

Sistemas de Aireación Difusa tubular

breves pautas de selección

ENUNCIADO DEL PROBLEMA ILUSTRATIVO: seleccionar un sistema de difusores tubulares para integrar el tren de tratamiento de una planta municipal, siendo el proceso parcialmente caracterizable de la siguiente manera:

Caudal a tratar: 1.43 mgd. (ca. 225.5 M3/h)

BOD5: 300 mg/L.

TKN: 70 mg/L.

La firma consultora a propuesto la utilización de 4 tanques de 25m x 14.2m con profundidad tentativa cercana a los 5 metros. Se desea dimensionar la instalación de manera de poder procesar/reducir, digamos totalmente, el nivel de las dos magnitudes presentes.

NOTA IMPORTANTE: Al sólo efecto de ilustrar el proceso de selección de difusores tubulares, esta presentación ha sido enmarcada en un contexto de aplicación grandemente simplificado, en cuanto a condiciones de tratabilidad, cálculos finales, criterios de diseño/pautas, y que estará sintetizado por las especificaciones de las firmas consultoras intervinientes.

ESQUEMA TENTATIVO: Para posibilitar cotejar los resultados que se van obteniendo con tablas existentes en la literatura clásica de la especialidad, se utilizarán unidades "inglesas".

Para estimar los requerimientos de oxígeno debemos primeramente calcular las libras diarias a eliminar de cada magnitud utilizando fórmulas "clásicas". Tendremos entonces para el BOD5:

mgd's * BOD5 * 8.33 = 1.43 * 300mg/L * 8.33 = 3574 lbs BOD/día y correspondiente a la nitrificación:

mgd's * TKN * 8.33 = 1.43 * 70mg/L * 8.33 = 834 lbs TKN/día

Podemos utilizar ahora las siguientes "recomendaciones simplificadas" de diseño:

1.6 lbs O2 por lb BOD5 a procesar

4.6 lbs O2 por lb TKN->

Sumando entonces el oxígeno necesario para ambos procesos:

$3574 * 1.6 + 834 * 4.6 = 5719 + 3837 = 9556$ lbs O2/día
 $9556 / 24 = 399$ lbs O2/hora = 6.637 lbs O2/minuto

Nos queda ahora tener una idea del caudal de aire que necesitaremos para llevar adelante nuestro diseño.

Replicaremos cálculos similares a los expuestos en Metcalf.595 para dos contextos de operación levemente distintos y que presentamos a continuación:

contenido de oxígeno en aire 23.2% 23.2%
eficiencia de transferencia 8% 12.65%
densidad de aire 0.075 lb./cu.ft 0.075 lb./cu.ft

Utilizando equipamiento contemporáneo del famoso texto académico:

$CFM's = 6.637 / (0.08 * 0.075 * 0.232) = 4768$ CFM = $4768 * 60 / 35.3145 = 8100$ m³/h

Utilizando equipamiento un poco más "sofisticado":

$CFM's = 6.637 / (0.1265 * 0.075 * 0.232) = 3016$ CFM = $3016 * 60 / 35.3145 = 5123$ m³/h

Recordemos que debemos tener en cuenta la pauta de EPA (0.12cfm/sq.ft) en cuanto a mixing i.e. mantener en suspensión las partículas en los tanques y evitar que se depositen allí. Al ser cuatro tanques:

$4 * 25 * 14.2 = 1420$ m² 1420 m² * $10.76 = 15280$ sq.ft.

-> 15280 sq.ft. x 0.12 cfm/sq.ft. = 1834 CFM $1834 * 60 / 35.3145 = 3116$ m³/h

De todas maneras, prima el valor de caudal de aire dado por los requerimientos de oxígeno. Sin embargo, vemos desde ya claramente como a partir de este momento, y aún a pesar de todas las simplificaciones voluntarias e involuntarias que hemos hecho para dilatar lo inexorable, empiezan a aparecer "diferencias" en las posibles propuestas bastante difíciles de conciliar entre sí. Si aún a esta pequeña digresión, introducimos variantes de diseño constructivo (e.g. mecánico) del difusor, en cuanto a mantener la eficiencia de transferencia con el paso de los años, la confección de la síntesis comparativa de las distintas "ofertas" puede volverse inmanejable.

