

24/1/84



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

AERADORES PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

MARISELA CERVANTES ARENAS

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

AERADORES PARA TRATAMIENTO DE EFUENTES LIQUIDOS

INDICE

CAPITULO I	ANTECEDENTES	1
CAPITULO II	DESCRIPCION DEL EQUIPO	4
	2.1 AERACION DIFUSA	4
	2.2 AERACION MECANICA	10
CAPITULO III	CRITERIOS DE DISEÑO Y ECUACIONES DE DISEÑO	19
	FUNCIONAMIENTO DE UNIDADES DE DIFUSION DE AIRE	41
	FUNCIONAMIENTO DE UNIDADES DE AERACION DE TURBINA INMERSA	49
	FUNCIONAMIENTO DE UNIDADES DE AERACION DE SUPERFICIE	62
	APENDICE: FIGURAS, TABLAS y GRAFICAS	71
CAPITULO IV	CONCLUSIONES	94
CAPITULO V	BIBLIOGRAFIA	96

CAPITULO I

ANTECEDENTES

El término AERACION es aplicado a los procesos en los cuales el agua es puesta en contacto íntimo con el aire para cambiar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en el agua.

La aeración es un fenómeno físico en el cual las moléculas de gas son intercambiadas entre un líquido y un gas en una interfase gas-líquido. Este intercambio es debido a que las sustancias que se encuentran en el agua están en cantidades menores que o en exceso de sus valores de saturación. Este fenómeno puede estar acompañado por acción biológica, bioquímica, biofísica o química.

Desde el Siglo XVIII, la aeración artificial fue empleada para corregir las deficiencias de oxígeno del agua destilada y del agua de lluvia que se almacenaba en cisternas domésticas; hacia fines del mismo Siglo y principios del XIX, la aeración fue aplicada a los suministros de agua pública llevando materia animal o vegetal en descomposición. En la última mitad del Siglo XIX la aeración se convierte en una notable forma de suministro municipal. No obstante el número de aplicaciones fue pequeño y se empleó principalmente para agua almacenada con olor y sabor desagradables debido al crecimiento de algas.

En esta época la aeración fue aplicada generalmente en aguas de pozo, para la eliminación de fierro, manganeso y gases mal olientes, de agua de origen sulfuroso.

En la actualidad la aereación ocupa un lugar significativo en el manejo de calidad de agua y es un factor importante en la purificación de agua contaminada.

Los principales objetivos de la aereación son usualmente agregar sustancias volátiles o gases al agua, eliminarlos o llevar a cabo ambos objetivos simultáneamente. En el proceso biológico, la función de los aeradores es transferir el oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica y proporcionar suficiente mezclado para mantener una dispersión uniforme de oxígeno en el tanque y mantener los sólidos biológicos en suspensión en las albercas aeróbicas y en el proceso de lodo activado.

La aereación además de mezclar en el proceso biológico - tiene las siguientes funciones:

- a) Adición de oxígeno en el agua residual
- b) Eliminación de aceites volátiles, olor y sabor producto de sustancias producidas por algas y otros microorganismos.
- c) Adición de oxígeno en aguas subterráneas para oxidar hierro y manganeso disueltos.
- d) Eliminación de sulfuros de hidrógeno, cloros y sabores disminución de corrosión de metales y deterioro de concreto y cemento.
- e) Eliminación de metano
- f) Eliminación de bioxido de carbono y reducir la corrosión e interferencia con el suavizador cal-sosa.

En esta tesis solo se enfocaran los primeros objetivos de la aereación que son:

- 1) Adición de oxígeno en el tratamiento de agua residual.

2) Eliminación de aceites volátiles, olor y sabor producido de sustancias producidas por algas y otros microorganismos.

La aereación tiene gran importancia en el tratamiento biológico de aguas residuales ya que provoca que el lodo activado se encuentre en estado de mezcla completa evitando que este se sedimente. En el proceso, mientras la materia orgánica es oxidada se va reduciendo la Demanda Biológica de Oxígeno (BOD) requerido para la reacción bioquímica aeróbica de materia orgánica biodegradable en el agua residual.

Como se puede apreciar la aereación es usada para el mejoramiento de las características físicas y químicas del agua ya sea de uso comercial, industrial o doméstico.

CAPITULO II

DESCRIPCION DE EQUIPO

2.1 AERACION DIFUSA

En la aereación difusa las burbujas de aire se forman en un orificio del cual emergen y se elevan a través del líquido abriéndose finalmente en la superficie del mismo. La transferencia de oxígeno se efectúa conforme las burbujas emergen - del orificio hasta abrirse en la superficie del líquido esparciendo una capa saturada de oxígeno.

Dentro de este tipo de Aereación existen tres (3) métodos básicos comercialmente útiles.

- Unidades Difusoras de Orificio Pequeño
- Unidades Difusoras de Orificio Grande
- Unidades de Boquilla

UNIDADES DIFUSORAS DE ORIFICIO PEQUEÑO

Las unidades difusoras de orificio pequeño, como medio poroso, placas o tubos son construidos de dióxido de sílice (SiO_2) o fibras de óxido de aluminio (Al_2O_3) retenidos en una masa porosa con una capa interna de cerámica. Otras unidades incluyen tubos recubiertos de SARAN, DACRON o NYLON.

Estas unidades pueden ser colocadas permanentemente en el fondo del tanque de aereación o suspendidos con uniones flexibles a lo largo de la pared del tanque.

Cuando el aire es difundido por estas unidades un movimiento helicoidal es impartido a la mezcla que se está tratando.

Las burbujas pequeñas tienen una gran área superficial -- por unidad de volumen, proporcionando así un buen contacto -- oxígeno-líquido, dominando valores relativamente elevados de eficiencia de transferencia de oxígeno.

Para las placas de carburo de silicio el diámetro de las burbujas de aire varía de 0.2 cm. - 0.43 cm. dentro de un rango de permeabilidad de 40 - 120. El diámetro promedio de la burbuja varía de 2.0 - 2.5 mm. dentro de un rango de permeabilidad de 10 - 30. Estas unidades son diseñadas para entregar de 4 - 15 ft³ std./min. de aire por unidad.

Para tener velocidades circulantes adecuadas es necesario mantener un flujo mínimo de aire de 3 ft³/min por ft. lineal de tanque.

El espaciamiento mínimo de las unidades es de 6 in. y el espaciamiento máximo de 2 ft. Las placas difusoras son colocadas a lo largo de uno de los lados del fondo del tanque de -- aeración y son diseñadas para cubrir del 5 al 10 % del área del tanque. Los difusores colocados de 8 - 16 ft. de profundidad alcanzan un balance óptimo entre la transferencia de -- oxígeno y el mezclado.

Estas unidades están sujetas a obstrucción externa por materia no disuelta en la solución del tanque e internamente por partículas de materia en el aire suministrado.

La concentración máxima de materia en el suministro de -- aire es de 0.1mg/1000 ft³.

La velocidad de obstrucción y la contra presión se incrementa con el aumento de la humedad relativa. La obstrucción externa es consecuencia de la oxidación de fierro al incrustarse en la tubería del aire y la depositación de sólidos orgánicos o barro cuando el suministro de aire es cerrado. Las concentraciones elevadas de carbonato de calcio o arena fina de 100 μ ó mas pequeñas aumentarán también la velocidad de obstrucción.

Como se puede apreciar las unidades difusoras de orificio pequeño tienen la desventaja del elevado costo de mantenimiento debido a la obstrucción del orificio. Los filtros de aire son usados frecuentemente para limpiar y eliminar las partículas de polvo que pudieran obstruir el orificio.

Estas unidades tienen una adsorción de oxígeno de 8 - 15 por ciento y una eficiencia de transferencia de 2.0 - 3.5 lb. O₂/ hp-hr.

La Figura 2.1A del Apéndice nos muestra este tipo de aereadores.

UNIDADES DIFUSORAS DE ORIFICIO GRANDE

Estas unidades usan orificios grandes o unidades de tijeras hidráulicas. Dentro de este tipo de difusores se encuentran:

- Sparjer el cual tiene cuatro tubos cortos con orificios colocados a 90° del centro de los cuales el aire es emitido a elevadas velocidades. La turbulencia del tanque tiende a redividir las burbujas grandes en pequeñas.

- Difusor de Disco, emite aire del derredor de la periferia de un disco.

Las unidades difusoras de burbuja grande tienen menor eficiencia de transferencia de oxígeno, que las de burbuja pequeña debido a que el área interfacial para transferencia de oxígeno es considerablemente menor. La adsorción en estas unidades se encuentran en el rango de 4 - 8% y la eficiencia de transferencia es del orden de 1 - 2 lb. O₂/ hp-hr. Tienen un amplio rango de gasto de aire, su rendimiento puede ser de -- 25 CFM por difusor. Los orificios de 1/8 - 3/8 in. de diámetro permiten elevados gastos de flujo de aire con una pérdida mínima de presión.

Sin embargo estas unidades tienen la ventaja de no requerir filtros de aire y generalmente requieren menor mantenimiento debido a que resisten la obstrucción.

La Figura 2.2A del Apéndice muestra este tipo de aereadores.

UNIDADES DE BOQUILLA

Este tipo de difusor emplea una corriente de agua para elevar aire del tanque de aereación como un instrumento constante de burbujas de aire descargando de un orificio grande. Las variables de control en esta unidad son: el flujo de solución, el flujo de aire y la localización de la boquilla de agua relativa al orificio del aire. En estas unidades son eliminados los filtros de aire.

Este aereador es instalado en cabezales mayores de 40 ft de longitud con tubos de choque y boquillas de agua montadas en los cabezales de aire y agua de 15 - 24 in. del centro.

