transferencia de oxígeno única. La intensa acción de la propulsión a chorro deshace los sólidos existentes, aumentando de esta forma el rendimiento del tratamiento y logrando un mejor contacto entre el oxígeno y las bacterias presentes en el agua.



**Figura 17.**aireador aspirador superficial tornado  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016)

#### 3.4.1.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

El aireador TORNADO se monta en un cierto ángulo respecto a la superficie del agua, con el motor y la toma de aire por encima de la superficie y con la hélice sumergida debajo del agua. El sólido eje del motor hace girar a una hélice de acero inoxidable, de patente propia. El agua se mueve a alta velocidad a través y cerca de la hélice, creando una zona de baja presión en el centro. La baja presión logra que se aspire aire a través de la toma fija y hacia abajo del tubo de gran diámetro. El aire sale hacia el agua por el eje de la hélice. La turbulencia y el flujo creados por la hélice rompen las burbujas de aire, mezclan el reservorio, y dispersan el oxígeno, como se aprecia en la figura 18.



**Figura 18.** Funcionamiento del aireador Tornado.  
Fuente: (RWL WATER, 2016)

### 3.4.1.2. CONSTRUCCIÓN ROBUSTA

Los ambientes con aguas residuales rigurosas requieren materiales de construcción resistentes que puedan soportar las condiciones ambientales extremas. Los cojinetes sellados y lubricados con grasa del TORNADO permiten que los aireadores sean utilizados en aplicaciones con grandes cantidades de sólidos, polvos o arena en tratamiento de lixiviados. Los dos cojinetes de rodillos cónicos le brindan Los Aireadores de Aspiración Superficial TORNADO® mejoran la aireación y la mezcla en un amplio rango de aplicaciones. TORNADO brinda capacidades de alta transferencia de oxígeno y de mezcla intensiva. La mezcla direccional turbulenta y la descarga de propulsión a chorro del aireador TORNADO aseguran que el oxígeno se mezcle en forma rápida con las aguas residuales para lograr una transferencia de oxígeno única. La intensa acción de la propulsión a chorro deshace los sólidos existentes en el agua aumentando de esta forma el rendimiento del tratamiento y logrando un mejor contacto entre el oxígeno y las bacterias del agua. La aireación y la mezcla tienen lugar debajo de la superficie del agua para eliminar el efecto de rociado y salpicado de agua. Los resultados obtenidos son: • Reducción de olores • Conservación de la energía • Eliminación de problemas de congelamiento El aire ingresa al TORNADO a través de la apertura existente en el tubo un sólido soporte al eje del aireador, evitando su vibración y absorbiendo todas las cargas de empuje originadas en la hélice. Los cojinetes de rodillo están diseñados para una vida útil de hasta 100.000 horas. El sistema único de auto calentamiento de los cojinetes permite que el sistema pueda ser instalado en áreas con climas fríos y que pueda operarse durante todo el año (RWL WATER, 2016).



### **3.4.1.3. COMPONENTES DE ACERO INOXIDABLE**

Los flotadores de acero inoxidable poseen una gran durabilidad, no tienen comparación en la industria con ningún otro sistema similar, y aseguran que el aireador permanezca a flote a lo largo de toda su vida útil aún en las condiciones ambientales más rigurosas. La ingeniería patentada asegura que el aireador funcionará correctamente a lo largo de toda su vida útil, sin ocasionar tiempos muertos de mantenimiento (RWL WATER, 2016).

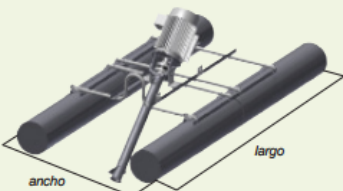
### **3.4.1.4. COSTOS DE ENERGÍA REDUCIDOS**

Cada aireador TORNADO está equipado con un motor de una gran eficiencia para reducir los costos de energía. Los motores más grandes están diseñados para funcionar con arranque suave o controladores de Unidad de Frecuencia Variable (VFD) con el fin de evitar penalidades debido a picos de tensión y para reducir los costos de energía (RWL WATER, 2016).

### **3.4.1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES**

- Rango de potencia disponible 2.100 HP (1,5 kW – 75 kW)
- Velocidad de operación: 1.800 RPM a 60 Hz (1.500 RPM a 50 Hz)
- Motores de gran eficiencia (TEFC) • Construcción en acero inoxidable 304 (estándar) o acero inoxidable 316 (opcional)
- Cojinetes lubricados con grasa y eje sólido que aseguran un funcionamiento sin vibraciones (Figura 12)

Especificaciones del TORNADO®:										
HP	kW	RPM Motor 60 Hz	Motor FLA 460V	RPM Motor 50 Hz	Motor FLA 380V	Peso nave lbs. (kg)	Disponible Sistema de Pontón	Sistema de Pontón	Largo pulg (cm)	Ancho pulg (cm)
2	1.5	1730	3.1	1425	3.7	118 (54)	a, b	a - 2 flotadores	72 (183)	70 (177)
3	2	1745	4.0	1450	4.8	161 (73)	a, b	b - 4 flotadores	145 (368)	70 (177)
5	4	1750	6.5	1445	7.9	169 (76)	a, b	c - 6 flotadores	145 (368)	105 (267)
7.5	5.5	1750	9.4	1445	11.6	225 (102)	a, b	d - 8 flotadores	145 (368)	105 (267)
10	7.5	1750	12.4	1445	15	248 (113)	a, b			
15	11	1760	18.6	1450	22.6	407 (185)	b, c			
20	15	1760	23.5	1450	31.4	492 (223)	b, c			
25	18.5	1770	29.6	1460	35.2	539 (244)	b, c			
30	22	1770	35.5	1460	42	541 (245)	b, c			
40	30	1770	47.1	1460	55	730 (331)	b, c			
50	37	1770	59.2	1460	68	914 (415)	c, d			
60	45	1775	69.4	1465	83	1146 (520)	c, d			
75	56	1775	86.2	1465	103.5	1219 (553)	d			
100	74.5	1780	114	1480	135	1353 (1353)	d			



La ilustración muestra un sistema clásico de 4 flotadores. Las dimensiones del aireador flotante estándar se muestran en la tabla anterior

**Figura 19.** Especificaciones del tornado.

**Fuente:** (RWL WATER, 2016), Disponible en: <https://www.rwlwater.com/wp-content/uploads/rwlmedia/images/sites/6/2013/09/Tornado-Final-Spanish.pdf>

### 3.4.2. EQUIPOS DE AIREACIÓN ECOLOGICA

Los productos Eco Aeration de RWL Water son su solución con energía solar para la aireación y circulación. La División Eco Aeration de RWL Water se caracteriza por tener una línea completa de productos para el control de calidad del agua, los cuales funcionan completamente con energía solar.

Los productos Eco Aeration:

- Reducen los costos en productos químicos.
- Eliminan los costos en instalaciones eléctricas.
- Eliminan la necesidad de conectarse a redes eléctricas.

#### 2.4.2.1. CÓMO SE USAN LOS PRODUCTOS ECO AERATION?

Los productos Eco Aeration de RWL Water se utilizan en estanques, lagos y embalses para controlar la aparición de algas y malos olores, mejorar las mezclas, aireación, digestión del lodo del fondo, control de hielos y para prevenir la muerte de la fauna acuática (RWL WATER, 2016).

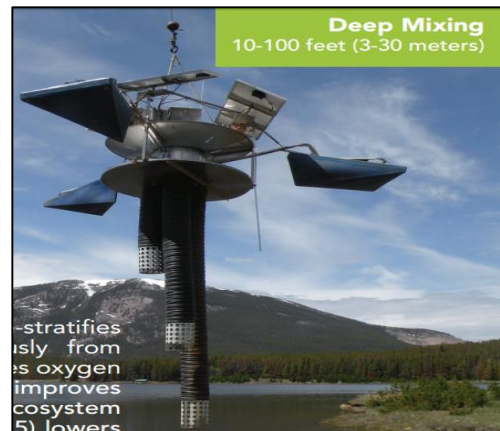
La nueva línea Eco Aeration se destaca por los siguientes productos amigables con el ambiente:

#### 2.4.2.2. CIRCULADOR DE AGUA SOLAR LUMENAER™

LumenaER es una solución ideal para la aceleración y la adición de un tratamiento consistente a aplicaciones de aguas residuales facultativas. La tecnología se expande y aumenta la circulación de las concentraciones de oxígeno en los 2/3 superiores del estanque, creando así un "tope aeróbica" (Figura 20 y 21), que realiza lo siguiente: 1). Mejora la digestión de soluble DBO, 2). acelera la digestión de semi-solubles DBO y 3). Estimula la digestión de sólidos (RWL WATER, 2016).