Calculemos en ambos casos la potencia de los sopladores en las dos instalaciones. Siendo que la profundidad de los tanques rondará 5m ($5 * 3.28 = 16.4'$) podemos pensar que los difusores operen a una profundidad de 15' (ca. 4.57m), luego a efectos de dimensionamiento de los motores tendremos:

$15' = 15 * 2.9861$ KPa = $15 * 2.9861 / 6.8948$ psi = 6.5 psi

y tomando a través del tubo difusor

$4' = 4 * 2.9861$ KPa = $4 * 2.9861 / 6.8948$ psi = 1.8 psi

totalizando $6.5 + 1.8 = 8.3$ psi ("pressure loss")

Utilizando para el diseño 8.5 - 8.6 psi podemos llegar a la siguiente estimación:

$bhp = \frac{4768 \text{ CFM} * 8.5}{20 \text{ CFM/hp} * 7 \text{ psi}} = c. 290$ hp (BOD + nitrificación)

$bhp = \frac{3016 \text{ CFM} * 8.5}{20 \text{ CFM/hp} * 7 \text{ psi}} = c. 184$ hp (BOD + nitrificación)

Aunque todos estamos "diciendo la verdad", como cociente o diferencia, 100 hp son difíciles de disimular.

Como ejercicio final, reiteramos la lógica de cálculo suponiendo que el pliego sólo indicase el procesado del BOD5.

Utilizando la pauta mencionada más arriba:

1.6 lbs O2 por lb BOD a procesar

$3574 * 1.6 = 5719 = 5719$ lbs O2/día

$5719 / 24 = 239$ Lbs O2/hora = 3.972 Lbs O2/minuto

Con eficiencia de transferencia 8% llegaríamos a:

$CFM's 3.972 / (0.08 * 0.075 * 0.232) = 2854$ CFM = $2854 * 60 / 35.3145 = 4848$ m³/h

Con eficiencia de transferencia 12.65% llegaríamos a:

$CFM's 3.972 / (0.1265 * 0.075 * 0.232) = 1805$ CFM = $1805 * 60 / 35.3145 = 3066$ m³/h

Manteniendo todas las otras condiciones:

$$bhp = \frac{2854 \text{ CFM} * 8.5 \text{ psi}}{20 \text{ CFM/hp} * 7 \text{ psi}} = \text{c. } 174 \text{ hp (procesando sólo el BOD5)}$$

$$bhp = \frac{1805 \text{ CFM} * 8.5 \text{ psi}}{20 \text{ CFM/hp} * 7 \text{ psi}} = \text{c. } 110 \text{ hp (procesando sólo el BOD5)}$$

nota: comparando con los valores calculados en la parte anterior

$$174 \text{ hp} / 290 \text{ hp} = \text{c. } 60\% \quad 110 \text{ hp} / 184 \text{ hp} = \text{c. } 60\%$$

Otros cálculos/cocientes auxiliares de cierto interés en este caso pero fundamentales para el diseño:

COCIENTE F/M

Teniendo el volumen total de tanques:

$$V = 4 * 25' * 14.2' * 5' = 1420 \text{ m}^2 * 5' = 7100 \text{ m}^3 =$$

$$7:100000\text{L} = 7:100000 / 3.785 \text{ gallon} = 1875826$$

$$\text{gallon} = 1.876 \text{ mg}$$

y utilizando un valor de diseño de MLSS = 3,500 mg/L->

$$F/M = \frac{\text{mgd's} * \text{BOD5} * 8.33}{\text{design MLSS} * V * 8.33} = \frac{\text{mgd's BOD5}}{\text{design MLSS} * V}$$

$$F/M = \frac{1.43 * 300 * 8.33}{3500 * 1.876 * 8.33} = \frac{1.43 * 300}{3500 * 1.876} = 0.065$$

Una clasificación (Hammer.413) de procesos sugiere las siguientes cotas y valores medios:

"high rate" $0.5 < f/m < 1$	0.75
"convetional" $0.2 < f/m < 0.5$	0.35 (complete mix)
"extended" $0.05 < f/m < 0.2$	0.125

TIEMPO DE RETENCIÓN (H.R.T.)

$$h.r.t. (\text{hrs.}) = \text{VOLUMEN TANQUES} / \text{CAUDAL} = 24 * \text{mg/mgd}$$

$$24 * 1.876 \text{ millones de galones} / 1.43 = \text{ca. } 32 \text{ horas}$$

carga orgánica volumétrica (c.o.v.):

$$\text{volumen} = 7100 \text{ m}^3 = 7100 * 35.3145 \text{ CU.F.T.} = \text{ca. } 251 * 1000 \text{ cu.ft.} \rightarrow$$

$$c.o.v. = 3574 / 251 = \text{ca. } 14 \text{ lbsBOD day per } 1000 \text{ cu.ft.}$$

SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS DIFUSORES

Hemos calculado que necesitamos alrededor de 3016 CFM para lograr eliminar nuestro problema. No hemos hecho ninguna afirmación sobre márgenes de seguridad. No es inusual utilizar factores de seguridad entre 1.3 y 1.5. Dejemos esto en manos del especialista interviniente y continuemos el desarrollo hacia la selección de los difusores. El razonamiento que sigue puede no aplicarse a otro tipo de difusor.