Cada unidad es diseñada para difundir de 4 - 16 ft³/min. de aire con un flujo de solución de 15 - 20 gal / min. El tamaño de la burbuja puesta en libertad depende de la cantidad de flujo de la solución liberada por la bomba de aire circulante.

El aereador bombea el líquido de los tanques de aereación, por una tubería múltiple la unidad aspira y dispersa el aire atmosférico o aire del ventilador dentro de la capacidad de su eyector. El líquido circula a una presión de 25-30 --- lb/in².

El gasto de oxígeno disuelto suministrado es una función de la velocidad de la corriente de la boquilla, como lo es -- también el volumen del aire aspirado. El oxígeno transferido es de 0.65 - 1.0 lb. O₂/hr. a volúmenes de líquido de 34 - 44 gal/min.

OTROS TIPOS DE EQUIPO DE DIFUSION

- Difusor de Tijeras Hidráulicas. Es una caja dentro de la cual el aire es descargado por una tubería abierta. La mezcla de aire-agua ascendente y el flujo de agua descendente -- crean turbulencia y esfuerzo cortante hidráulico, lo cual rompe las burbujas grandes en pequeñas.

- Difusor Vénturi. En este tipo de difusor la mezcla -- aire-agua fluye dentro de una sección venturi, de la cual es descargada al tanque de aeración. La mayor parte de la energía en esta unidad es consumida en la aceleración del agua -- por la sección venturi.

- Mezcladores Estáticos. Consisten de un número de elementos cortos ranurados y deflectores izquierdos y derechos. Estas unidades son alternadas y orientadas de manera que cada una de ellas guía el extremo delantero formando un ángulo de 90° con el extremo final del deflector precedente. El montaje total es encerrado en un bastidor tubular. Este tipo de -- difusor es colocado verticalmente cerca de una entrada de aire. Pequeñas burbujas de aire son generadas y se produce una mezcla -- intenso con el agua de entrada.

La combinación de unidades en grandes áreas de superficie y la intensa turbulencia resultante, generan excelente -- transferencia de oxígeno.

La Figura 2.3 A ilustra este tipo de unidades.

2.2 AERACION MECANICA

En los últimos años se ha visto el rápido desarrollo de las instalaciones de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales utilizando equipo de aereación mecánico. Este tipo de aeradores han obtenido una gran reputación por descargar oxígeno eficientemente y al mismo tiempo proporciona el mezclado necesario para mantener una apropiada suspensión de los sólidos biológicos, intermezclando los sólidos con el oxígeno enriqueciendo así el agua.

Los aeradores mecánicos usados hoy día se clasifican en:

- AERADORES DE SUPERFICIE
- AERADORES INMERSOS

AERADORES DE SUPERFICIE

La transferencia de oxígeno es lograda por alta turbulencia en la superficie y el rociado del líquido. Se efectúa la transferencia poniendo en contacto el agua con el aire, por lo que el agua es la fase principal o transportada. En este tipo de aeradores el mezclado se logra como consecuencia directa del movimiento de agua desde el fondo del tanque a la superficie.

Los aeradores de superficie son unidades que llevan el agua residual a la superficie en contacto con el aire, son montados flotando en la superficie de líquido. La transferencia de O_2 ocurre directamente al agua residual mientras esta

se rocía a través del aire. Adicionalmente la transferencia de oxígeno con el aire de entrada del impulsor y en el área alrededor del difusor del líquido rocíaado chocando con el volumen del líquido. Generalmente todos los tipos de aereadores de superficie proporcionan mayores eficiencias de transferencia de oxígeno, que los otros tipos de aereadores (difusores y aereadores mecánicos inmersos).

Estos aereadores son montados en plataformas, tienen una eficiencia de transferencia de oxígeno de 3 - 4 lb. O_2 / hp-hr en condiciones estándar y son capaces de mezclar el contenido de albercas con una profundidad hasta de 15 ft.. Su costo inicial es pequeño y tanto su instalación como operación son sencillas. Sin embargo tienen una desventaja, en los climas fríos los sistemas se congelan.

Dentro de estas unidades de aereación tenemos:

- TURBINA
- PROPULSOR
- ROTOR DE ESCOBILLAS
- UNIDADES DE DISCO

El problema de congelación consiste en que a bajas temperaturas, el ciclo de vida de la materia orgánica (microorganismos) se reduce, se inhibe la capacidad de oxidación debido a la degradación biológica aeróbica de la materia orgánica y por lo tanto la eficiencia de transferencia de oxígeno en unos casos es pequeña y en otros es nula .

AERADOR DE TURBINA

Puede ser clasificado como cualquier placa o tipo de corriente ascendente. La placa del aerador crea una acción bombante periférica que rocía líquido a través de la superficie de agua.

La transferencia de oxígeno es efectuada por el arrastre de aire. El aerador de tipo de corriente ascendente aspira grandes cantidades de agua de abajo de la superficie, sube por un tubo y descarga en la superficie por un impulsor centrífugo. Los aeradores de turbina tienen diámetros de 3 - 12 ft. y potencias de 3 - 150 hp. dependiendo del nivel del líquido. Las velocidades son relativamente bajas 30 - 60 rpm. Son montados en plataformas fijas.

PROPULSOR

Este tipo de aerador es diseñado para flotar. Consiste en un propulsor tipo marino manejado directamente por un motor de alta velocidad, un tubo de flujo y un flotador forrado de fibra de vidrio o acero inoxidable. Estos aeradores al igual que los de turbina extraen agua de abajo de la superficie y la forzan a salir por medio de una descarga abierta.

ROTOR DE ESCOBILLAS

Utilizan una escobilla rotatoria de acero que rocía líquido de las aspas rotatorias hasta dentro del aire. La mezcla es lograda por una velocidad inducida debajo del elemento rota

torio. Este equipo es generalmente usado en fosas de oxidación o en tanques de oxidación con profundidades de líquido menor de 6 ft. La inmersión de las aspas y la velocidad de rotación son variables que afectan la eficiencia de transferencia de oxígeno.

UNIDADES DE DISCO

Consisten de un gran número de discos de plástico de gran diámetro rotando lentamente y operan inmersos a la mitad o menos. Los discos de áreas de superficie grandes promueven gran cantidad de microorganismos en los tanques de aereación. El fango de microorganismos adherentes a la superficie del disco, expuesto alternativamente al líquido y al aire, suministra oxígeno por metabolismo. Rociando el líquido en el aire creando un efecto de aereación secundaria.

Los aereadores mecánicos de superficie son mostrados en las figuras 2.4A, 2.5A y 2.6A del Apéndice.

AERADORES INMERSOS

En este tipo de aeradores el aire comprimido u oxígeno es introducido cerca del fondo del tanque de aereación. La transferencia de oxígeno y el mezclado del líquido es logrado mientras las burbujas de aire y oxígeno se elevan a la superficie. Existe eficiente mezclado de líquido y alta eficiencia de transferencia de oxígeno del orden de 1.0- 3.5 lb.O₂/hp-hr bajo condiciones standard. En los tanques profundos son claras las ventajas de este tipo de aeradores. Sin embargo tienen alto costo inicial y en algunos casos también altos costos de mantenimiento.

Dentro de este tipo de aeradores tenemos:

- AERADOR DE TURBINA INMERSA
- TURBINA DE HOCIO

AERADOR DE TURBINA INMERSO

Este tipo de aerador es ampliamente usado en tratamiento de aguas residuales. Los objetivos de diseño de un buen sistema de aereación de Turbina Inmersa son proporcionar acción mecánica y fluido para crear una distribución de burbujas finas y maximizar la retención del aire en el sistema.

La función mecánica es importante para conservar los coágulos activados en movimiento y nos proporciona una útil suspensión.

Uno de los arreglos mas comunes consiste en un impulsor

de flujo radial, arriba del cual se encuentra un anillo con orificio de rocío o una tubería abierta de aire. El aire elevado de la tubería es dispersado por el impulsor y distribuido en el líquido.

El balance entre el aire y el flujo del impulsor es importante ya que hay casos donde los gastos de aire son altos y el gas puede impedir la acción bombeante del impulsor provocando pérdidas de eficiencia de transferencia de oxígeno.

Son unidades fijas y tienen un rango intermedio de eficiencia. La eficiencia de una turbina de impulsor sencillo se encuentra en el rango de 1.5 - 2.0 lb.O₂/ hp-hr. Una turbina de doble impulsor tiene un rango de eficiencia de 2.5 - 3.0 lb.O₂/ hp-hr. Existen también problemas de congelación como en el tipo de aereadores de superficie.

TURBINA DE ROCIO

Es una combinación de aereador de turbina inmersa con un propulsor rotatorio y un anillo difusor estacionario para inyección de aire atmosférico. El aire elevado desde el anillo es dispersado por el impulsor a través del líquido. La transferencia de oxígeno ocurre primeramente alrededor del anillo y el impulsor, donde la acción cortante es aplicada a las burbujas de aire.

Los Aereadores Inmersos son mostrados en las Figuras: 2.7 A y 2.8 A del Apéndice.

TABLA COMPARATIVA DE SISTEMAS DE AERACION

SISTEMA	TRANSFERENCIA DE OXIGENO	SUSPENSION DE SOLIDOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
AERACION DIFUSA	La transferencia depende del tamaño de burbuja, mayor en difusores de burbuja fina que en difusores de burbuja grande.	El diseño del tanque requiere especial atención con el lugar crítico del difusor para buena suspensión. No es recomendado en tanques profundos.	Operación silenciosa, flexibilidad - continua de gastos de gas variables permiten la elevación de transferencia de oxígeno.	Los difusores de burbuja fina están sujetos a problemas de obstrucción frecuente, requieren filtración de aire. Los sistemas de difusión requieren diseño apropiado de tanques angostos y largos - lo cual aumenta los costos de construcción.
AERADOR DE TURBINA INMERSA	Eficiencia menor que el de superficie pero mayor que la Aereación Difusa.	Puede manejar concentraciones más altas en tanques profundos de 20 ft. o más de nivel de agua. La potencia total es aplicada cerca del fondo del tanque.	Alto grado de flexibilidad en la transferencia de oxígeno - es permitido por los cambios de velocidad y un gasto de gas variable. La suspensión de -	Potencia instalada mayor debido a eficiencias de transferencia de oxígeno bajas. Turbina inmersa, no podrá ser instalada sobre plataformas flotantes para operación en lagunas someras.