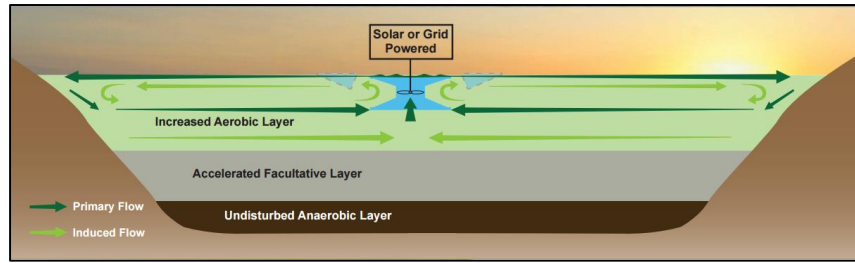
**Figura 20.** Circulador de agua solar LumnaER.  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016)



**Figura 21.** Maxima profundidad del LumnaER.  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016)

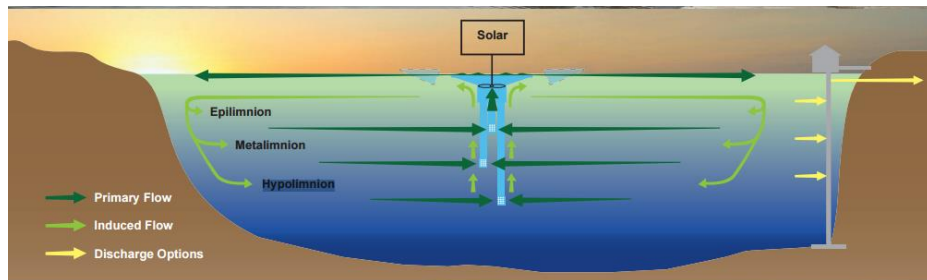
##### 2.4.2.2.1. CARACTERÍSTICAS

- Hace circular el oxígeno del agua deficiente a la superficie para una rápida re-oxigenación.
- Diseñado para aplicaciones de aguas residuales y de agua dulce.
- Reducir el crecimiento de algas, olor, lodos.
- Robusta, construcción de acero inoxidable.
- 365 días de operación a pesar de condiciones adversas.



**Figura 22.** Funcionamiento del LumnAER  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016)

El LumenAERTM recicla continuamente y estratifica embalses, lagos y estanques profundos de forma simultánea a múltiples profundidades. La tecnología de la circulación de oxígeno restaura a los niveles más bajos, lo que hace lo siguiente: 1) mejora la calidad del agua, 2) promueve un ecosistema saludable de arriba hacia abajo, 3) aumenta la claridad, 4) disminuye el pH, 5) baja temperatura y 6) los límites de gusto y olor (RWL WATER, 2016).



**Figura 23.** Zonas en las que actúa el equipo  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016)

#### 2.4.2.2.2. ESPECIFICACIONES

En la tabla 9 se pueden apreciar las especificaciones que posee cada equipo dependiendo del modelo que se requiera.

Designation/Model	SS	SE	SB	LEM
Description	Sunup-to-Sundown	Solar/Electric	Solar/Battery	Low Energy Mixer
Operation	8-12 hours/day	24/7/365	24/7/365	24/7/365
Power Source	Solar only	Solar-Electric	Solar & Battery	110 VAC, 10amp
Primary Flow	2-3 acre feet/day	3-4 acre feet/day	3-4 acre feet/day	3-4 acre feet/day
Solar Panel Size	3 @ 60 watt	3 @ 80 watt	3 @ 130 watt	None
Anchoring	Single point	2 point	1 or 2 point	2 point
Type of Mix				
Shallow Mix Type T (telescoping)	Yes	Yes	Yes	Yes
Deep Mix Type H (hose)	Yes	No*	Yes	No
Warranty				
Frame	2 year	2 year	2 year	2 year
Motor	2 year	2 year	2 year	2 year
Panels	25 year	25 year	25 year	25 year
Applications	Designed for ponds, lakes and reservoirs with long detention, which need consistent circulation	Designed for facilities where continuous mixing is required and electric shore power is available	Designed for facilities where continuous mixing is required and electric shore power is NOT available	Designed for ponds with high organic loads, short detention
Type Pond	Non-aerated	Aerated and non-aerated	Aerated and non-aerated	Aerated
Retention	45 Days	15-60 Days	15-60 Days	10 Days
Organic Loading***	0-50 lbs. BOD/ac/day	50-150 lbs. BOD/ac/day	50-150 lbs. BOD/ac/day	50-250 lbs. BOD/ac/day**
Electricity Required	No	Yes	No	Yes

**Tabla 9.** Especificaciones de los equipos LumenAER

**Fuente:** (RWL WATER, 2016), Disponible en: [https://www.rwlwater.com/wp-content/uploads/rwlmedia/images/sites/6/2013/09/LumenAER\\_brochure\\_final.pdf](https://www.rwlwater.com/wp-content/uploads/rwlmedia/images/sites/6/2013/09/LumenAER_brochure_final.pdf)

### 3.4.3. FUENTE FLOTANTE AURAAER™

Las fuentes flotantes AuraAER son una forma ecológica de limitar las formaciones de algas, distribuir el oxígeno, reducir los olores molestos y ayudar en el proceso natural de limpieza de un estanque.

La fuente flotante AuraAER es una alternativa ecológica a las fuentes eléctricas tradicionales. Las unidades AuraAER limitan las formaciones de algas, distribuyen el oxígeno, reducen los olores molestos, ayudan en el proceso natural de limpieza y, al mismo tiempo, añaden una apariencia estética a su lago o estanque.

La fuente AuraAER está equipada con cuatro variaciones de patrones de aspersión diferentes. Cuatro boquillas de aspersión están fijadas en el

disco de AuraAER para una sencilla rotación del patrón (figura 24). La fuente AuraAER requiere solo 30 pulgadas de profundidad de agua, lo que la convierte en una opción ideal para su instalación en estanques residenciales y comerciales..

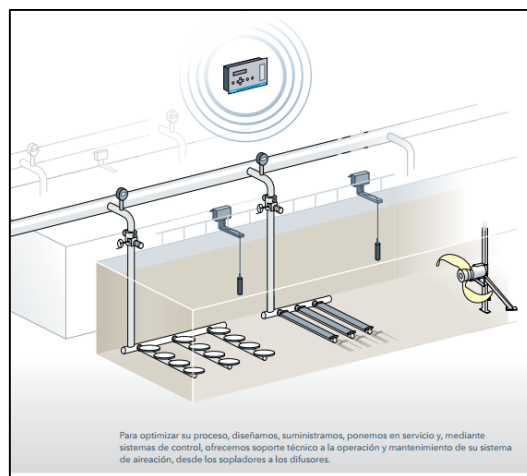


**Figura 24.** Fuente flotante solar AuraAER para estanques y lagos  
**Fuente:** (RWL WATER, 2016),

Disponible en: <https://www.rwlwater.com/fuente-flotante-auraaer/?lang=es>

### 3.5. XYLEM WÁTER SOLUTIONS COLOMBIA

Las normativas medioambientales cada vez más estrictas y el aumento en los costes de energía están forzando a las plantas de tratamiento de aguas a cumplir la legislación y a incrementar la eficiencia energética de sus operaciones. Una de las principales actividades en las que usted puede hacer ahorros medioambientales y en los costes es precisamente debajo de la superficie de sus tanques biológicos. Descubra los ahorros de energía sumergidos Actualmente los sistemas de aireación representan entre el 30 y el 70 por ciento de los costes de energía totales estimados en una planta de tratamiento de aguas residuales típica (XYLEM, 2016). Incrementando la eficiencia de los procesos de tratamiento biológico de su planta, podrá obtener grandes ahorros en energía y una reducción de los costes operativos (Figura 25).



**Figura 25.** Sistema de aireación de XYLEM.  
**Fuente:** (XYLEM, 2016).

Más oxígeno aportado por kilovatio hora Factores que debe tener en cuenta al diseñar su sistema de aireación:

**Eficiencia de transferencia de oxígeno estándar (SOTE)** La SOTE, utilizada para comparar la eficiencia en la transferencia de oxígeno, es la relación entre la cantidad de oxígeno transferida y la cantidad realmente aportada. El rendimiento puede alcanzar hasta el 60% dependiendo de la profundidad del agua y del caudal de aire.

**Eficiencia de aireación estándar (SAE, Standard aeration efficiency)** La SAE es la relación entre la cantidad de oxígeno transferida al agua y la cantidad de energía usada. Son valores típicos 1–2 kg de O<sub>2</sub>/kWh en los sistemas de aireación mecánica y 2–8 kg de O<sub>2</sub>/kWh en los sistemas de aireación con difusores. La SAE refleja tanto la SOTE como la eficiencia de los sopladores y la pérdida de presión del sistema, dependiendo de estos parámetros se puede elegir el aireador (Figura 19).