Sin elaborar las posibles razones, supongamos que la firma constructora ha inesperadamente construido 4 tanques de 50m x 7.1m en lugar de los originales 4 tanques de 25m x 14.2m propuestos, aunque afortunadamente con la profundidad cercana a los 5 metros. A pesar de la lamentable desinteligencia, los desarrollos numéricos preliminares siguen siendo "válidos" y podremos pensar en terminar los cálculos de nuestro proyecto antes de que se introduzcan más errores.

Nuevamente volvemos a las unidades "inglesas":

$$50\text{m} = 50 * 3.28 = 164'$$

$$7.1\text{m} = 7.1 * 3.28 = 23.3'$$

para la determinación de la cantidad de difusores deberemos contraponer:

a. pautas de utilización, i.e. caudal de aire por metro lineal de difusor tubular, versus

LIDERAMOS CON EL EJEMPLO

GRACIAS A LA LABOR DE NUESTRA GENTE OBTUVIMOS LA ACREDITACION INTERNACIONAL DE

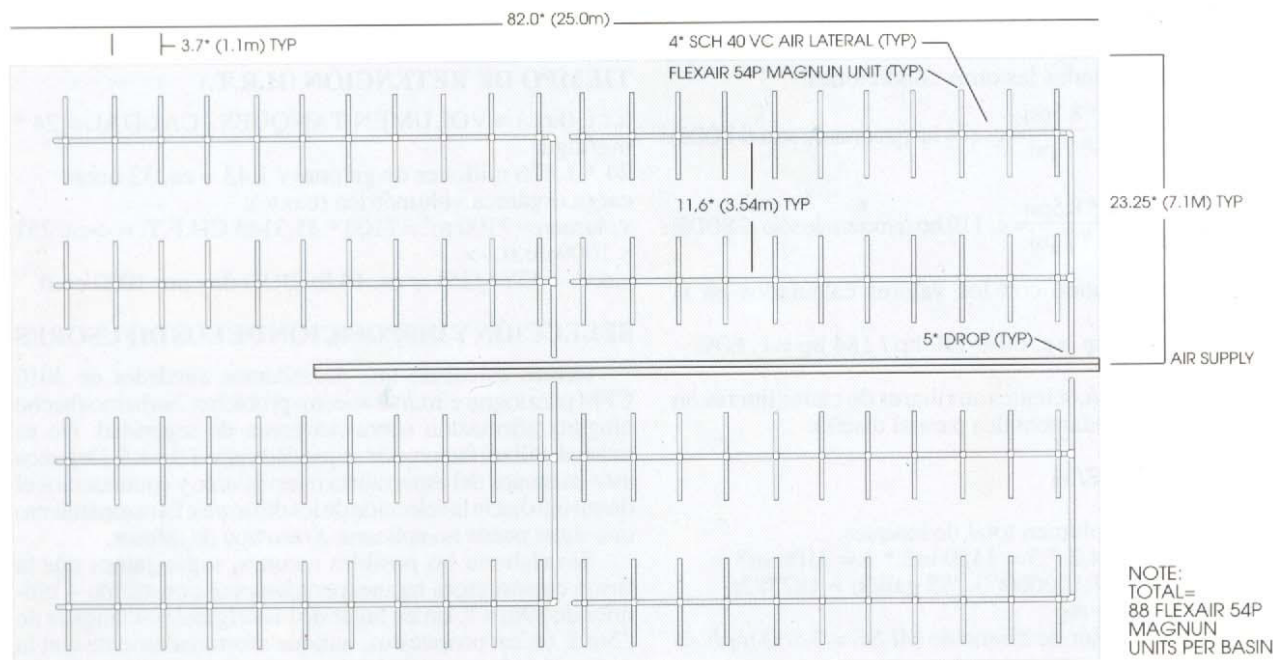


UKAS - REINO UNIDO

Organismo de
Acreditación
del Reino Unido

ESTO SE ENMARCA DENTRO DE NUESTRA VISION DE SEGUIR LIDERANDO
UN PROCESO DE MEJORA CONTINUA
PARA BENEFICIO Y SATISFACCION DE NUESTROS CLIENTES
A ELLOS, NUESTRO AGRADECIMIENTO Y ORGULLO DE SER LOS PRIMEROS

LATU



COMPANIA TECNICO INDUSTRIAL S.R.L. - PROPOSED EDI FLEXAIR AERATION - MIXING SYSTEM
DATE: 1-23-96 SCALE: NTS A-5128

b. la geometría disponible y espaciamento recomendado.
a. Tenemos 4 tanques, luego cada tanque deberá recibir 3016/4 = ca. 754 CFMs