SISTEMA TRANSFERENCIA SUSPENSIÓN DE VENTILACIÓN LIMITACIONES
DE OXIGENO SÓLIDOS

Sólidos -
en tan-
ques pro-
fundos es
buena.
Puede ser
usado en
sistemas
de alto
gastos pa-
ra tan-
ques dise-
ñados pa-
ra uso má-
ximo de -
tierra de
interes.

Generalmente
mayor que --
los sistemas
descritos.

Altos flujos
producen bue-
na suspensión
Impulsores --
mas bajos o -
unidades com-
binadas usan-
do técnicas
de diseño de
aereación in-
mersa son re-
queridas para
tanques pro-
fundos.

Alta efici-
encia
de trans-
ferencia.
Elimina-
ción de -
tubería -
inmersa.
Puede ser
montado -
flotando.
Requiere
poco o na-
da de ---
equipo su-
xiliar. -
Ajuste de
inmersión
permite

Requiere su-
ficiente ---
area para re-
acción apro-
piada. Siste-
mas de gasto
alto usados
en tanques -
profundos --
pueden tener
insuficiente
area de su-
perficie pa-
ra utilizar
la potencia
total.

AERADOR
DE
SUPERFICIE

SISTEMA	TRANSFERENCIA DE OXIGENO	SUSPENSION DE SOLIDOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
---------	--------------------------	-----------------------	----------	--------------

ARRABADOR
COMBINADO
DE
SUPERFICIE
Y
TURBINA
IMMERSA

Generalmente el diseño de función entre el aereador de superficie y el de turbina inmersa.

Generalmente bueno y ajustable para usar en tanques profundos de diseño apropiado

cambios en la transferencia de oxígeno para ajustarse a cargas variables en el sistema.

La velocidad del aereador y cambios de gas son flexibles. Ventaja de la turbina para buena suspensión de sólidos en tanque profundo. Transferencia parcial de oxígeno puede ser mantenido con ventiladores de paso o suspensión.

Turbina Inmersa es requerida. Generalmente la aeración combinada requiere una instalación de potencia mayor.

CAPITULO III

CRITERIOS DE DISEÑO Y ECUACIONES DE DISEÑO

La explicación mejor conocida para el mecanismo de transferencia de gas a un líquido esta dada por la teoría de doble membrana, de acuerdo a la cual existen dos membranas una líquida y otra gaseosa.

La interfase gas-líquido es la que proporciona la resistencia al paso de las moléculas de gas del volumen de la fase gaseosa a la fase líquida.

Para gases de baja solubilidad en la fase líquida, como lo es el caso de la absorción de oxígeno por una solución acuosa, la resistencia controlante reside en la membrana líquida. Para solubilidades intermedias ambas membranas ofrecen resistencia significativa.

Dentro del proceso de transferencia de una fase gaseosa en este caso oxígeno a una fase acuosa existen tres etapas.

Etapas 1.- Saturación de la superficie líquida entre las dos fases (C_g) concentración de saturación de oxígeno. Esta velocidad de transferencia de oxígeno es muy rápida ya que la resistencia de la membrana de gas es despreciable. Por tanto la Etapa (1), nunca es la controlante.

Etapas 2.- El paso de las moléculas de oxígeno a través de la membrana de interfase líquida por difusión molecular. A muy bajos niveles de mezcla, el gasto de absorción de oxígeno es controlado por la Etapa (2). A niveles muy altos de turbulencia la membrana de interfase es rota y la velocidad

la renovación de la interfaz controla la liberación de oxígeno. La velocidad de renovación de superficie es la frecuencia ω - la cual el líquido con una concentración de oxígeno, (C_L) concentración de oxígeno en el volumen de la fase líquida, reemplaza a la de interfaz con una concentración de oxígeno igual a C_S .

Etapas 3.- En esta etapa el oxígeno es transferido al volumen del líquido por difusión y convección.

Esto se muestra en la figura 3.1

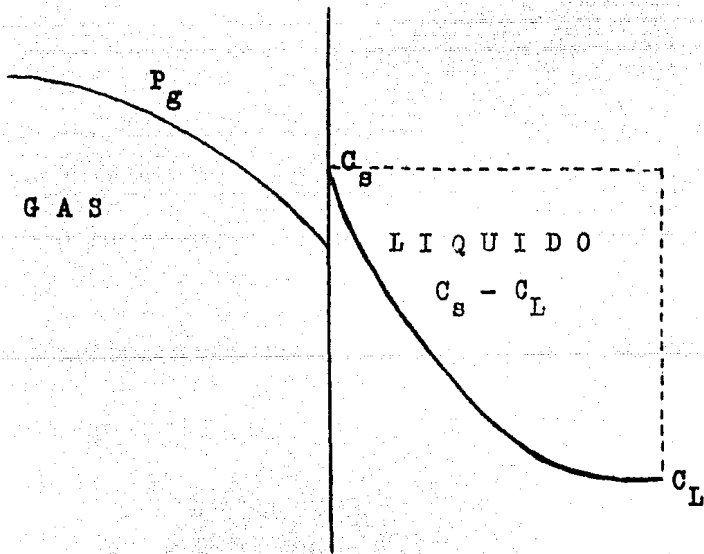


Figura 3.1 Transferencia de gas a la fase líquida.

Esta transferencia de masa gaseosa al fluido se puede expresar en forma diferencial.

$$\frac{dm}{dt} = -D_g A \left(\frac{dc}{dy} \right)_1 - D_L A \left(\frac{dc}{dy} \right)_2 - D_c A \left(\frac{dc}{dy} \right)_3 \quad (3.1)$$

en la cual

$\frac{dm}{dt}$	Tiempo de transferencia de masa por difusión
A	Área seccional transversal a través de la cual ocurre la difusión.
$\left(\frac{dc}{dy} \right)_1$	Gradiente de concentración a través de la membrana gas.
$\left(\frac{dc}{dy} \right)_2$	Gradiente de concentración a través de la membrana líquida.
$\left(\frac{dc}{dy} \right)_3$	Gradiente de concentración en el volumen del líquido.
D_g	Difusividad molecular del gas a través de la membrana de gas.
D_L	Difusividad molecular del gas a través de la membrana de líquido.
D_c	Difusividad turbulenta del gas en el líquido.

En adición a la difusión molecular a través de las membranas de gas y líquido la ecuación (3.1) incluye la difusión turbulenta a través del líquido, en la mayoría de los casos - de aereación el flujo turbulento prevalece. Puesto que la difusividad turbulenta es muy grande comparada con la difusividad a través de la membrana líquida, en todos los casos prácticos la concentración del gas disuelto en la profundidad del

líquido puede ser considerado uniforme.

La magnitud de la difusividad en la fase gas es 10^4 veces más grande que esta en la fase líquida. De estas consideraciones puede ser concluido que en la transferencia de un gas poco soluble la resistencia controlante se encuentra en la fase líquida.

Duesto que la concentración del gas disuelto puede ser considerada como uniforme en el volumen íntegro del líquido, el gradiente puede ser considerado que existe en la interfase y la expresión (3.1) puede reexpresarse de la siguiente forma

$$\frac{dm}{dt} = \frac{D_L}{Y_L} A (C_S - C_L) = K_L A (C_S - C_L) \quad (3.2)$$

Por lo tanto la ecuación básica para la velocidad de transferencia de oxígeno estará dada por la ecuación de estado estable de la ecuación anterior.

$$N = K_L A (C_S - C_L) \quad (3.3)$$

N Masa de oxígeno transferido por unidad de tiempo
(lb. O_2 /día)

K_L Coeficiente de membrana líquida [lb. O_2 /día(ft²)(unid. concentración)]

A Area interfacial de transferencia (ft²)

C_S Concentración de saturación (mg./lt.)

C_L Concentración de oxígeno en el líquido (mg./lt.)

Dividiendo la ecuación (3.3) entre el volumen (V) del sistema tenemos:

$$\frac{dN}{V} = \frac{dc_L}{dt} = K_L \left(\frac{A}{V} \right) (C_S - C_L) = K_L a (C_S - C_L) \quad (3.4)$$

$K_L a$ Coeficiente total de transferencia de oxígeno
 [lb. O₂ / (día)(ft³)(Δ C)]

$a = A/V$ Área interfacial por unidad de volumen (ft²./ft³.)

En la determinación del coeficiente de transferencia de masa, el coeficiente de transferencia total $K_L a$ es obtenido sin separar K_L y a . Además es reconociblemente imposible medir el área interfacial A .

La diferencia $(C_S - C_L)$ entre el valor de saturación y el de concentración actual de oxígeno en el volumen de la fase líquida es denominado déficit de oxígeno y es denotado O.D. . Para el proceso de tratamiento aeróbico diseñado para eliminación de BOD orgánica el rango de operación de nivel de oxígeno disuelto C_L es entre 0.5 - 1.5 mg./lt.

SATURACION DE OXIGENO

El oxígeno es un gas poco soluble en agua pura, teniendo una saturación de 9.2 ppm a 20°C en equilibrio con la atmósfera. Mientras la solubilidad es casi independiente de la presión total y la presencia de otros gases, es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno en la fase gas.