Etapas de tratamiento	Aplicaciones	Aireación difundida	Aireación mecánica
Preliminar y primaria	Estanque desarenador	Burbuja gruesa	
	Estanque de retención	Burbuja gruesa/Burbuja fina	Aireador de chorro
Secundaria	Aireación biológica	Burbuja fina	Aireador de chorro
Terciaria	Aireación antes de la descarga	Burbuja fina	
Fangos	Digestión aeróbica		Aireador de chorro
	Retención de fangos	Burbuja gruesa/Burbuja fina	Aireador de chorro
	Control de olores	Burbuja fina	Aireador de chorro

**Figura 26.** ¿Qué aireador es el apropiado?

**Fuente:** (XYLEM, 2016).

### 3.5.1. DIFUNDIR EL AIRE FINAMENTE

Para una transferencia de oxígeno fiable en todo tipo de aplicaciones de aireación de aguas el sistema de difusión de aire Sanitaire®, trabaja independientemente de la geometría del tanque o la aplicación del proceso, los sistemas Sanitaire han demostrado su efectividad en miles de municipios e industrias de todo el mundo (Figura 20).



**Figura 27.** Instalación de difusores de aire Sanitaire.  
**Fuente:** (XYLEM, 2016).

**Difusores de burbuja fina** Los difusores de burbuja fina Sanitaire generalmente se utilizan para la aireación biológica, la aireación previa a la descarga y el control de olores de la retención de fangos. Elija entre la serie Sanitaire Gold para alta eficiencia, la serie II Sanitaire Silver de difusores de membrana para aplicaciones estándar y de baja presión, y entre los duraderos difusores de cerámica Sanitaire para aplicaciones que exijan resistencia a la corrosión.

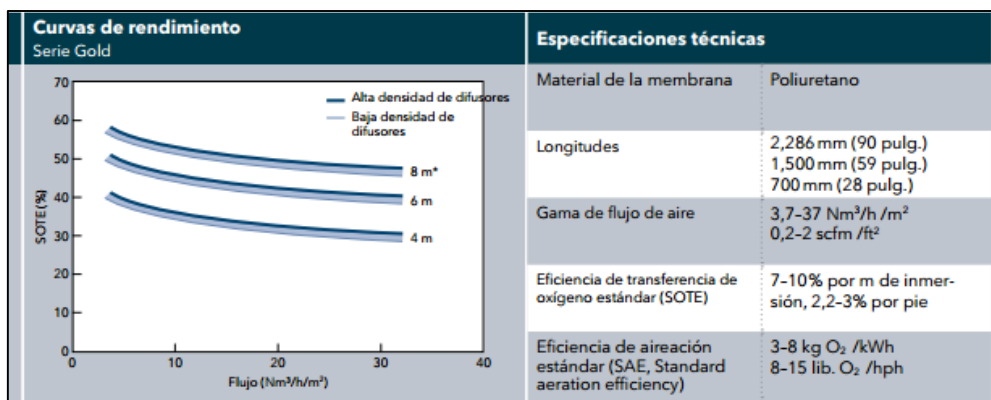
**Difusores de burbuja gruesa** Para aplicaciones más exigentes, como fangos o aguas residuales industriales, los difusores de burbuja gruesa Sanitaire es la tecnología preferida. Típicamente se usan en estanques desarenadores, y tanques de retención y de fangos. El difusor de banda ancha Sanitaire nunca defrauda.

### **3.5.1.1. DIFUSORES DE LA SERIE SANITAIRE GOLD**

Los difusores de membrana de la serie Sanitaire Gold son la última innovación en la tecnología de aireación con burbuja fina. Siempre que se precise una cobertura de alta densidad y flujos bajos, pueden instalarse densamente sobre cualquier superficie de estanque para ofrecer una eficiencia de aireación sin par (XYLEM, 2016).

**Eficiencia energética** La excepcional geometría de los difusores y sus avanzadas membranas microperforadas permiten una cobertura de alta densidad en el fondo del estanque, proporcionando una alta transferencia de oxígeno con el mínimo gasto de energía. La membrana se ha diseñado para una baja pérdida de altura manométrica, con lo cual se reduce aún más el consumo de energía. (Figura 28).

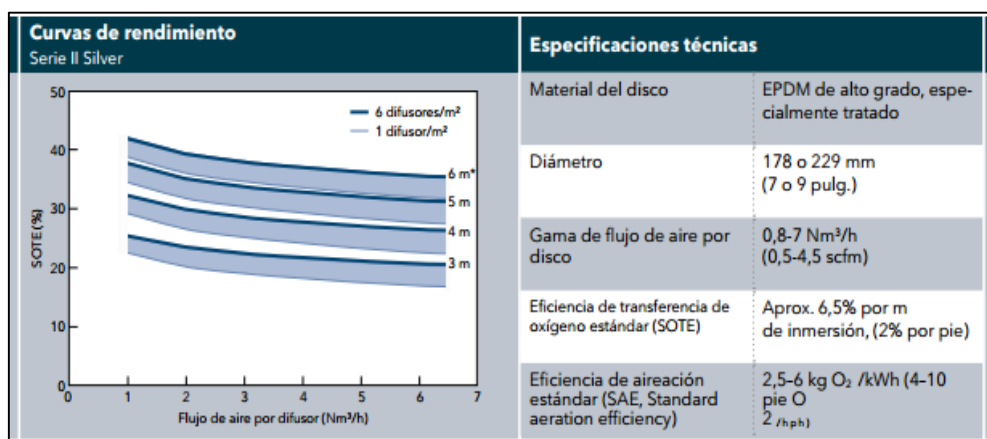




**Figura 28.** Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Gold  
Fuente: (XYLEM, 2016).

### 3.5.1.2. DIFUSORES DE LA SERIE II, SANITAIRE SILVER

Para una combinación de alta eficiencia en la aireación y bajos costes operativos, la serie II de difusores de membrana Sanitaire Silver –el sistema de aireación difusa por burbuja fina más ampliamente utilizado hoy– constituye la opción perfecta. Alta eficiencia en la transferencia de oxígeno La serie II de membrana Sanitaire Silver incorpora un excepcional dibujo de ranuras y formas de ranura que dispersa las burbujas en una configuración uniforme, extremadamente fina, para una transferencia óptima del oxígeno. Larga vida de servicio, bajo mantenimiento La gran elasticidad y resistencia a la degradación de los elementos elastómeros de EPDM de alto grado especialmente tratados contribuyen a que la vida de servicio alcance 10 o más años (Figura 29).



**Figura 29.** Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Silver  
Fuente: (XYLEM, 2016).

### 3.5.1.3. DIFUSORES DE CERÁMICA SANITAIRE

Los difusores de cerámica Sanitaire soportan la aireación de aguas residuales agresivas y altamente corrosivas, proporcionando una transferencia del oxígeno elevada y eficiente, además de económica. Costes totales de propiedad bajos Los discos de cerámica Sanitaire están moldeados especialmente por compresión para obtener un contorno óptimo que ofrezca una alta eficiencia en la transferencia de oxígeno a presiones operativas bajas. Zonas variables de densidad por la superficie del disco favorecen una distribución uniforme del aire. Ello contribuye a unas pérdidas de altura barométrica limitadas, bajo consumo de energía, costes operativos reducidos y, con ello, a un coste total de propiedad bajo. Eficiencia energética Los discos de cerámica Sanitaire van provistos de un anillo de retención superior roscado que garantiza una obturación hermética (Figura 30). A medida que aumenta la presión del aire, se incrementa la fuerza de obturación del anillo tórico, creando así una junta hermética. Gracias a que no hay fugas de aire, no se desperdicia energía. Vida de servicio previsible de 20 años Los discos de cerámica Sanitaire son duraderos, fiables y resistentes a los atascamientos, y constituyen unos elementos de difusor de bajo mantenimiento que típicamente alcanzan una duración de 20 o más años. Para prolongar la vida de servicio aún más, un sistema opcional de limpieza por gas in situ incrementa el rendimiento continuo (XYLEM, 2016).

