

Las llamadas zanjias de oxidación (58) (59) hoy de uso corriente para pequeñas instalaciones en Alemania, Holanda y Brasil, constituyen una variante simplificada del proceso de lodos activados. Se asemejan, sobretodo, a éstos, por no tener cascajos o cualquier otro substrato sólido para la fijación de los flocs, los cuales se encuentran dispersos en el medio en constante agitación producida por cepillos o palas rotativas. Entretanto, difieren del proceso anterior o por lo menos del modelo clásico, por no emplear lodo de retorno, así como por ser de aireación mecánica superficial, producida sobre los desagües brutos. Los procesos biológicos que se realizan son los mismos, así como los microorganismos que toman parte en el tratamiento del desague. Sin embargo, como hay deposición permanente de lodo en el fondo de las zanjias, habrá posiblemente, mayor actividad de los organismos en el fondo, tales como gusanos, larvas de insectos y otros que no presentan gran importancia en el proceso clásico de lodos activados. Instalaciones de este tipo, para el tratamiento de residuos orgánicos industriales se han empleado, con gran éxito, en el Estado de Sao Paulo, Brasil, mereciendo especial mención algunas destinadas al tratamiento de residuos del procesamiento de la yuca (*Manihot esculenta*) con un contenido de cerca de 100 mg por litro de ácido cianhídrico (60).

6.3.2.7. Aireación Bioquímica - Lagunas de Estabilización.

Desde el año de 1900 viene utilizándose, en ciudades europeas, específicamente en Estrasburgo (Francia), un sistema de tratamiento secundario de desagües, idealizado por Hofer, en que se procura imitar los procesos de estabilización natural que se realizan en los cursos de agua, gracias a la actividad biológica principalmente de microorganismos. Partiendo de la observación de que la purificación biológica en los ríos se realiza a costa de un abundante desarrollo de plantas y animales acuáticos y que ésta se observa más intensamente en los puntos del río donde es menor la velocidad de la corriente, Hofer supuso que lo mismo podría realizarse en tanques especialmente contruídos, conteniendo las mismas especies vegetales y animales capaces de consumir la materia orgánica del medio y restablecer el oxígeno disuelto. El sistema contruído en Estrasburgo (61) (62) presentaba las siguientes características: el desague se trataba primariamente en sedimentadores que lo clarificaban, retirando 63.4% del material sedimentable, el cual recibía tratamiento anaerobio. El efluente líquido, por otro lado, se lanzaba, a razón de 20 litros por segundo, a 4 tanques con dimensiones de 40 a 50 m de ancho por 100 a 150 m de largo, con profundidad de 0.30 m en las márgenes y 0.80 en el centro. Estos tanques recibían, además del desague clarificado, 60 litros por segundo de agua del río, que mezclada con el desague, llegaba a diluirlo. En estos tanques se colocaban, previamente, animales, tales como microcrustáceos, larvas de insectos, moluscos, etc., y vegetales, especialmente las formas fijas, enraizadas en el fondo. En el último de estos tanques, un poco más profundo que los anteriores