La relación es definida por la Ley de Henry la cual establece:

"Para gases de solubilidad baja o moderada, que no reaccionan químicamente con el solvente, la cantidad de gas que se disolverá a una temperatura dada es directamente proporcional a la presión parcial del gas en contacto con el agua."

$$\bar{p} = H x \quad (3.5)$$

\bar{p} = presión parcial del soluto, atm.

x = fracción mol del soluto en el líquido

H = constante de Henry, atm.

Una fracción mol está definida como la relación del número de moles de un constituyente particular de una fase al número de moles de todos los constituyentes.

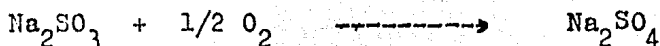
La relación anterior puede ser aplicada para presiones parciales mayores de una (1) atmósfera.

Constantes de la Ley de Henry para Aire y Oxígeno son tabuladas en la Tabla 3.1 A del Apéndice.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA
TOTAL DE MASA $K_L a$ POR AERACION DE AGUA CORRIENTE
EN ESTADO NO ESTABLE

El procedimiento usado más comunmente para la determinación de $K_L a$, es la aeración de agua corriente en estado no estable, la que involucra cuatro (4) pasos.

Paso 1.- Se deoxigena el agua a la concentración de oxígeno disuelto de cero (0). La que se efectua por adición de sustancias químicas deoxigenantes, la más usual es el sulfito de sodio (Na_2SO_3) junto con un catalizador como cloruro de cobalto ($CoCl_3$).



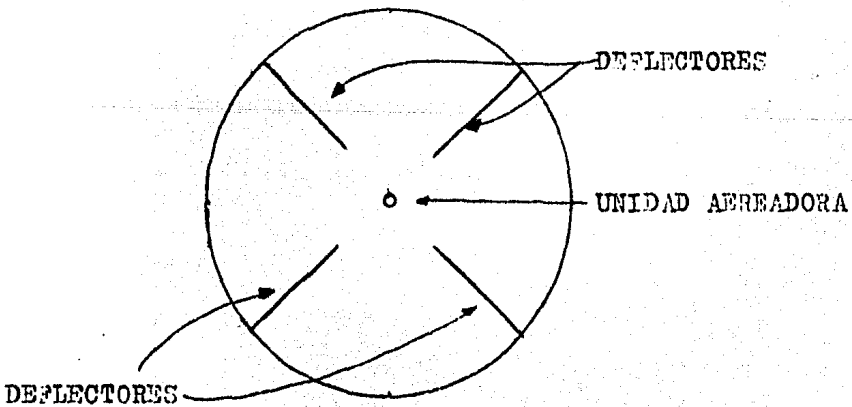
La relación estequiométrica es:

$$\frac{Na_2SO_3}{1/2 O_2} = \frac{126}{16} = 7.9$$

Lo que significa que teoricamente 7.9 ppm de Na_2SO_3 son requeridos para eliminar 1 ppm de oxígeno disuelto. Los requerimientos aproximados de Na_2SO_3 son estimados en base al oxígeno disuelto del agua corriente (se usa entre un 10 - 20% en exceso). Se añade una cantidad de $CoCl_3$ para tener una concentración mínima de ión Co^{2+} de 1.5 ppm.

Para 5.- Cuando la concentración de oxígeno disuelto es cero se inicia la aereación, midiendo los incrementos de concentración de oxígeno disuelto a intervalos de tiempo determinado. Como la concentración de oxígeno disuelto aumenta con el tiempo, el método se denomina aereación de estado no estable. Las mediciones de oxígeno disuelto son efectuadas preferentemente por métodos instrumentales. El método más confiable es empleando una celda galvánica apropiadamente calibrada con analizador de oxígeno y una sonda.

El equipo de aereación se localiza en el centro del tanque de prueba. Cuando se usan tanques circulares los deflectores son colocados en los puntos cardinales del tanque para evitar remolinos, como lo ilustra la Figura 3.2



Cuando la prueba es realizada en tanques circulares para prueba piloto o a alta escala, las profundidades muestreadas para la determinación de oxígeno disuelto son de 1 ft. de la superficie y 1 ft. del fondo, en los puntos medios y extremos de los radios trisituados del tanque. Esto nos da 12 puntos de muestreo. Esto es ilustrado por la Figura 3.3.

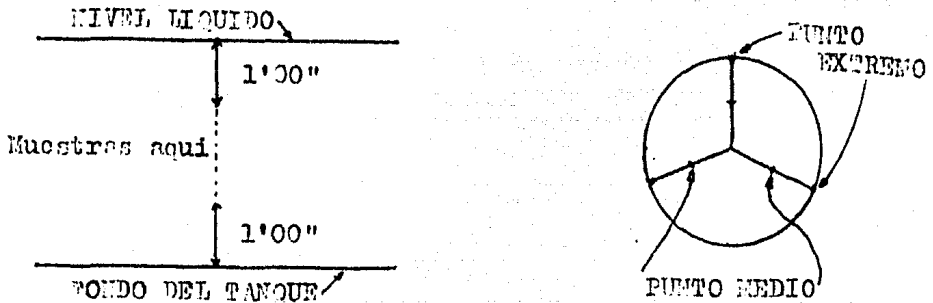


Figura 3.3 Localización de Puntos de Muestreo

Muestras de varias localizaciones son analizadas para oxígeno disuelto promediando y registrando el resultado para un tiempo de muestreo particular.

Paso 3.- Los resultados son tabulados como se muestra en la siguiente Tabla 3.1

TABLE 3.1

1 Tiempo Prueba (min)	2 C_L (mg/lt)	3 $C_S - C_L$ (mg/lt) ^a
0	0.2	10.0
10	2.6	7.6
20	4.8	5.4
30	6.0	4.2
40	7.1	3.1
50	7.8	2.4
60	8.5	1.7

$$^a C_S = 10.2 \text{ mg/lt.}$$

Paso 4.- De la ecuación (3.4) se tiene que una gráfica de $(C_S - C_L)$ contra tiempo en papel semilogarítmico nos da una línea recta cuya pendiente es $(-K_L a)$

$$dC_L / dt = K_L a (C_S - C_L) \quad (3.4)$$

separando variables, integrando y suponiendo que $K_L a$ sera independiente del tiempo de muestreo se obtiene:

$$\ln (C_S - C_L) = -K_L a t + \text{constante} \quad (3.6)$$

La integración de la ecuación (3.4) entre tiempo t_1 y t_2 correspondiente a oxígeno disuelto, C_{L_2} y C_{L_1} da:

$$\ln \left[\frac{(C_s - C_{L_2})}{(C_s - C_{L_1})} \right] = -K_L a (t_2 - t_1)$$

$$K_L a = 2.303 \log \left[\frac{(C_s - C_{L_1})}{(C_s - C_{L_2})} \right] (t_2 - t_1) \quad (3.7)$$

De la ecuación (3.7) el valor de $K_L a$ es calculado de dos determinaciones experimentales unicamente. No obstante es preferible utilizar el método gráfico semilogarítmico.

Quando es usada la aereación de solución de lodo activo, la utilización de oxígeno (velocidad de respiración) por los microorganismos es tomada en cuenta.

La ecuación (3.4) se modifica quedando:

$$dC_L/dt = K_L a (C_{sw} - C_L) - r \quad (3.8)$$

donde:

r = velocidad de utilización de oxígeno por microrg.

C_{sw} = conc. de saturación de oxígeno para el agua residual

C_L = conc. operante de oxígeno disuelto en el líquido aerado.

Graficando los valores de C_L (medidos por prueba de oxigeno disuelto) contra tiempo, y determinando pendientes a intervalos de tiempo seleccionado se obtiene dC_L/dt .

Rearreglando la ecuación (3.8) se obtiene:

$$dC_L / dt = (K_L a C_{sw} - r) - K_L a C_L \quad (3.9)$$

Trasladando $\frac{dC_L}{dt}$ (valores de las pendientes obtenidos en la figura (3.4)), contra C_L obtenemos una línea recta, - cuya pendiente es $K_L a$ - la intersección es r velocidad de respiración, figura (3.5).

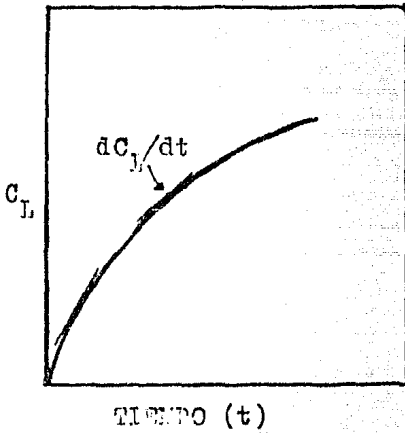


Fig. 3.4 Determinación de $\frac{dC_L}{dt}$

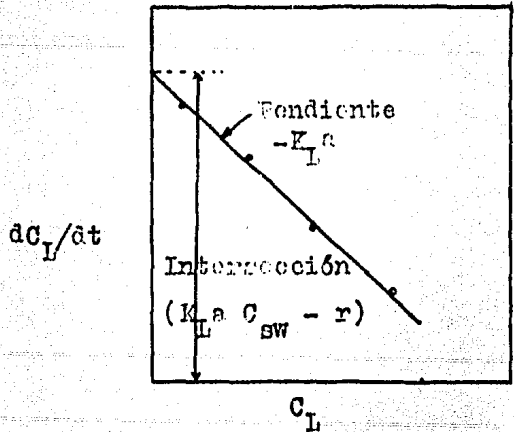


Fig. 3.5 Determinación de $K_L a$

DETERMINACION DE $K_L a$ PARA
SOLUCION DE LODO ACTIVADO EN ESTADO ESTABLE

La solución de lodo activado debe ser aerada a una velocidad suficiente para suministrar el oxígeno requerido para la respiración de microorganismos. Donde $dc_L/dt = 0$ se tiene:

$$K_L a = r / (C_{sw} - C_L) \quad (3.10)$$

La velocidad de respiración es medida cuando la concentración de oxígeno disuelto se ha estabilizado.