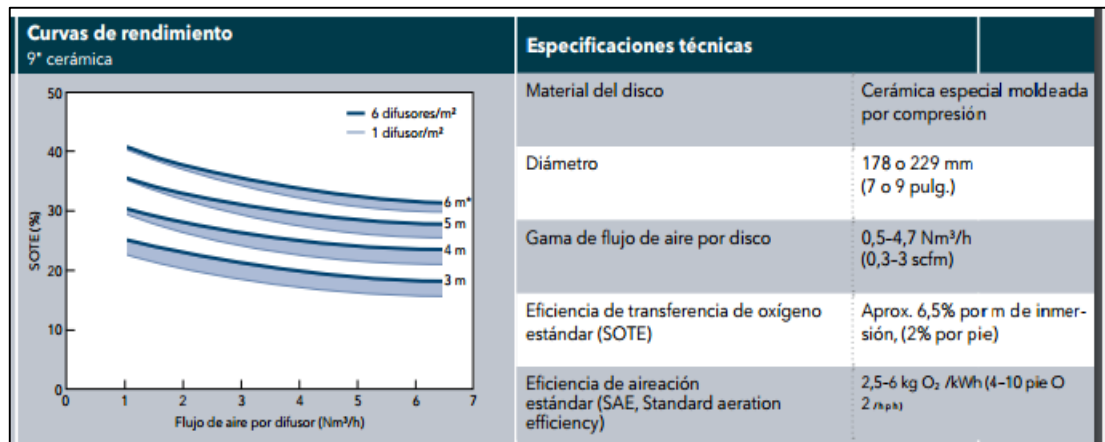
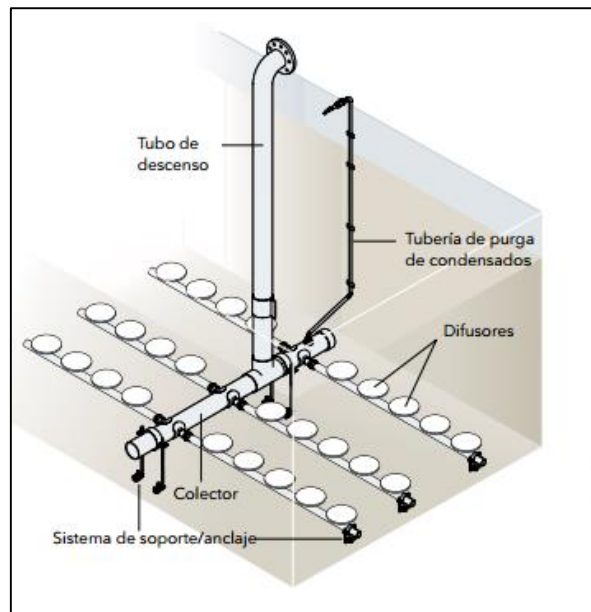


Figura 30. Rendimiento y especificaciones del difusor Sanitaire Gold

Fuente: (XYLEM, 2016).

### 3.5.2. COMPONENTES DE PARRILLAS DE SANITAIRE

Debajo de cada sistema de aireación con difusores de Sanitaire hay un robusto fundamento. Estos componentes están integrados en la gama de burbuja fina de Sanitaire y desempeñan una importante función de soporte. Bastidor sólido Las juntas ranuradas de Sanitaire son de diseño patentado y aseguran una conexión firme a las tuberías de suministro de aire del tubo de descenso a los difusores. Se han concebido para que soporten la expansión térmica y la contracción, los golpes de ariete y otras tensiones dinámicas. Sujetan las tuberías con seguridad, evitando en ellas las fugas de aire, la desconexión y el desplazamiento. Soporte con sistema elevado Los soportes de guía de Sanitaire están fabricados de acero inoxidable resistente a la corrosión y constituyen un anclaje seguro para los sistemas de aireación Sanitaire. Son del tipo roscado e incorporan un mecanismo de ajuste en altura infinitamente regulable para asegurar un reglaje preciso del emparrillado. El sistema de sujeción de las tuberías compensa los movimientos de expansión, ofreciendo un fundamento estable (XYLEM, 2016). Hay disponibles soportes de guía Sanitaire especialmente reforzados para zonas de gran velocidad y provistas de agitadores. (Imagen 31)



**Figura 31.** Parrilla de Sanitaire.

**Fuente:** (XYLEM, 2016).

Fáciles de adaptar Las tuberías de distribución de aire Sanitaire se suministran con soportes de difusor soldados en fábrica y los componentes de la serie Sanitaire Gold se entregan como unidades premontadas, para facilitar la instalación. Además, los componentes de las parrillas son completamente intercambiables con el sistema usado en

la planta del cliente. Y, por ejemplo, si hay que cumplir con requisitos muy rigurosos sobre las emisiones, los discos de cerámica de Sanitaire pueden sustituirse fácilmente por membranas de las series Sanitaire Gold o Silver. Sistemas de purga Después de producirse condensación, los niveles de agua en el colector pueden aumentar y prolongarse hasta los cabezales. Para abordar la acumulación de agua, ofrecemos sistemas de purga separados que desalojan la condensación del punto más bajo del sistema (XYLEM, 2016). (Figura 32)

		<b>Especificaciones técnicas</b>	
		Tubo de descenso	Acero inoxidable AISI 304 o 316
Juntas ranuradas		Colectores	Acero inoxidable, cloruro de polivinilo (PVC) de fórmula especial para evitar la degradación por rayos ultravioleta.
Soporte de parrilla ajustable		Cabezales de distribución	PVC o CPVC para temperaturas altas
		Soportes y pernos de anclaje	Acero inoxidable AISI 304 o 316
		Empacaduras	EPDM

**Figura 32.** Especificaciones técnicas de la parrilla  
Fuente: (XYLEM, 2016).

### 3.6. DIFUSORES

Estos sistemas de aireación de difusores fijos o retráctiles garantizan una transferencia eficiente de oxígeno en los procesos biológicos. Todos los sistemas de aireación son soluciones de diseño completas cuyo objetivo es adaptarse a la demanda de oxígeno y al tamaño y la geometría del depósito existentes en aplicaciones específicas (GRUNDFOS, 2016). (Figura 33).



**Figura 33.** Difusores.  
Fuente: (GRUNDFOS, 2016)

Los sistemas de difusores se componen de difusores de disco o tubos difusores junto con todas las tuberías de distribución de aire necesarias. Todos los componentes se suministran premontados, y su instalación resulta rápida y sencilla gracias a que para realizar las conexiones basta con montar un solo perno y a que los difusores únicamente tienen que enroscarse.

Los difusores incorporan resistentes membranas de caucho EPDM y una válvula de retención. Existen membranas y tuberías de diversos materiales, lo que permite adaptar estos sistemas a las necesidades existentes en función de la configuración del depósito y del tipo de agua residual (GRUNDFOS, 2016).

### **3.6.1. USOS**

Los sistemas de aireación de difusores pueden generar burbujas de aire de tamaño pequeño, mediano o grande con un amplio rango de caudales de aire en aplicaciones de transferencia de oxígeno o aporte de aire. Los sistemas se diseñan para cubrir íntegramente la superficie del suelo, en forma de baterías de aireación o con una configuración de flujo en espiral (GRUNDFOS, 2016).

- Depósitos de proceso en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales (WWTP).
- Sistemas de reactores biológicos secuenciales (SBR) o reactores biológicos de membrana (MBR).
- Tanques de estabilización y homogeneización.
- Digestión aerobia.
- Eliminación de arenas y grasas.
- Flotación.

### **3.6.2. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS**

- Sistemas completos con un diseño específico pensado para satisfacer las demandas de oxígeno de los procesos.
- Existe la posibilidad de incluir difusores de alta densidad, que consiguen una eficiencia de transferencia de oxígeno máxima.
- Soluciones de diseño personalizadas en forma de sistemas fijos o retráctiles.
- Sistemas retráctiles: mantenimiento más sencillo.
- Sistemas fijos: una opción económica para sistemas de grandes dimensiones.
- Pueden utilizarse membranas, tuberías y soportes de distintos materiales, en función de cuáles sean las condiciones de funcionamiento del sistema.
- Estos sistemas de distribución de aire se suministran premontados y para realizar las conexiones únicamente resulta necesario enroscar un perno, lo que minimiza el tiempo necesario para su montaje en la instalación.

- Las tuberías de distribución de aire presentan conexiones mecánicas con elementos deslizantes, lo que permite su expansión y contracción cuando se producen variaciones de temperatura.
- Los soportes completamente ajustables para las tuberías, fabricados en acero inoxidable, aportan flexibilidad a la instalación.
- Los sistemas automáticos o manuales de purga reducen las pérdidas por fricción en las tuberías de distribución de aire.
- Amplia variedad de difusores con tamaños de burbuja pequeños, medianos y grandes y diseños en forma de disco y tubulares.
- Las unidades con difusores premontados permiten minimizar el tiempo de instalación y eliminan la posibilidad de que el montaje en la instalación se realice incorrectamente.
- Las membranas flexibles garantizan una distribución uniforme del aire por toda la superficie con un amplio rango de caudales de aire.

### 3.7. EL AIREADOR-OXIGENADOR FORCE 7

Equipo versátil de alto rendimiento capaz de inyectar un gran volumen tanto de aire como oxígeno puro en el agua, en forma de burbujas micronizadas, también actúa como circulador al crear una corriente de agua que distribuye el oxígeno y desestabiliza la masa de agua, equilibrando los niveles de temperatura y oxígeno, sin causar erosión o aumento de turbidez, provoca un efecto de “fraccionador de espuma” que elimina por flotación un gran número de pequeñas partículas y proteínas disueltas, mejorando la calidad del agua, muy útil para desgasificar y depurar (Figura 34) Profundidad ajustable de 0.5 a 2 metros, optimizando así el efecto de la hélice, el motor es orientable +35° para regular el flujo, disponible en 1 y 1.5 HP, monofásico o trifásico. Muy ligeros (11 y 13.5 kg) fácilmente transportables y manejables.