Tabla de Solubilidad del Oxígeno en el Agua

T°C	A dulce al nivel del mar	Agua Salada al Nivel del Mar						
		5000*	10000*	15000*	20000*	25000*	30000*	35000*
0	14,63	14,17	13,70	12,34	12,78	12,32	11,85	11,39
1	14,23	13,78	13,34	12,89	12,45	12,00	11,56	11,11
2	13,84	13,41	12,98	12,55	12,13	11,70	11,27	10,84
3	13,46	13,05	12,63	12,22	11,81	11,39	10,98	10,57
4	13,11	12,71	12,31	11,91	11,51	11,11	10,72	10,32
5	12,77	12,38	12,00	11,61	11,23	10,84	10,46	10,07
6	12,45	12,08	11,70	11,33	10,96	10,59	10,21	9,84
7	12,13	11,77	11,41	11,05	10,69	10,33	9,97	9,61
8	11,84	11,49	11,14	10,79	10,45	10,10	9,75	9,40
9	11,55	11,21	10,87	10,54	10,20	9,86	9,52	9,19
10	11,28	10,95	10,63	10,30	9,97	9,65	9,32	8,99
11	11,02	10,70	10,39	10,07	9,75	9,44	9,12	8,80
12	10,77	10,46	10,16	9,85	9,54	9,23	8,93	8,62
13	10,53	10,23	9,93	9,64	9,34	9,04	8,74	8,45
14	10,29	10,00	9,71	9,42	9,14	8,85	8,56	8,27
15	10,07	9,79	9,51	9,23	8,95	8,67	8,39	8,11
16	9,86	9,59	9,32	9,05	8,77	8,50	8,23	7,96
17	9,65	9,39	9,12	8,86	8,60	8,33	8,07	7,81
18	9,46	9,20	8,95	8,69	8,44	8,18	7,93	7,67
19	9,27	9,02	8,77	8,53	8,28	8,03	7,78	7,53
20	9,08	8,84	8,60	8,36	8,12	7,88	7,64	7,40
21	8,91	8,68	8,44	8,21	7,98	7,74	7,51	7,28
22	8,74	8,51	8,29	8,06	7,83	7,61	7,38	7,15
23	8,57	8,35	8,13	7,91	7,69	7,47	7,25	7,03
24	8,42	8,21	7,99	7,78	7,57	7,35	7,14	6,93
25	8,26	8,05	7,84	7,64	7,43	7,22	7,02	6,81
26	8,12	7,92	7,72	7,51	7,31	7,11	6,91	6,71
27	7,97	7,77	7,58	7,38	7,18	6,99	6,79	6,59
28	7,84	7,65	7,46	7,27	7,08	6,88	6,69	6,50
29	7,70	7,51	7,33	7,14	6,96	6,77	6,58	6,40
30	7,57	7,39	7,21	7,03	6,85	6,66	6,48	6,30
31	7,45	7,27	7,10	6,92	6,74	6,57	6,39	6,22
32	7,33	7,16	6,99	6,82	6,64	6,47	6,30	6,13
33	7,21	7,04	6,87	6,71	6,54	6,37	6,20	6,04
34	7,09	6,93	6,76	6,60	6,43	6,27	6,11	5,94
35	6,98	6,82	6,66	6,50	6,34	6,18	6,02	5,86

* salinidad en mg/l.

Valores calculados a partir de los últimos datos obtenidos en el laboratorio del Water Pollution Research Laboratory, Inglaterra, por Montgomery, Thom y Cockburn en 1964 (93). Valores por encima de 30°C se obtuvieron por extrapolación.

Factores de Corrección para
Saturación de Oxígeno en Diferentes Altitudes *

Altitud m	Presión mm	Factor
0	760	1.00
100	750	1.01
200	741	1.03
300	732	1.04
400	723	1.05
500	714	1.06
600	705	1.08
700	696	1.09
800	687	1.11
900	679	1.12
1000	671	1.13
1100	666	1.15
1200	655	1.16
1300	647	1.17
1400	639	1.19
1500	631	1.20
1600	623	1.22
1700	615	1.24
1800	608	1.25
1900	601	1.26
2000	594	1.28
2100	587	1.30
2200	580	1.31
2300	573	1.33
2400	566	1.34
2500	560	1.36

* según Mortimer, en Hutchinson
(41).

(hasta 1 m) se colocaron peces (especialmente carpas) en número de 700 inicialmente, los cuales se alimentaban de los microorganismos que allí se desarrollaban. Así, los nutrimentos introducidos con el desague eran finalmente, transformados en carne de pez, observándose que el peso medio de las carpas aumentó, efectivamente, de 329 gramos en promedio, a 1,500 gramos en el espacio de apenas siete meses.