CAPACIDAD DE OXIGENO

Cuando se evalúa un aerador el oxígeno transferido es estimado a Condiciones Standard (S.C.), correspondiendo estas a una temperatura de 20°C y presión de 1 Atm. La velocidad de oxígeno transferido por el aerador es reportado como Capacidad de Oxígeno (O.C.), la cual se define:

"La velocidad de transferencia de oxígeno (dc/dt) a una concentración inicial de oxígeno de $C_L = 0$ y condiciones estandar."

De la ecuación (3.4):

$$\begin{aligned} \text{O.C. [lb. O}_2\text{/(hr)(unid. vol.)]} &= dc_L/dt = (K_L a)_{20} (C_s - 0) \\ &= (K_L a)_{20 \cdot C} (C_s) \quad \text{---(3.11)} \end{aligned}$$

si V es el volumen del tanque de aeración:

$$\text{O.C. [lb. O}_2\text{/(hr)]} = (K_L a)_{20^\circ\text{C}} (C_s V) \quad (3.12)$$

CORRECCION DE TEMPERATURA

Debido a que se trabaja en condiciones diferentes a las standard, el valor de $K_L a$ es corregido.

El coeficiente de transferencia $K_L a$ aumenta con la temperatura por lo tanto se usa la siguiente corrección:

$$K_L a(T) = K_L a(20^\circ\text{C}) \times 1.024^{(T-20)} \quad (3.13)$$

T = Temperatura en $^\circ\text{C}$

CORRECCION DE PRESION

Ya que C_s es directamente proporcional a la presión barométrica se emplea la siguiente corrección para presión diferente a la standard.

$$C_s(\text{corregida}) = C_s(\text{prueba}) \times 29.92 \text{ in. Hg}/(\text{in. Hg. con. P.}) \quad (3.14)$$

Como la saturación de oxígeno esta relacionada a la presión parcial de oxígeno en la fase gas (Ley de Henry), se efectua una corrección para saturación en la aeración de burbujas; donde la presión parcial en el punto de descarga -

se debe la variación atmosférica debido a la presión hidrostática. Olden propone la siguiente corrección:

$$C_{s,m} = C_{s,s} [(P_b/29.4) + (O_t/42)] \quad (3.15)$$

donde:

$C_{s,m}$ = Sat. de O_2 en el tanque de aireación a profundidad media, (mg./lt.)

$C_{s,s}$ = Sat. de O_2 en Condiciones Standard (mg./lt.)

P_b = Presión a la profundidad de descarga del aire, (psic)

O_t = O_2 en el gas de salida, (%)

Para la aireación $O_t = 21\%$ de O_2 quedando la ec. (3.15):

$$C_{s,m} = C_{s,s} [(P_b/29.4) + 0.5] \quad (3.16)$$

Por lo tanto el valor de la capacidad de oxigenación para aeradores de superficie esta dado por la Ec. (3.12) ya que no requiere corrección hidrostática, la cual se modifica como sigue:

$$O.C. = (K_{La})_{20^\circ C} \times C_{s(\text{corregida})} \times V \quad (3.17)$$

donde:

$(K_{La})_{20^\circ C}$ es la calculada de la ec. (3.13)

$C_{s(\text{corregida})}$ es calculada de la ec. (3.14)

Por tanto para aeradores de superficie se tiene:

$$O.C. = K_L a(T) \times 1.024^{(20-T)} \times C_{s(\text{prueba})} \times \frac{29.92 \text{ in. Hg}}{\text{in. Hg prueba}} \times V \quad (3.18)$$

y para aeradores de burbujas inmersos se tiene:

$$O.C. = (K_L a)_{20^\circ C} \times C_{s,s} \times V \quad (3.19)$$

donde:

$K_L a(20^\circ C)$ es calculado de la Ec. (3.13)

$C_{s,s}$ es calculado de la Ec. (3.15) ó (3.16)

En consecuencia para aeradores de burbujas se tiene:

$$O.C. = K_L a(T) \times 1.024^{(20-T)} \times \frac{C_{s,m}}{[(P_b/29.4) + 0.5]} \times V \quad (3.20)$$

EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE UNIDADES DE AIREACION

La eficiencia de transferencia (T.E.) de los aeradores es expresada comunmente en términos de masa de oxígeno transferido por (HP x hr) de trabajo efectuado.

$$T.E. = \text{lb. } O_2(\text{transferido}) / (\text{HP} \times \text{hr}) \quad (3.21)$$

Algunas veces el HP nominal del aereador es utilizado -- para la evaluación de T.E. Es mas exacto basar los cálculos sobre el HP actual (HP de aleta) medido durante la prueba -- por un wattmetro o un contador de energía. Cuando el factor de potencia (COS PF) es conocido, el HP de la aleta es calculado.

$$\text{HP (aleta)} = (\text{voltaje de línea})(\text{amperaje de línea}) \times [\text{COS PF } (3)^{1/2}] (1/746)(\text{eficiencia del motor}) (\text{eficiencia de engranaje}) \quad (3.22)$$

donde:

1/746 es el factor de conversión HP/W

Para aereadores de superficie, los valores reportados de T.E. son mayores de 7 lb. O₂/(HP x hr). Aun cuando para la - mayoría de las unidades el valor de T.E. se encontro en un - rango de 2 - 4 lb. O₂/(HP x hr). Para los aereadores de turbina el rango usual es de 2 - 3 lb. O₂/(HP x hr).

EFEECTO DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL SOBRE LA TRANSFERENCIA DE OXIGENO

Cuando se suministra oxígeno para tratamiento biológico aeróbico de agua residual es necesario definir el factor de corrección, el cual relaciona la transferencia de oxígeno a la naturaleza del desecho. Este factor alfa (α) relaciona - el coeficiente total de transferencia de masa K_L del agua -

residual al del agua corriente.

$$\alpha = K_{Lr} (\text{agua residual}) / K_{La} (\text{agua corriente}) \quad (3.23)$$

Dentro de las variables que afectan el valor de α se encuentran:

- 1) Temperatura de la solución mezclada.
- 2) Naturaleza de los constituyentes orgánicos y minerales disueltos.
- 3) Nivel de agitación del tanque de aeración expresado en términos de HP por 1000 Gal. de volumen de tanque.
- 4) Características del equipo de aeración.
- 5) Profundidad del líquido y geometría del tanque de aeración.

El efecto de la temperatura se atribuye a la dependencia de K_{La} a esta. En la Figura 3.8 se muestra el efecto típico de la temperatura sobre los valores de α .

Ya que la naturaleza de los constituyentes orgánicos y minerales disueltos afectan α , se espera que su valor aumente durante el curso de la oxidación biológica debido a -- que los materiales orgánicos disueltos que afectan la velocidad de transferencia son eliminados en el proceso biológico, esta situación es mostrada en la Figura 3.6. Conforme el efluente final alcanza la pureza del agua corriente, el valor de α alcanza la unidad asintótica.

El efecto de la intensidad de mezclado en el balance de aeración (expresado en términos de $\text{HP}/1000 \text{ gal.}$) se muestra en la Figura 3.7, la cual es una curva típica para un agua de desecho conteniendo surfactantes; a bajas intensidades de mezclado la velocidad de Transferencia de Oxígeno es controlada por el paso de moléculas de oxígeno a través de la interfase de membrana líquida por difusión molecular. La presencia de agentes surfactantes inhibe la difusión molecular a través de la interfase y así α decrece. Sin embargo a altas intensidades de mezclado, la transferencia de oxígeno es controlada por la velocidad de renovación de superficie, y así en condiciones de alta turbulencia α aumenta con el grado de intensidad de mezclado.