**Figura 34.** Force 7

**Fuente:** <http://www.megasupply.net/productos/equipos-e-instrumentos/equipos-para-aireacion-oxigenacion-y-depuracion-acquaco/>

Mediante la creación de una corriente de agua horizontal y una corriente vertical de aire el FORCE 7 impide toda estratificación del agua, haciendo el ecosistema uniforme. La temperatura y el oxígeno estarán bien balanceadas a cualquier nivel desde el fondo hasta la superficie. El flujo constante generado impedirá la formación de bolsas de gas

FORCE 7 asegura prestaciones superiores en la transferencia de oxígeno en el agua. Puede inyectar y disolver oxígeno puro sin dispersión de 0,5 a 8 metros. Tabla 10.

Single - phase 110 V - 60 Hz 220 V - 60 Hz	Models		kW absorbed kW	Nominal power HP	Power HP	Power kW	rpm	Weight Kg
	Three - phase 220 V - 60 Hz 380 V - 60 Hz 440 V - 60 Hz							
	FORCE 7.1M	FORCE 7.1T	1,1	1,5	1	0,8	3350	11
	FORCE 7.2M	FORCE 7.2T	1,6	2	1,5	1,5	3350	13,5
	FORCE 7.2M/C	FORCE 7.2T/C	1,6	2	1,5	1,5	3350	13,5
		FORCE 7.2.5T	1,9	2,5	1,9	1,4	3350	13,5
		FORCE 7.3T	2,2	3	2,2	1,6	3350	13,5

**Tabla 10.** Características de funcionamiento a nivel del mar con una temperatura ambiente de 25 °C

**Fuente:** [http://www.innovaqua.com/productos/aireacion\\_sumergida.html](http://www.innovaqua.com/productos/aireacion_sumergida.html)

### 3.8. FORCE 7 PRO

El FORCE 7 PRO es una versión mejorada del FORCE 7, con una mayor capacidad y robustez, manteniendo todas sus demás ventajas: aireación, oxigenación, circulación, desgasificación, desestratificación, fraccionamiento de espuma, depuración del agua y suelo (Figura 35).



**Figura 35.** Force 7 Pro

**Fuente:** [http://www.innovaqua.com/productos/aireacion\\_sumergida.html](http://www.innovaqua.com/productos/aireacion_sumergida.html)

En la tabla 11 se puede apreciar las características de funcionamiento del equipo, en el cual se aprecian características como las revoluciones por minuto y el peso del mismo.

Models	Available voltage V / Hz	Nominal power HP	Amp absorbed A	kW absorbed kW	RPM	Weight (only motor) kg
FORCE 7 PRO	380/50	3	5,5	3,1	2800	26
FORCE 7 PRO	380/60	4	7,1	3,3	3.350	26
FORCE 7 PRO	440/60	4	7,1	3,3	3.350	26

Other voltages and frequency available on request. Description, technical data and features are not binding. The company reserves the right to carry out any modification without notice.

**Tabla 11.** Características de funcionamiento del FORCE 7 pro.  
**Fuente:** [http://www.innovaqua.com/productos/aireacion\\_sumergida.html](http://www.innovaqua.com/productos/aireacion_sumergida.html)

### 3.9. NYF DE COLOMBIA.

Es una Compañía con más de 26 años en la implementación y montaje de plantas de tratamiento de agua en todo el territorio nacional, procesando más de 1.000.000 litros de agua residual por día (NYFDECOLOMBIA, 2016).

#### 3.9.1. PLANTAS DE OXIDACIÓN AVANZADA

El tratamiento de aguas residuales de industrias como la Petroquímica, Textilera, farmacéutica, fabricación de colorantes y punturas, entre otras; no es el típico tratamiento convencional que conocemos para aguas residuales Domesticas, urbanas y/o municipales (Figura 36).

Debido a la gran concentración de agentes químicos no biodegradables, el tratamiento biológico no surge efectos en este tipo de aguas, ya que agentes químicos acabarían inmediatamente con la vida de los microorganismos de degradación. Además estas aguas industriales se caracterizan por la no presencia de materia orgánica, por ende sin materia orgánica, las bacterias de los procesos biológicos se mueren.

NyF Maneja procesos de Oxidación Avanzada para reducción efectiva de contaminantes presentes en las aguas industriales. El proceso de Oxidación Avanzada consiste en una oxidación química en condiciones suaves de presión y temperatura hasta la mineralización completa de contaminantes (NYFDECOLOMBIA, 2016).





**Figura 36.** Planta de oxidación avanzada.  
**Fuente:** (NYFDECOLOMBIA, 2016)

### 3.9.2. PLANTAS DE OXIDACION QUIMICA

Las plantas de Oxidación avanzada utilizan diferentes procesos para lograr la reducción efectiva (Hasta el 93%) de contaminantes como DBO5, DQO, Fenoles, entre otros, presentes en grandes cantidades en las aguas de uso industrial. Las Tecnologías Aplicadas en las plantas se basan en los principios de agentes y procesos de Oxidación/Reducción por Aire Disuelto (DAF), Dosificación de Peróxido de Hidrogeno y Alta Radiación Ultravioleta para lograr la formación de un agente oxidante en especie denominada Radical Oxidrilo con una elevadísima capacidad oxidante, y con tiempos de reacción muy cortos (NYFDECOLOMBIA, 2016) (Figura 37).



**Figura 37.** Equipos presentes en la oxidación  
**Fuente:** (NYFDECOLOMBIA, 2016)

### **3.9.3. ALTA OXIDACIÓN POR COMBINACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO + UV-C**

Nuestros equipos de Oxidación Avanzada utilizan Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ ) en combinación con la Radiación Ultravioleta (Alta potencia – Rango: 254 nm), dicha combinación tiene la capacidad de acelerar la generación de radicales libres (Radicales OH-) también conocido como radical Oxidrilo, agentes de alta oxidación capaz de transformar diversos compuestos orgánicos Tóxicos/recalcitrantes en productos fácilmente biodegradables y menos peligrosos generando de esta forma, mejoras para la tratabilidad de los efluentes industriales.

La Radiación emitida por las lámparas UV – C es son capaces de fotolizar las moléculas de  $H_2O_2$ . El rompimiento del peróxido de hidrogeno puede en algunas situaciones, llevar a la oxidación parcial de compuestos recalcitrantes en elementos más biodegradables, mejorando la eficiencia en un posterior tratamiento biológico. El mecanismo propuesto para la fotólisis del  $H_2O_2$  es el rompimiento de la molécula por fotones produciendo dos radicales OH• (NYFDECOLOMBIA, 2016).

## 4. ESTUDIOS SOBRE LA AIREACIÓN.

### 4.1. OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A TRAVÉS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO ASM1

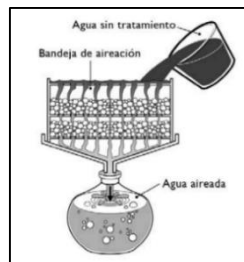
Recientemente se han propuesto varios protocolos de calibración para el modelo ASM1 y cada uno de ellos hace énfasis en obtener un buen ajuste en la producción de lodos. Aquí es precisamente donde se evalúan las discrepancias y se hacen los reajustes de datos mediante un balance de materia. El objetivo de este trabajo fue realizar, primero, un balance de flujos de la planta de tratamiento de aguas residuales “Dulces Nombres” en Monterrey, Nuevo León, México, para luego ajustarlos hasta cerrar adecuadamente el balance de materia para fósforo total, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos inorgánicos (ISS). Cabe señalar que para calibrar el modelo biológico fue importante determinar de manera confiable el caudal de purga de lodos ( $Q_{WAS}$ ), ya que de este depende el tiempo medio de retención celular ( $O_c$ ) en los reactores, lo cual se realizó satisfactoriamente a través del balance de los ISS y utilizando el software GPS-X para la simulación de escenarios de optimización (ESPINOSA, 2016).

### 4.2. TRATAMIENTO DE EMERGENCIA DE AGUA POTABLE EN EL LUGAR DE SONSUMO (OMS, OPS).

La aireación es un proceso de tratamiento en el que el agua entra en contacto con el aire con el propósito primordial de incrementar su contenido de oxígeno

Al tener un mayor contenido de oxígeno:

- Se eliminan las sustancias volátiles, como el sulfuro de hidrógeno y el metano, que afectan el sabor y el olor;
- Se reduce el contenido de dióxido de carbono del agua, y
- Se oxidan los minerales disueltos, como el hierro y el manganeso, para que formen precipitados, que se pueden retirar por decantación y filtración. (Figura 38).