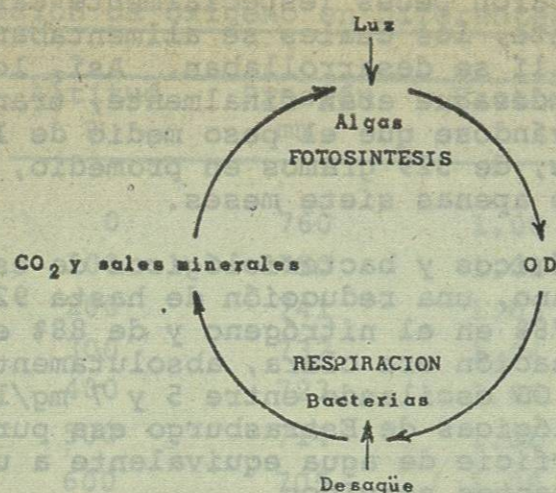
Los ensayos químicos y bacteriológicos de estos tanques acusaron, en el verano, una reducción de hasta 92.5% en el número de bacterias, 78% en el nitrógeno y de 88% en la demanda de oxígeno. La emanación era clara, absolutamente desprovista de olor y con un OD oscilando entre 5 y 7 mg/l. En las condiciones climatológicas de Estrasburgo esa purificación se obtuvo con una superficie de agua equivalente a una hectárea por cada 2,000 habitantes servidos.

En los Estados Unidos, más recientemente, se observó que los desagües lanzados a lagunas naturales o artificiales, con aguas paradas o tiempo de retención relativamente largo, sufrían un proceso de autopurificación, a través de una oxidación biológica, en la cual toman parte principalmente organismos microscópicos. Estudios más profundos, realizados principalmente a partir de 1950, demuestran que, entre estos microorganismos, los que toman parte más activa en el proceso de purificación son las bacterias, descomponiendo la materia orgánica, tal como lo hacen los cursos de agua en la autopurificación o en las cámaras de lodos activados, y las algas como elemento abastecedor de oxígeno indispensable para la respiración aerobia. Se trata, pues, de un proceso de estabilización semejante a los demás en que, el oxígeno se proporciona por vía bioquímica, como resultado de la reacción de la fotosíntesis, en lugar de ser insuflado por procesos mecánicos u obtenido por simple contacto con el aire atmosférico. Probablemente el mismo mecanismo se realiza en el sistema Hofer, predominando, también, en aquellos tanques, la actividad bacteriana y la oxigenación por medio de las algas, representando los demás organismos, como crustáceos, moluscos, e insectos, entre los heterótrofos, y las plantas enraizadas entre los autótrofos, apenas un papel secundario.

El mecanismo de estabilización consiste, pues, en lo siguiente:

1. Las bacterias aerobias, utilizando sus enzimas y procesos oxidativos en gran escala, actúan sobre la materia orgánica, descomponiéndola en moléculas más simples y más estables, liberando nutrimentos para las algas, tales como anhídrido carbónico y sales minerales.

2. Las algas utilizan los nutrimentos y, a través de la fotosíntesis, liberan oxígeno que ayuda a mantener las condiciones aerobias.



En esas lagunas, denominadas lagunas de oxidación o lagunas de estabilización, se procura, al contrario de los tanques de Estrasburgo, remover o impedir el crecimiento de plantas enraizadas así como de algunos animales macroscópicos, como las larvas de insectos, que pueden presentar más inconvenientes que ventajas, debido a la insignificancia de su capacidad purificadora comparada con la de los microorganismos que proliferan en números astronómicos, en ese rico medio.

El desagüe sufre, por regla, un tratamiento primario que separa la mayor parte de los sólidos en suspensión, los cuales serán tratados por proceso anaerobio, ya sea en digestores comunes, o aún, en una laguna anaerobia, como generalmente se realiza en los sistemas australianos de lagunas de oxidación. La parte líquida, clarificada es, a su vez, lanzada a lagunas con capacidad suficiente para permitir un tiempo de detención óptimo para la oxidación biológica aerobia. En estas lagunas proliferan un gran número de bacterias aerobias, además de varias especies de algas verdes, verdeazuladas, cloroflagelados y, eventualmente, diatomeas. Existen varias modalidades de sistemas, principalmente con respecto al número de lagunas, a la existencia de una fase anaerobia seguida de fase aerobia en dos lagunas distintas o, aún, en la misma laguna en diferentes estaciones del año, dependiendo del clima local. Entretanto, el principio de funcionamiento es el mismo en todas ellas y en todas se reconocen los mismos factores que interfieren en la eficiencia del proceso. Apenas, del punto de vista hidrobiológico, conviene considerar separadamente el sistema clásico norteamericano, del sistema australiano, ya que en este último, existe una fase de tratamiento anaerobio realizado también en lagunas que reciben el desagüe bruto total, mientras que en el primero hay una fase de sedimentación y clarificación que no hace parte, propiamente, del sistema de lagunas pero que obedece al proceso convencional. En el Brasil, en lugares donde las condiciones de luminosidad son excepcionalmente buenas, durante todo el año, se procede, algunas veces, al lanzamiento del desagüe bruto, sin clarificación previa, a una única laguna, consiguiéndose mantener condiciones aerobias durante todo el año. La separación en lagunas anaerobias y aerobias, no obstante, tiene como resultado una economía de espacio.