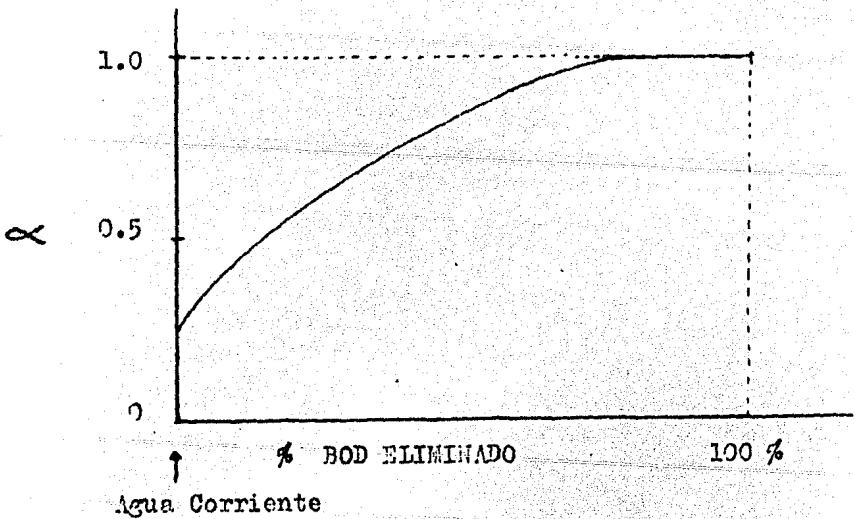


Fig. 3.6. Gráfica de α contra % BOD eliminado

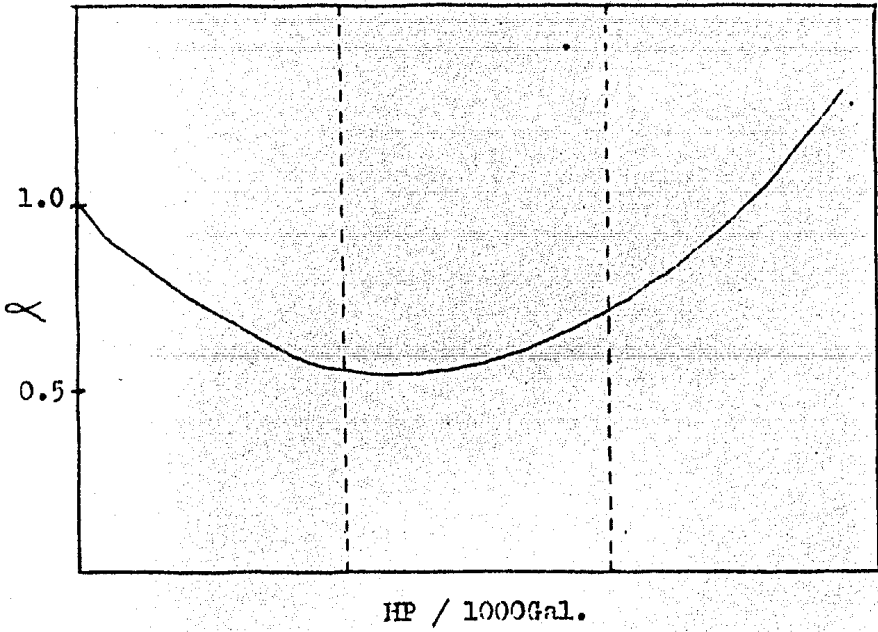


Fig. 3.7. Gráfica de α contra Intensidad de Mezclado

En la Figura 3.8 se muestra simultáneamente el efecto de la temperatura e intensidad de mezclado sobre el valor de α para un agua residual típica.

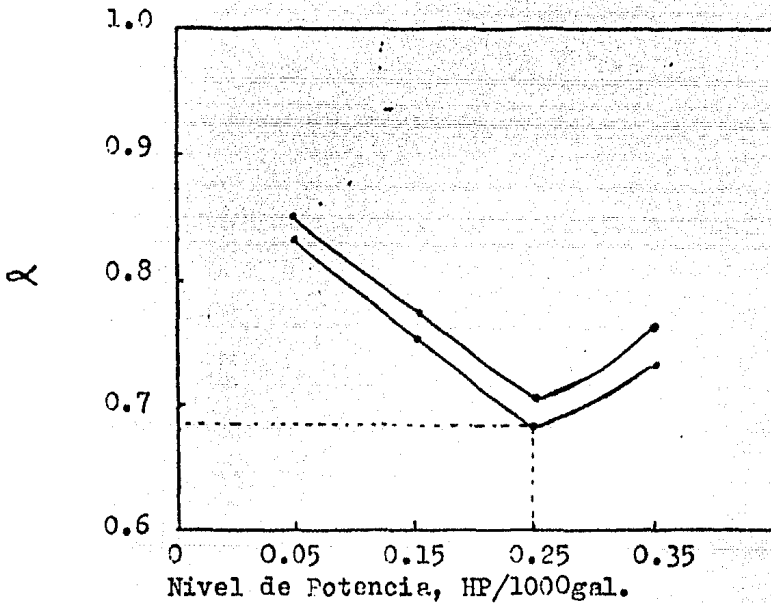


Figura 3.8 Gráfica de α vs. Nivel de Potencia a dos Temperaturas diferentes.

Una ilustración interesante del efecto de las características del equipo de aereación sobre el valor de α es la aereación de burbujas (difusión de aire o unidades de turbina). En presencia de agentes surfactantes, disminuye el tamaño de la burbuja incrementándose el área interfacial por uni

dad de volumen. (Puesto que:

$$a = A/V = k_1 r^2 / k_2 r^3 = K (1/r)$$

asi conforme el radio (r) de la burbuja disminuye o aumenta)

Bajo esas condiciones el valor de $K_L a$ del agua residual generalmente aumenta debido a que un incremento en "a" excede el decremento de K_L causado por la barrera de superficie. Este incremento en $K_L a$ de agua residual resulto en un incremento correspondiente de α .

FUNCIONAMIENTO DE UNIDADES DE DIFUSIÓN DE AIRE

Los datos de funcionamiento para unidades de difusión están disponibles como gráficas para lb. O₂ (transferido)/hr --- por unidad de aereación contra el flujo de aire por unidad. Una muestra de datos típicos para: Tubos de Saron, Sparjers, Sistemas de Aereación IHKA se muestran en las Figuras: 3.1 A, 3.2 A, 3.3 A, 3.4 A y 3.5 A del apéndice.

Eckenfelder recomienda la siguiente ecuación empírica -- para correlacionar el funcionamiento de unidades difusoras de aire y tabula los valores de las constantes características -- para varios tipos de Difusores.

$$N = CG_s^{(1-n)} (H^m/W^p) (C_{sw} - C_L) \times 1.024^{(T-20)} (\alpha) \quad (3.24)$$

N = lb O₂ (transferido)/(hr)(unidad de aereación)

G_s = Flujo de aire (SCFM/unidad de aereación); (SCFM son medidos a 1 Atm. y 68°F).

H = Profundidad de líquido (ft)

W = Ancho del tanque de aereación (ft)

C_{sw} = Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua residual. (mg/lt) a profundidad media del tanque.

C_L = Concentración de Operación de oxígeno disuelto (mg/lt), generalmente: 0.5 - 1.5 mg/lt

T = Temperatura (°C)

α = Coeficiente de Transferencia de oxígeno del agua residual, (definido por la Ec. 3.22)

C, n, m, p = Constantes características del Equipo de Aereación. (Tabla 3.2 A del apéndice.)

De la ecuación (3.4)

$$N = K_L a V (C_{sw} - C_L) \quad (3.25)$$

Por comparación de las ecuaciones (3.24) y (3.25) el resultado es:

$$K_L a V = C G_S^{(1-n)} (H^m / W^p) \times 1.024^{(T-20)} (\alpha) \quad (\text{ft}^3/\text{hr}) \quad (3.26)$$

El término $K_L a$ tiene unidades de hr^{-1} y el volumen (V) es el del tanque en ft^3 . Si $(C_{sw} - C_L)$ está dado en $\text{mg}/\text{lt.}$, - es multiplicado por un factor de conversión para expresarlo - en lb/ft^3 ; así N es obtenido en lb/hr .

$$(C_{sw} - C_L) = (\text{mg}/\text{lt})(\text{g}/1000\text{mg})(\text{lb}/454 \text{ g})(23.3 \text{ lt.}/\text{ft}^3)$$

$$(C_{sw} - C_L) \times 6.23 \times 10^{-5} = \text{lb}/\text{ft}^3$$

El factor 6.23×10^{-5} es incluido convenientemente en la constante C en la ecuación (3.24), por lo que $(C_{sw} - C_L)$ en tre en la ecuación directamente en mg/lt , y N es obtenida en lb/hr .

La información fundamental requerida para el Diseño de - Sistemas de Aereación de Difusión de Aire es la siguiente:

1.- Volumen del tanque de aereación (V), el cual es proporcionado.

2.- Requerimientos de Oxígeno ($lb.O_2/hr$), el cual también es proporcionado.

3.- Temperatura de Operación.

4.- Oxígeno disuelto de Operación (C_I , mg/lt) generalmente 0.5 - 1.5 mg/lt, excepto para unidades de nitrificación, cuando valores superiores de 2 mg/lt. son usados.

5.- Coeficiente de Transferencia de Oxígeno .

6.- Datos de funcionamiento para unidades difusoras de aire [disponibles como gráficas, Fig. 3.1A a 3.5A o expresados en término de constantes C , n , m , p en la ec. (3.24)] .

Paso 1.- Seleccionar una profundidad de tanque H generalmente entre 10 y 15 ft.

Paso 2.- El area transversal es entonces:

$$A = V / H$$

Paso 3.- Para tanques de aereación con sección transversal rectangular, seleccionar una anchura W de aproximadamente el doble de la profundidad del tanque. Esto es necesario para mantener un mezclado adecuado. Por lo tanto la longitud del tanque es: $L = A / W$. Para tanques de aereación con sección transversal circular, calcular el diámetro:

$$D = (4 A / \pi)^{1/2} .$$

Paso 4.- Seleccionar la velocidad de flujo de aire G_s por unidad de difusión de aire. El rango usual de valores de G_s es de 4 - 8 SCFM/unidad y 4 - 16 SCFM/unidad para difusores de burbuja fina y grande respectivamente.

Paso 5.- El valor C_{sw} [usado en la Ec. (3.24)] es calculado en la profundidad media del tanque de la Ec. (3.15) [o Ec. (3.16)]; i.e.; $C_{sw} = C_{s, m}$.

Paso 6.- Capacidad de oxigenación por unidad de aireación [$N = \text{lb. O}_2(\text{transferido})/(\text{hr})(\text{unidad})$] es estimado de los datos del fabricante (e.g., Figs. 3.1A a 3.5A) o de la Ec. (3.24)

Paso 7.- De los requerimientos de oxígeno y del valor calculado en la etapa 6, calcular el número de unidades requeridas para transferir la cantidad de oxígeno requerido.

$$\text{No. Unidades} = \frac{\text{lb. O}_2/\text{hr (requerido)}}{N}$$

Paso 8.- Preparar un arreglo del tanque de aireación para determinar el espacio entre las unidades de aireación. El espacio mínimo es de 6 in. y el máximo entre 24 y 30 in. Esto es necesario para mantener los sólidos en suspensión y minimizar la colisión de las burbujas de aire, si los espaciamientos calculados caen fuera de este rango, se deberán hacer -- ajustes en el número de unidades (se seleccionara diferente flujo de aire G_s) o se dispondran dobles hileras.