**Figura 38.** Bandeja de aireación

**Fuente:** (OPS, 2009)

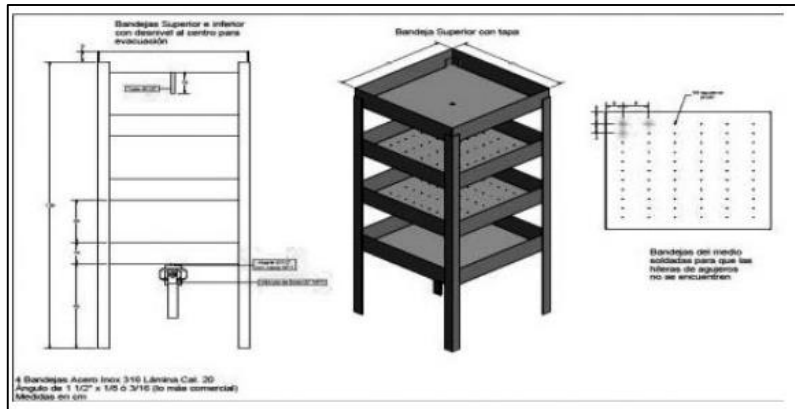
El estrecho contacto que se requiere entre el agua y el aire para la aireación se puede lograr de varias formas. A nivel casero, agite rápidamente el recipiente parcialmente

lleno de agua por 5 minutos, más o menos, y, luego, deje reposar el agua por otros 30 minutos para que las partículas suspendidas se decanten en el fondo del recipiente.

A mayor escala, la aireación se puede lograr dejando que el agua escurra a través de una o más bandejas perforadas y bien ventiladas que contienen pequeñas piedras. Nuevamente, se debe recoger el agua en un recipiente y dejarla que repose por 30 minutos, más o menos, para que las partículas suspendidas queden en el fondo.

#### **4.3. IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO PILOTO DE BANDEJAS DE AIREACIÓN PARA AGUAS, POTENCIALIZADO CON MICROORGANISMOS EFICIENTES**

En este artículo se presenta la construcción e implementación de las mejores combinaciones de los parámetros de diseño de las bandejas de aireación y el metabolismo microbiano; el cual, es efectivo cuando entra en contacto con la materia orgánica, secretando sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales y fundamentalmente sustancias antioxidantes que mejoran la calidad organoléptica del agua. Por lo general, el sistema de bandejas es utilizado para el tratamiento final de agua potable, en esta investigación se está evidenciando el metabolismo microbiano como una alternativa para el tratamiento de aguas domésticas. Esto ha llevado a determinar la densidad poblacional de microorganismos aerobios por medio de preenriquecimientos y enriquecimientos, curvas de crecimiento bacteriano y, posiblemente al final, identificaciones bioquímicas, las cuales son capaces de metabolizar la contaminación doméstica de estas aguas (Figura 39). El prototipo en agua potable funciona a la perfección cumpliendo las características a medir en este tipo de aguas, el problema radica en la incorporación del inóculo de microorganismos eficientes en las bandejas para que actúen como un consorcio metabólico utilizando al oxígeno como fuente de energía, eliminando así los malos olores y aclarando el agua. Se esperaría que el material amortiguador de las bandejas, como el coque o el material que se escoja para este fin, sirva como inmovilizador de estos consorcios microbianos y ayude a evidenciar que el mantenimiento del prototipo se hace simultáneamente de forma física y biológica, es decir, en el momento que se lave el material amortiguador de las bandejas, así mismo se inocula otro consorcio de microorganismos eficientes. Según el estudio, la cantidad de microorganismos que se pueden adicionar en este prototipo es de 10 mL alcanzando a crear una biopelícula en la superficie del agua (CALDERÓN, 2012).



**Figura 39.** Detalle de diseño del equipo de filtración a partir del prototipo  
**Fuente:** (CALDERÓN, 2012)

#### 4.4. DETALLE DE DISEÑO DEL EQUIPO DE FILTRACIÓN A PARTIR DEL PROTOTIPO.

En el municipio de guacamayas, no se cuenta con un tratamiento adecuado para las aguas que luego de ser usadas en actividades domésticas son entregadas al alcantarillado y posteriormente a un cuerpo receptor. Para la solución de este problema, se realizó un estudio con el objetivo de identificar, diseñar e implementar la línea de procesos para la planta de tratamiento de aguas residuales que cumpliera con los parámetros de remoción exigidos y con las características económicas del municipio. Para este caso se utilizaron los sistemas en cascada.

Para este diseño, se aplicó una metodología que permitió identificar y caracterizar el problema, para posteriormente establecer las operaciones y procesos de tratamiento óptimo y de este modo conseguir los requerimientos definidos y concretar el diseño correspondiente (Figura 33).

Se trabajó en base a las metodologías sugeridas por el ministerio del medio ambiente que consta de un pretratamiento con rejillas y desarenadores, un tratamiento primario que consta de un reactor anaerobio tipo imhoff y un tratamiento secundario con un filtro percolador, alcanzando con esto la remoción exigida por el decreto 1594 de 1984 que dice debe ser del 80% para DBO y SS así como el 99% de agentes patógenos (BLANCO, 2010).

$$\text{Relación deficitaria de Oxígeno disuelto} \quad r = \frac{C_s - C_o}{C_s - C}$$

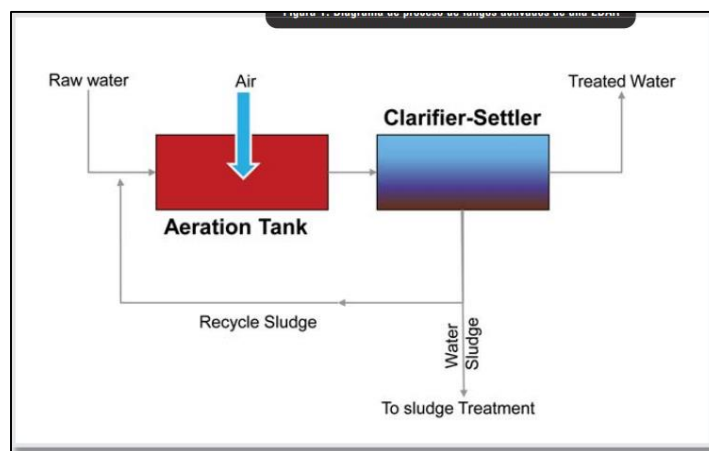
Altura de la Cascada de Oxigenación	$H = \frac{R-1}{0,361ab (1+0,046T)}$
Tiempo Transcurrido	$t = \sqrt{\frac{2nh}{g}}$
Velocidad	$V = \sqrt{2g * h}$

**Figura 40.** Ecuaciones implementadas para el diseño de filtración  
**Fuente:** (BLANCO, 2010)

#### 4.5. **OptimEDAR: SOLUCIÓN PARA LA GESTIÓN OPTIMIZADA DE UNA EDAR REDUCIENDO EL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA HUELLA AMBIENTAL, Y AUMENTADO LA PRODUCTIVIDAD**

En la actualidad el tratamiento del agua residual es una de las actividades con mayor consumo energético. En el tratamiento por fangos activados, alrededor del 50% del consumo energético es debido al proceso de aireación de los reactores biológicos (Figura 41 y 42).

OptimEDAR es una solución para la gestión y control de las pequeñas y medianas estaciones de tratamiento de aguas residuales (EDAR) basada en el eco-innovador seguimiento en línea del proceso de aireación en el reactor biológico. Permite a la depuradora ejecutar de forma sencilla un plan de gestión on-line del proceso de aireación, reduciendo el consumo energético hasta un 20% y obteniendo una alta calidad en el agua tratada (menos reactivos y subproductos químicos), aumentando, de este modo, la productividad de todo el sistema y obteniendo un rápido control sobre el agua tratada (CROS, 2014).



**Figura 41.** Diagrama de proceso de fangos activados de una EDAR  
**Fuente:** (CROS, 2014)



**Figura 42.** Instalación en plantas existente  
**Fuente:**(CROS, 2014)

#### **4.6. INFLUENCIA DE LA AIREACIÓN EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE BORRAS DE HIDROCARBUROS.**

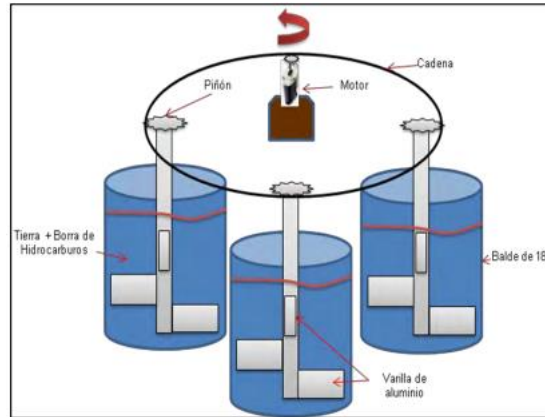
La presente tesis trata del desarrollo a escala de laboratorio del proceso de tratamiento biológico de las borras de hidrocarburos mediante el Sistema de Aireación, en la cual se comprobó la disminución de las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) a valores menores de 5 000 mg. Kg-1

El valor de 5 000 mg. Kg-1, es el Límite Máximo Permisible (LMP) de TPH en suelos (0 - 0.30 m.) contaminados por hidrocarburos, propuesto por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de

Energía y Minas (MEM). El tratamiento consistió en la mezcla de las borras de hidrocarburos con tierra agrícola y arena de playa no salinizada en una proporción de 1:5:1.25 la que se sometió a un Sistema de Aireación de 30 y 60 rpm, por un periodo de 30 min/día, durante 75 días. Durante el tratamiento, esta mezcla estuvo expuesta a un rango de humedad [20 – 30 %], pH [7,1 – 7,3] y temperatura [17– 27,0 °C]. Las borras de hidrocarburos empleadas provinieron de la Refinería de Talara de PETROPERU S.A, donde la concentración inicial de TPH fue igual a 23 933 mg.Kg-1, valor que excede los LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos. El TPH inicial de la mezcla fue igual a 13 765 mg.Kg-1, valor que excede los LMP de TPH en suelos contaminados por hidrocarburos (HERRERA, 2014).