6.3.2.7.1. Sistema Americano.

En el sistema más utilizado por los norteamericanos, el desagüe, después de clarificado, es lanzado en lagunas poco profundas donde se procura mantener, por lo menos en la mayor parte del tiempo, condiciones de aerobiosis. Entretanto, especialmente en las regiones donde el invierno es más riguroso sobretodo habiendo formación de capa de hielo en la superficie, el ambiente se torna anaerobio por espacios variables de tiempo, acumulándose, entonces, lodo orgánico, en descomposición anaerobia muy lenta. Los factores que ayudan al buen funcionamiento de una laguna aerobia son aquellos factores que mejor favorecen al desarrollo y a la actividad metabólica de bacterias y algas, así como al rendimiento fotosintético de estas últimas. Son, pues, directamente, la luz, la temperatura y el suministro de nutrimentos e, indirectamente, todos aquellos que se relacionan con la producción o la limitación de los mismos, tales como: profundidad de la laguna, turbiedad, área expuesta a la luz, intensidad luminosa, carga de desagüe, etc. De estos factores, algunos pueden ser controlados por el técnico, ya sea por medio de precauciones en la operación, o ya sea a través de cuidados en la ejecución del proyecto del sistema: tamaño, forma, área y profundidad de la laguna, ubicación de los tubos de entrada y salida, composición del terreno, selección del lugar, carga de DBO y método de operación. Otros, no obstante, no se encuentran sujetos al control del hombre, tales como: luz, temperatura, vientos y demás factores climatológicos (63). El estudio de estos factores, que se hace a continuación, servirá no sólo para lagunas del sistema americano sino también para las lagunas aerobias que constituyen la segunda fase del sistema australiano.

1. Bacterias y Algas.

Se observa, en las lagunas donde son lanzados los desechos clarificados, la aparición de gran número de bacterias de vida libre, aerobias, de varios tipos. Además de esto, el agua, en la laguna, adquiere en poco tiempo una turbidez verdosa, causada por la presencia de algas microscópicas que allí se encuentran en número de centenas de millares de células por centímetro cúbico. En general, junto a la entrada, predominan géneros de cloroflagelados, tales como *Euglena*, *Pyrobotrys*, *Chlamydomonas*, *Lepocinclis*, *Phacus*, mientras que en las regiones donde ya se encuentra desterrada la mayor parte de la materia orgánica, pasan a dominar algas verdes como: *Chlorella*, *Chlorococcum*, (las cuales pueden encontrarse, en algunas épocas, predominando en las orillas de la laguna), *Micractinium*, *Ankistrodesmus*, *Golenkinia*, *Scenedesmus*, *Actinastrum*; algunas formas filamentosas, como *Stigeoclonium*; algas verdeazuladas, como *Microcystis*; cloroflagelados como *Pandorina*, *Gonium*, etc. Las algas verdeazuladas, aunque poco citadas en la mayor parte de las lagunas de estabilización de los Estados Unidos, pueden llegar a alcanzar números elevados, como sucede con *Microcystis*, en número superior a un millón de células por centímetro cúbico a 30 cm de profundidad; en lagunas del Estado de Sao Paulo, Brasil, producen, al descomponerse, fuerte olor a