Paso 9.- Calcular el flujo total de aire.

$$\text{Flujo total de aire} = G_s (\text{No. Unidades})(\text{SCFM})$$

Paso 10.- Calcular la potencia requerida del ventilador.

$$\text{HP} = \left[(\text{Caída de Presión, psi})(\text{SCFM})(144) \right] / (33000)(E_m)$$

donde 33,000 y 144 son factores de conversión para -----
 (ft. lb.F/min)/HP e in²/ft², respectivamente, y R_m es la eficiencia mecánica (estimada). Generalmente la caída de presión para el ventilador es adaptada en un rango de 6 - 10 psi.

Paso 11.- Calcular la eficiencia de Oxigenación por la siguiente Ec.:

$$\xi = \frac{\text{Peso de Oxígeno absorbido/unidad tiempo}}{\text{Peso de Oxígeno suministrado/unidad tiempo}} \times 100$$

donde el numerador fue calculado en el paso 6 y el denominador obtenido de G_s seleccionado en el paso 4. (Es aproximadamente a 23.2% del peso del aire correspondiente a G_s). El peso del aire correspondiente a G_s es calculado de la ecuación ideal de los gases.

$$PV = NRT = (\text{peso/peso molecular}) RT$$

Por lo tanto:

$$\text{Peso Aire} = (\text{peso molecular})(PV)/RT$$

$$\text{Peso molecular} = 29 \text{ lb/lb mol (peso molecular promedio)}$$

$$P = 1 \text{ Atm.}$$

$$V = G_s$$

$$R = 0.73 (\text{atm})(\text{ft}^3)/(\text{lb. mol})(^\circ R)$$

$$T = 520^\circ R (60^\circ F)$$

$$\text{Peso Aire} = (29 \times 1 \times G_s)/(0.73)(520) = 0.076 G_s \quad (\text{lb/min})$$

La ecuación (3.27) es entonces:

$$\text{Peso } O_2/\text{min.} = 0.232 \times 0.076 G_s = 0.0176 G_s \quad (3.27)$$

Ejemplo.- Aeradores de Tubo de Saren son especificados para una Planta de Tratamiento de Lodo activado en un Tratamiento de agua residual.

Los requerimientos de oxígeno son: 320 lb O_2 /hr.

Temperatura = 30°C

$$\alpha = 0.85$$

$C_{sw} = 8.6$ mg/l (Calculado como saturación en el tanque de Aereación a profundidad media.)

El volumen del tanque de aereación requerido es de ---- 80,000 ft³., es de forma rectangular, usando una profundidad de líquido de 15 ft. y un ancho de tanque del doble de la -- profundidad 30 ft., la longitud del tanque requerido es de - 180 ft.

Las caractefísticas de las unidades difusoras de Tubos de saren seleccionadas son dadas por la Figura 3.1 A.

Diseñar el sistema de aereación para esta aplicación.

Paso 1.- Se selecciona la velocidad de flujo de aire G_B por unidad de difusión en el rango de difusores de burbuja fina:

$$G_s = 8 \text{ SCFM/unidad difusora}$$

Paso 2.- Se determina la Capacidad de oxigenación por unidad de aereación, la cual es tomada de la Figura 3.1 A.

$$N = 0.98 \text{ lb } O_2 / (\text{hr})(\text{unidad})$$

Paso 3.- Se determina el número de unidades requeridas para la Transferencia de Oxígeno requerido:

$$\text{No. Unidades} = \frac{320 \text{ lb. oxígeno/hr}}{0.98 \text{ lb. oxígeno/(hr)(unidad)}} = 327 \text{ Unid.}$$

Paso 4.- Se prepara un arreglo de tanque de aereación para determinar el espacio entre las unidades de aereación difusoras:

$$\text{Espaciamiento} = \frac{180 \text{ ft}}{327 \text{ unidades}} = 0.55 \text{ ft.} = 6.6 \text{ in.}$$

Lo cual está dentro del rango especificado para mantener los sólidos en suspensión y minimizar la colisión de burbujas.

Paso 5.- Se determina el Flujo Total de Aire

$$\begin{aligned} \text{Flujo Total de Aire} &= G_s (\text{No. Unidades}) \quad (\text{SCFM}) \\ &= (8 \text{ SCFM})(327) \\ &= 2616 \text{ SCFM} \end{aligned}$$

Paso 6.- Potencia requerida para el ventilador:

$$\text{HP} = \frac{(\text{Caida de Presión})(\text{SCFM})(144)}{(33,000)(E_m)}$$

se supone una caída de presión de 8 psi y una E_m de 75%

$$\begin{aligned} \text{HP} &= (8)(2616)(144) / (33,000)(0.75) \\ &= 3013632/24750 \\ &= 122 \text{ HP} \end{aligned}$$

Paso 7.- Eficiencia de Oxigenación por medio de la Ec. siguiente:

$$\epsilon = \frac{\text{peso oxígeno absorbido/unidad de tiempo}}{\text{peso oxígeno suministrado/unidad de tiempo}}$$

$$\begin{aligned} \text{peso oxígeno absorbido/unidad de tiempo} &= 0.98 \text{ lb } O_2/\text{hr} \\ &= 0.0163 \text{ lb } O_2/\text{min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{peso oxígeno suministrado/unidad tiempo} &= 0.0176 G_s \\ &= 0.0176 (8) \\ &= 0.141 \text{ lb } O_2/\text{min.} \end{aligned}$$

$$\epsilon = \frac{0.0163}{0.141} \times 100 = 11.56\%$$

FUNCIONAMIENTO DE UNIDADES DE AERACION DE TURBINA

Las principales variables a ser consideradas en el funcionamiento de Aeradores de Turbina son: el flujo de aire, el diámetro (D) y la velocidad del impulsor. Estas variables determinan el tamaño de la burbuja y el grado de agitación en el tanque, de esa forma afecta al coeficiente total de transferencia de oxígeno $K_L a$. Los datos de funcionamiento para turbinas de aeración son disponibles en la información del fabricante tomando en consideración esas variables. Eckenfelder recomienda la siguiente ecuación empírica para correlacionar el funcionamiento de las turbinas de aeración.

$$N = C G_s^n S^x D^y (C_{sw} - C_L) 1.024^{(T-20)} \alpha \quad (3.28)$$

N = lb O_2 transferido/(hr)(unidad)

G_s = Flujo de aire (SCFM/unidad de aeración)

S = Velocidad periférica del impulsor (ft/seg)

D = Diámetro del impulsor (Ft. ver Fig. 3.9)

C_{sw} = Concentración de Saturación de O_2 disuelto en el agua residual (mg/lt)

C_L = Concentración de Operación de O_2 disuelto (mg/lt)

C, n, x, y = Constantes características del Equipo de Aeración.

Los valores típicos para n, x, y dependen de la geometría del impulsor:

$$n = 0.4 - 0.9; \quad x = 1.2 - 2.4; \quad y = 0.6 - 1.8$$

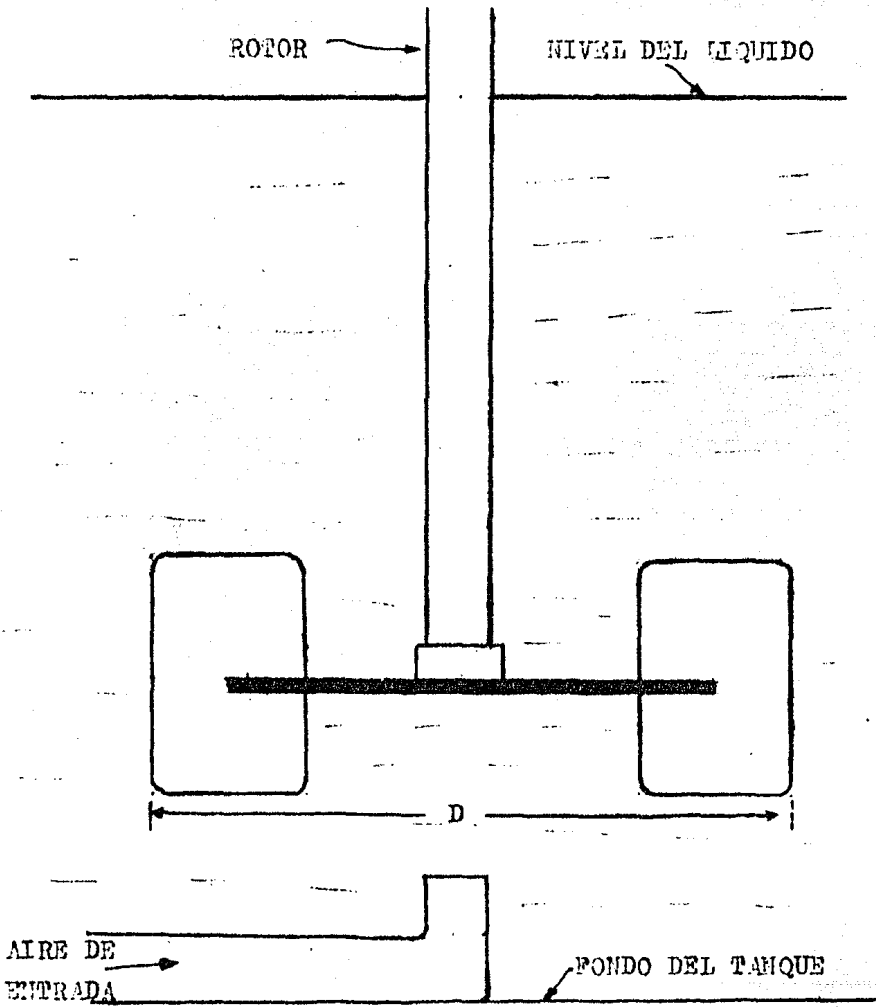


Figura 3.9 UNIDAD DE AERACION DE TURBINA

Igualando las Ecuaciones (3.25) y (3.28) tenemos la Ecuación (3.29).

$$K_L aV = CG_s^n S^x D^y \times 1.024^{(T-20)} \quad (\text{ft}^3 / \text{hr}) \quad (3.29)$$

$K_L a$ tiene unidades de hr^{-1} y v es el volumen del tanque de reacción en ft^3 . Si $(C_{sw} - C_L)$ en la Ec. (3.28) esta dado en mg/lit , su valor es multiplicado por el factor 6.23×10^{-5} para obtener N en lb/hr , como se mostró en el funcionamiento de las unidades de Difusión de Aire.