Asignando 8 CFM por metro de difusor tubular:
754/8 = ca. 95 metros de difusor tubular por tanque al ser 4 tanques:
95*4 = 380m de difusor tubular
o bien 380 difusores tubulares de 1-m si utilizamos "duplex assemblies" (cada duplex assembly tiene 2 difusores tubulares de 1m cada uno) necesitaríamos entonces 190 duplex assemblies.

b. Cada tanque digamos que lleve dos laterales de aire de largo 164' -> largo de laterales = 2*164' = 328' colocando los assemblies 5' (ca. 1.5m) entre sí:
328/5 = ca. 66 assemblies
si cada assembly tiene dos metros de tubo -> necesitaremos 66*2 = 132 tubos de 1-metro por tanque siendo cuatro tanques debemos totalizar 4*132 = 528 tubos de 1-metro en total o en el lenguaje anterior, 264 duplex assemblies
c. combinando los resultados de la parte a. y la parte b. 190 duplex vs. 264 duplex -> tomando el valor mayor para conciliar todas las restricciones ->

Selección: 264 duplex assemblies espaciados 5' (ca. 1.50m) cada metro de difusor tubular estará funcionando a 3016/528 = 5.7 SCFM = ca. 6 SCFM

El esquema gráfico A-8128, adjunto como ilustración final, muestra una configuración alternativa para este mismo proyecto en la que se ha decidido acomodar, hipotéticamente, todo el sistema de difusión calculado, en sólo tres tanques de 25m x 14.2m. Verificación: 3 tanques *88 assemblies *2m = 528m.

NOTA FINAL Y RECONOCIMIENTOS

La confección de esta guía introductoria ha sido lograda en gran medida gracias a la contribución técnica del Ing. Charles Tharp, de Environmental Dynamics, Missouri, y la autorización de Compañía Técnico Industrial S.R.L. de permitir utilizar y compartir información de relevancia de un proyecto municipal concreto.

El responsable de área debe consultar las innumerables publicaciones especializadas y monografías específicas

tanto en referencia a tipo de industria, e.g. láctea, frigorífico, como tipo de proceso de tratamiento seleccionado: convencional, intensivo, extendido. Estas notas, suerte de borrador compartido, han sido preparadas simplemente como una guía orientativa en la tarea de facilitar la cuantificación de un diseño preliminar frente a una situación concreta, en este caso municipal. Es importante el acceso a manuales de ingeniería de las compañías proveedoras.

Habiendo sido el objeto de este escrito simplemente delinear una lógica de selección para una aplicación "popular", debe remarcarse el fundamental rol director del CONSULTOR, en particular para las aplicaciones industriales, en tanto determinante final del éxito de la instalación.

BIOGRAFÍA BÁSICA

1. "Wastewater Engineering" (3rd ed.), Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, 1991.
2. "Water and Wastewater Technology", (2nd. ed.), Hammer M., Prentice-Hall, 1986.
3. "Industrial and Hazardous Waste Treatment", Nemerow & Dasgupta, Van Nostrand Reinhold, 1991.
4. "O&M of Trickling Filters, RBCs, and Related Processes", WPCF, 1988.
5. "Anaerobic Treatment of Industrial Wastewaters", ed. Michael F. Torpy, Argonne National Laboratory for the U.S. Department of Energy, August 1987.
6. "The NALCO Water Handbook", (2nd. ed.) Kemmer, Frank (ed.) McGraw-Hill, 1988.
7. "Environmental Systems and Engineering", Carberry, J.B., Saunders Publishing Co., 1988.
- 8a. "Random Packing and Packed Towers", Strigle, R.E., Gulf Publishing Co., 1988.
- 8b. "Packed Tower Design and Applications, 2nd. ed.", Strigle, R.E., Gulf Publishing Co., 1994.
9. "Design of Municipal Wastewater Plants", WEF (2 vol.), 1991.
10. "Water and Waste Treatment Data Book", U.S. Filter/Permutit, 18th printing, 1993.
11. "Anaerobic Digestion 1988", Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion, Bologna, Italy, 1988.
12. "Industrial Wastewater Treatment Digest", Water Environment Federation, 1992.
13. "Pretreatment of Industrial Wastes", Manual of Practice FD-3.
14. PROBE
Basic Maintenance of Diffused Aeration Systems
Basic Activated Sludge Process Control
Basic Maintenance of Diffused Aeration Systems
Basic Maintenance of Mechanical Aeration Systems
Basic Maintenance of Rectangular Secondary Clarifiers
Basic Maintenance of Circular Secondary Clarifiers

Software auxiliar

1. "Interactive Computer Training for Wastewater and Water Treatment Plant Operators", version 2.0, 1994 WEF.
2. "Tower Internals Guide Program", Norton Chemical Process, 1994.
3. Cualquier planilla de cálculo o lenguaje de fácil acceso.