##### **4.6.1. Equipo de aireación experimental**

En el presente experimento se diseñó el equipo de aireación con dos niveles de aireación: 30 y 60 rpm (Figura 43).



**Figura 43.**Esquema del equipo de aireación  
**Fuente:** (HERRERA, 2014)

Se empleó dos motores de velocidad igual a 60 rpm, en el primer motor se insertó un engranaje de 10 dientes y en el segundo de 18dientes, reduciendo al segundo a una velocidad de 30 rpm. Por otro lado, las paletas giratorias contaron con un engranaje de 18 dientes, generándose en ese sentido una velocidad de 60 y 30 rpm respectivamente, a continuación se esquematizan lo antes descrito.

#### **4.7. AIREACIÓN INTERMITENTE PARA REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA SOLA ETAPA**

Una planta piloto de aireación extendida ( $\theta_h$  24 horas y  $\theta_c$  25 días) fue diseñada y construida para realizar experimentos que permitieran su transformación de tratamiento secundario a tratamiento terciario. Se realizaron cambios operacionales para tener condiciones anóxicas y aerobias suministrando de manera cíclica o intermitente aire en una serie de tiempos o ciclos de tres horas en un solo reactor. Se experimentaron con quince escenarios donde se variaron los tiempos de aireación desde 20 minutos de aireación y 160 minutos de agitación hasta 180 minutos de aireación continua, a fin de encontrar los tiempos óptimos requeridos para los procesos de nitrificación y desnitrificación. El control de la aireación se fijó para mantener una concentración de 2 mg/L utilizando un gasto de aire de 0.3 m<sup>3</sup>/min. Este control del oxígeno fue realizado por medio de un controlador PID y un variador de la frecuencia de los sopladores, midiéndose además la energía consumida en cada escenario. Se realizaron registros en línea cada minuto de oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, sólidos suspendidos, temperatura, pH y gasto de aire y determinaciones analíticas de DBO, SST, nitrógeno y fósforo en todas sus formas. Los mejores resultados se obtuvieron con el ciclo de 50 minutos de aireación y 130 minutos de mezclado (50/130), obteniéndose eficiencias de remoción de nitrógeno total del 90% y concentraciones menores a 10 mg/L



en el efluente, reduciéndose el consumo de energía en un 76% con respecto a la aireación continua, teniéndose consumos de 14 kW·h/d lo que equivale a 0.32 Kw·h/m<sup>3</sup>. Para la obtención de efluentes para reúso agrícola y acuícola donde la toxicidad por nitrógeno amoniacal es un factor a cuidar, se obtuvo una remoción del 94% del nitrógeno amoniacal y concentraciones en el efluente menores a 1.5 mg/L, similares a las obtenidas con aireación continua las 24 horas, utilizando un patrón de intermitencia de 90/90, pero con la ventaja de ahorrar más del 50% de la energía necesaria en la aireación continua. Aunque la remoción de DBO<sub>5</sub> no fue afectada por la aireación intermitente pues se obtuvo en el efluente un promedio <20 mg/l), no fue posible acoplar las reacciones de remoción biológica de fósforo, manteniéndose remociones no mayores al 30%, similares a las reportadas en los sistemas de lodos activados con aireación continua debido entre otras causas, a la presencia de nitratos durante la fase anóxica (COLLI, 2002).

#### **4.8. ESTACIONALIDAD EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: IMPACTO SOBRE LA EFICIENCIA Y LOS COSTES DE OPERACIÓN**

Muchas de las áreas turísticas se caracterizan, a menudo, por una demanda estacional de agua. La influencia de la estacionalidad en la gestión de los recursos hídricos es más intensiva en el contexto de la escasez. Es por ello que el uso de fuentes alternativas de agua en estas áreas se convierte en un aspecto clave. En este sentido, la gestión eficiente, tanto en términos técnicos como económicos favorece las posibilidades de reutilización de agua y, por tanto, aumenta el suministro de los recursos llamados no convencionales. En las zonas turísticas, la estacionalidad es un factor determinante en la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDARs), ya que estas operan a plena capacidad sólo durante la temporada de verano, mientras que el resto del año tiene problemas de infrautilización. A través de la metodología Free Disposal Hull (FDH), este trabajo analiza las diferencias de eficiencia entre las EDAR's ubicadas en zonas turísticas con fuerte estacionalidad, en relación con las situadas en las zonas no turísticas. Asimismo, con el objetivo de identificar qué tecnología se encuentra más afectada por la estacionalidad, se han diferenciado las EDARs cuyo proceso es aireación prolongada de aquellas cuya tecnología es fangos activados (SALA, 2012).

#### **4.9. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CERVECERA**

Se estudió la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera que funciona bajo la modalidad de sistema combinado de reactor anaerobio y lodos activados. La evaluación comprendió dos etapas. Durante la primera, con duración de seis meses, se analizó el funcionamiento de la planta con las

características y parámetros operacionales prevalecientes de desvío hacia el tratamiento aeróbico mayor a 50%, uso de dos tanques de aireación y elevada producción de lodo. La segunda etapa abarcó cuatro meses en los cuales el sistema trabajó con el modelo operacional propuesto con la finalidad de mejorar el tratamiento: disminución de la tasa de desvío hasta 30% y utilización de un solo tanque de aireación. En cada etapa se realizaron mediciones de SST, SSV y DQO a la entrada y salida del reactor anaerobio y de los tanques de aireación. Los resultados se compararon con las especificaciones de diseño correspondientes y se aplicaron las condiciones necesarias para disminuir la tasa de desvío hacia el proceso aeróbico mediante monitoreo del volumen y concentración del afluente, aplicando cambios estratégicos en los parámetros del reactor que incrementasen su eficiencia. Se obtuvo una reducción del desvío de 53 a 34%, disminuyendo el lodo de descarte generado en el sistema aeróbico de 3670mg SST/l con dos tanques de aireación hasta 2947mg SST/l empleando un tanque, manteniendo los mismos valores de relación SSV:SST (0,55) y una eficiencia de remoción global en términos de DQO de 98% (YABROUDI, 2009).

#### **4.10. EVALUACION COMPARATIVA EN UNA PLANTA A ESCALA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS DE AIREACION PROLONGADA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO DE RELLENO SANITARIO MUNICIPAL DILUIDO CON AGUA RESIDUAL.**

La presente tesis de investigación buscó ampliar los conocimientos en el tratamiento de los lixiviados comparando en un sistema de tratamiento utilizando la tecnología de lodos activados. Se usó dos reactores de lodos activados con aireación prolongada, el primer reactor (R1) realizó el proceso de tratamiento del sustrato sin la recirculación del lodo proveniente de la zona de sedimentación, mientras que el segundo reactor (R2), realizó el tratamiento con una recirculación del lodo proveniente de la zona de sedimentación, con el objetivo de encontrar cuál de las dos alternativas planteadas resultaba más eficiente en el tratamiento de dicho sustrato al ir variando la concentración de la mezcla lixiviado y agua residual.

Los parámetros de diseño fueron establecidos para un caudal de 144 l/día y un tiempo de retención de 30 horas; asimismo, en ambos reactores se procedió a inocular lodo activo de manera ecuánime, a razón de 60 litros de lodo para cada reactor equivalente a 3664 mg/L de SST y de 3100 mg/L de SSV; obteniendo así, una eficiencia en remoción de la DBO5 carga orgánica del 85.04% con un 6% de dilución para el reactor R1 y un 84.50% con un 8% de dilución para el reactor R2. Con respecto a la DQO para el reactor R1 es técnicamente adaptable y posible el tratamiento de los lixiviados diluido con aguas residuales hasta un 3.0% en relación al volumen, alcanzando una eficiencia del 67.10% y para el reactor R2 hasta un 4.0% en relación al volumen, alcanzando una eficiencia del 70.80%

En el reactor N°1 las condiciones que cumplen con la normatividad son para una dilución del 3.0% en relación de volumen entre el lixiviado y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una DBO5 de 191.7 mg/L, una DQO de 587.0 mg/L, una relación de DBO5/DQO igual a 0.33, una carga orgánica de 0.028 KgDBO5/d. y 0.085 KgDQO/d. En el tanque de aireación para las condiciones indicadas se obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 710 mg/L y 514 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 72% de la IV presencia biológica en los SST del tanque de aireación, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 3.1 mg/L, el índice volumétrica de lodos funcionó en la dilución mencionada fue de 40.85 ml/gr, la carga másica-alimento/microorganismos se encontró en 0.29 KgDBO5/KgSSV.dia. y 0.89 KgDQO/KgSSV.dia. El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento se obtuvo una DBO5 de 22.55 mg/L con una remoción del 88.24% y una DQO de 193 mg/L con una remoción del 70.87% de la misma.

En el reactor R2 las condiciones que cumplen con la normatividad son para una dilución del 4.0% en relación de volumen entre el lixiviados y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una DBO5 de 206.36 mgD/L, una DQO de 592 mg/L, una relación de DBO5/DQO igual a 0.35, una carga orgánica de 0.030 KgDBO5/d. y 0.085 KgDQO/d. En el tanque de aireación para las condiciones indicadas se obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 2436 mg/L y 1956 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 80% de la presencia biológica en los SST del tanque de aireación, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 2.9 mg/L, el índice volumétrica de lodos funcionó en la dilución mencionada fue de 35.3 ml/gr, la carga másica-alimento/microorganismos se encontró en 0.08 KgDBO5/KgSSV.dia. Y 0.23 KgDQO/KgSSV.dia. El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento se obtuvo una DBO5 de 14.97 mg/L con una remoción del 92.75% y una DQO de 182 mg/L con una remoción del 69.26% de la misma. En base a los resultados obtenidos en la presente tesis podemos afirmar que el empleo de la tecnología de lodos activados de con aireación prolongada y recirculación de lodo proveniente del sedimentador secundario es una mejor alternativa que el mismo proceso sin recirculación. Asimismo esta tecnología se puede emplear para una dilución de lixiviado (con una DBO5 de 2500 mg/L y DOQ de 13500 mg/L) y agua residual hasta en un 4% (v/v). Al recircular el lodo del sedimentador secundario ayuda a mantener la cantidad y calidad de sólidos suspendidos volátiles en el reactor R2, y una gran ventaja en la adaptación de la biomasa a los eventuales cambios de la carga orgánica (DAVILA, 2013).

## CONCLUSIONES

- La aireación es una metodología que beneficia la eficiente purificación del agua, debido al contacto que genera entre moléculas para beneficio de los microorganismos aeróbicos que interactúan para hacer la descomposición de la materia, alternativas tan atractivas basadas en el uso de paneles solares, facilita y reduce gastos en la implementación de tecnologías.
- Por su versatilidad y fácil transporte, estas herramientas pueden ser trabajadas in situ, lo cual puede beneficiar a lugares que no cuenten con plantas de tratamiento, pero ello llevaría a realizar estudios que esta incorporación puedan traer sobre el ecosistema de la zona.
- El equipo ECO AERATION en su modelo SB, es el aireador mecánico, con mejor rendimiento, eficiencia, segura y económica, Diseñado para aplicaciones de aguas residuales y de agua dulce. Posee en su sistema, paneles solares y una batería, que le permite no depender de consumo eléctrico así como tener una operación 24/7/365 en condiciones adversas, debido a su construcción robusta en acero inoxidable, el tamaño del panel solar posee capacidad de 130 watt, y ayuda a reducir el crecimiento de algas, olor, lodos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARDILA, Martha. Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento para la potabilización de agua del municipio de Lebrija-Santander, 2011, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.
- BLANCO, Katherine. LEÓN, David. Diseño hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Guacamayas, 2010, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.
- BURBANO, L. SANCHEZ, L.D. Remoción de hierro y manganeso por oxidación-filtración para agua potable, seminario internacional: visión integral en el mejoramiento de la calidad del agua, instituto cinara, universidad del valle, grupo abastecimiento de agua, 2005, disponible en: [http://objetos.univalle.edu.co/files/Remocion\\_de\\_hierro\\_y\\_manganeso\\_por\\_oxidacion.pdf](http://objetos.univalle.edu.co/files/Remocion_de_hierro_y_manganeso_por_oxidacion.pdf).
- CALDERÓN, Rodrigo. FORERO, Sandra del Pilar. SUAREZ, Aide. Implementación de un diseño piloto de bandejas de aireación para aguas, potencializado con microorganismos eficientes, 2012, revista científica / issn 0124 2253/ julio- diciembre de 2012 / no. 16 / Bogotá, D.C.
- CARRASQUERO, José. RINCÓN, Nancy. PIRE, María. DÍAZ, Rosa. Monitoreo de la remoción biológica de nitrógeno en efluentes de tenerías usando un reactor por carga secuencial, 2013, Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XV (número 2), abril-junio 2014: 287-298.
- CHAVARRO, Daniel. diseño de una planta de tratamiento de agua potable de 2 lts/s para una población de 750 habitantes, Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- CITME, tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Elecé Industria Gráfica, 2016, España.

- COLLI, José. aireación intermitente para remoción biológica de nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas residuales de una sola etapa, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2002, México.
- CROS, Jordi. OptimEDAR: Solución para la gestión optimizada de una EDAR reduciendo el consumo energético y la huella ambiental, y aumentado la productividad, Retema: Revista técnica de medio ambiente, ISSN 1130-9881, Año n° 27, N° 175, 2014, págs. 68-73.
- DAVILA, Julio. GRANDA, Feliz. Evaluación comparativa en una planta a escala piloto de lodos activados de aireación prolongada en el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario municipal diluido con agua residual. Universidad nacional de ingeniería. Lima-Perú, 2013.
- ESPINOSA, M.A. FALL, C. Optimización de la producción de lodos en un sistema de lodos activados a través de la calibración del modelo ASM1, 2013, Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVI (número 1), enero-marzo 2015: 93-104.
- GRUNDFOS, difusores, 2016, disponible en: [http://es.grundfos.com/bombas\\_grundfos/bombas\\_sistemas\\_bombeo/diffuser.html](http://es.grundfos.com/bombas_grundfos/bombas_sistemas_bombeo/diffuser.html)
- HERRERA, Braniza. Influencia de la aireación en el tratamiento biológico de borras de hidrocarburos, 2014 universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería ambiental. Lima, Perú.
- KNOCOLOMBIA, Planta de producción de agua potable tipo compacta modelo 6.5. 2014 disponible en: <http://knocolombia.com/administrador/recursos/agua/PTAP%206.pdf>.

- LIZARAZO, Jenny. ORJUELA, Martha. sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. 2013, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- LÓPEZ, D. DÍAZ, R. REBOLLO, J.J. RAMOS, T. ANDRÉS, F.R. BERGA, M.I. Aplicación del método SPH al estudio hidráulico de estructuras. Análisis hidrodinámico del aliviadero en pozo de la presa de Nagore (Navarra), 2016, . Publicado por Elsevier España, S.L.U.
- LOZANO-RIVAS, W.A. (2012). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- MERINO, Oscar. SAL, Facundo, Sistemas de recirculación y tratamiento de agua, Secretaria de agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC (Santa Ana-Corrientes), 2007, pág. 2-10, 24.
- NYFDECOLOMBIA, Plantas de tratamiento de aguas residuales, 2016, disponible en: <http://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-aguas-residuales>.
- OPS. OMS, Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo, 2009, disponible en: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>
- PROCESOSBIO, Aireación y transferencia de gases, 2016, disponible en: [https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/AIREACION\\_Y\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_GASES\\_1.pdf](https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/AIREACION_Y_TRANSFERENCIA_DE_GASES_1.pdf)
- RAS 2000, Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, sección II título E, tratamiento de aguas residuales, BOGOTA 2000.

- RWL Water, Equipos de aireación, 2016, disponible en: <https://www.rwlwater.com/?lang=es>.
- SALA, Ramón. HÉRNANDEZ, Francisc. MOLINOS, María. MOCHOLÍ, MANUEL. Estacionalidad en el proceso de depuración de aguas residuales: impacto sobre la eficiencia y los costes de operación. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Volumen 12. Páginas 21 a 31. 2011.
- VERA, Nancy. alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de México. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Instituto politécnico nacional. México D.F. 2007. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/ALTERNATPOTAB.pdf>
- XYLEM, WATER. Productos de aireación para un tratamiento biológico energéticamente eficiente, 2016, disponible en: [http://www.xylemwatersolutions.com/scs/argentina/es-ar/Documentos/Documents/Productos%20de%20aireaci%C3%B3n\\_sp\\_low.pdf](http://www.xylemwatersolutions.com/scs/argentina/es-ar/Documentos/Documents/Productos%20de%20aireaci%C3%B3n_sp_low.pdf).
- YABROUDI, Suher. ALMARZA, Juan. PEDRIQUE, Francisco. CÁRDENAS, Carmen. HERRERA, Lenin. Optimización del proceso de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera, INCI v.34 n.11 Caracas nov. 2009, disponible en: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009001100004](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001100004)