POTENCIA REQUERIDA PARA AERADORES DE TURBINA

La potencia requerida es para dos fines:

1.- Operación del rotor (los caballos de fuerza correspondientes son designados por HP_r).

2.- Operación del compresor o ventilador (los caballos de fuerza correspondientes son designados como HP_c). La potencia de giro del rotor es calculada de la relación:

$$\text{HP}_r = C' D^m S^p \quad (3.30)$$

C' , m , p son constantes características del equipo de aereación. La actual potencia de giro decrece conforme el flujo de aire es incrementado bajo el impulsor, debido a la disminución de la densidad de la mezcla aereada. Por esta razón, la potencia calculada de la Ec. (3.30) es referida a una potencia de disminución. La ecuación (3.30) se reescribe como:

$$HP_r = C'' D^m n^p \quad (3.31)$$

n = revoluciones/seg

Como S es la velocidad periférica en ft/seg; n y S son relacionadas por la Ec.(3.32)

$$n = S/\pi D = (\text{ft/seg})/(\text{ft/rev.}) = \text{rev./seg} \quad (3.32)$$

πD = Perímetro de la circunferencia descrita por la rotación del impulsor.

Los valores típicos de los exponentes "m" y "p" son:

$$4.8 \leq m \leq 5.3$$

$$2.0 \leq p \leq 2.5$$

La potencia de disminución es correlacionada a la potencia imperante, una correlación es mostrada en la Fig.3.6 A.

La fuerza de giro del compresor es calculada de:

$$HP_c = (\text{Caída de Presión, psi})(\text{SCFM})(144)/(33000)(E_m) \quad (3.33)$$

E_m = Eficiencia estimada de turbina.

En seguida se determina la potencia de corte entre el rotor y el compresor.

Una correlación entre eficiencia de transferencia de O_2 [expresado como lb. O_2 transferido/(HP-hr)] y el factor P_d de finido como:

$$P_d = HP_r / HP_c \quad (3.34)$$

ha sido desarrollado por Quirk y su uso es resumido por Helfenfelder. " P_d " representa la potencia de corte entre el rotor y el compresor. Las Figuras 3.7A y 3.8A nos muestran esta correlación y la transferencia de Oxígeno para estos sistemas de Aereación de Turbina.

El valor indicado en la Figura 3.7A como P_d^* es la potencia de corte óptima correspondiente a la máxima eficiencia de Transferencia de Oxígeno. En la mayoría de los casos P_d^* es - aproximadamente la unidad, esto implica una potencia de expansión igual por la turbina y el compresor. A gastos de aire extremadamente altos (altos valores de HP_c) los valores de P_d - son menores de 1.0, i.e., $HP_c > HP_r$ y $P_d < 1.0$. Bajo estas condiciones, las burbujas de aire grandes e inundantes - del impulsor producen pobre eficiencia de oxigenación. De este forma, a muy bajos gastos de aire $P_d > 1.0$ y así mucha potencia de la turbina es empleada en mezclar el líquido.

DISEÑO DE SISTEMAS DE AERACION USANDO UNIDADES DE TURBINA

La información fundamental requerida es la misma de los puntos 1 a 5 para Unidades de Difusión; después obtener los datos de funcionamiento para las unidades de Turbina ya sea de la información del fabricante o expresados en términos de valores de las constantes de la Ec. (3.28).

Paso 1.- Seleccionar una profundidad del tanque H, generalmente entre 15 y 20 ft. En casos especiales, profundidades de líquido mayores son usadas.

Paso 2.- El área transversal es:

$$A = V/H$$

Paso 3.- Seleccionar una relación $r = D/T$ en la cual:

D = Diámetro de la Turbina.

T = Diámetro del Tanque.

Para tanques de sección transversal circular, el significado de la relación D/T es íntegro.

Para tanques con sección transversal cuadrada o rectangular, seleccionar un valor para T basado en la geometría del tanque. La selección de T para un tanque rectangular con 2 aireadores de turbina se muestra en la siguiente Figura 3.10 (T iguala el diámetro de influencia de la unidad de aireación). Las relaciones típicas D/T son: 0.1 - 0.2

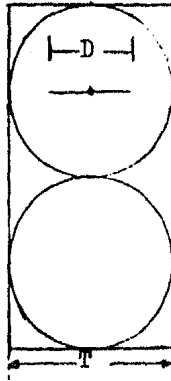


Fig. 3.10 Relación $r = D/T$ para un tanque rectangular con dos Aereadores de Turbina.

Relación $r = D/T$ para un tanque rectangular con dos aereadores de Turbina.

Paso.4.- Seleccionar una anchura de tanque T de aproximadamente el doble de la profundidad del tanque. Por lo tanto el diámetro de la turbina es:

$$D = T \times r$$

Paso 5.- De la Figura 3.7 A (datos del fabricante) determinar la potencia de corte óptima P_d^* .

Paso 6.- Seleccionar el gasto de flujo de aire por unidad, G_g (SCFM/unidad de Aereación). Los valores usados son -- entre 200 - 1500 SCFM

Paso 7.- El valor de C_{sw} , para usarse en la Ec.(3.28), es calculado a la profundidad media del tanque de la Ec.(3.15) o de la Ec. (3.16), ie. $C_{sw} = C_{s,D}$.

Paso 8.- Capacidad de Oxigenación por Unidad de Aereación [$R = \text{lb. O}_2 \text{ transferido}/(\text{hr})(\text{unidad})$] es estimada de los datos del fabricante o calculada de la Ec.(3.23).

Paso 9.- De los requerimientos de oxígeno ($\text{lb. O}_2/\text{hr}$) y el valor de N calculado en el paso 8, calcular el número de -- unidades de aereación necesarias para transferir la cantidad de oxígeno requerido.

$$\text{No. Unidades} = \frac{\text{lb. Oxígeno requerido/hr}}{N}$$

Deberá haber una turbina por cada $900 - 2500 \text{ ft}^2$. Variando el flujo de aire por unidad, G_g , haciendo ajustes de cálculo de tal forma que el espaciado caiga dentro de este -- rango.

Paso 10.- Calcular el flujo total de Aire.

$$\text{Flujo Total de Aire} = G_g (\text{No. Unidades}) \quad (\text{SCFM})$$

Paso 11.- Calcular la Potencia de Operación del Compresor de la Ec.(3.33).

Paso 12.- Determinar la Potencia de la Turbina, de la -- Potencia de Corte Optima establecida en el paso 5.

$$HP_r = (P_d^*) (HP_o)$$

Paso 13.- Calcular la eficiencia de Oxigenación de la -- siguiente Ec.

$$\epsilon = \frac{\text{Peso de oxígeno absorbido/unidad tiempo}}{\text{Peso de oxígeno suministrado/unidad tiempo}} \times 100$$

donde el numerador es obtenido en el paso 8. Calcular el denominador de la Ecuación (3.27).

Ejemplo.- Aeradores de turbina son especificados para una Planta de Tratamiento de Lodo Activado en un Tratamiento de agua residual.

Los requerimientos de oxígeno son: 640 lb. O_2 / hr

Temperatura: 30°C

$C_{sw} = 8.6$ mg/lt (Calculada como saturación en el tanque de aereación a profundidad media)

$$\alpha = 0.85$$

$$C_L = 1.0$$
 mg/lt

$$C_s = 10.0$$
 mg/lt

Las características del aerador de Turbina seleccionado son dadas en las Figuras 3.8 A y 3.7a A.

El volumen del tanque de Aereación es: 160,000 ft³.

Diseñar las características de aereación de esta aplicación.

Paso 1.- Se selecciona la profundidad del tanque:

$$H = 15$$
 ft.

Paso 2.- Se determina el area transversal.

$$A = V/H = 160,000 \text{ ft}^3 / 15 \text{ ft.}$$
$$= 10,667 \text{ ft}^2$$

Paso 3.- De la Figura 3.8A se tiene la relación $r = D/T$

$$r = 0.115$$

Paso 4.- Se selecciona una anchura de tanque "T" del doble de la profundidad del tanque:

$$T = 30$$
 ft.

Paso 5.- De la Figura 3.7a A se determina la Potencia de corte óptima, $P_d^* = 1.0$

Paso 6.- Se selecciona un Gasto de aire de:

$$G_s = 510 \text{ SCFM}$$

Paso 7.- De la Figura 3.8 A se determina la Eficiencia de Transferencia de Oxígeno E.T. para determinar N (lb O₂ / hr-unidad)

$$E.T. = 0.2$$

Por medio de la Ec. siguiente se determina N

$$N = G_s \times E.T. \times (60 \times 0.232 \times 0.0746)$$

donde: 0.232 lb. de aire, 0.0746 es el vol. en ft³ que ocupa 1 lb. de aire y 60 es el factor de conversión de hr a min.

$$N = (510)(0.2)(1.05)$$

$$N = 107 \text{ lb. O}_2/\text{hr-unidad}$$

Paso 8.- De los requerimientos de oxígeno (lb O₂/hr) y -- el valor de N determinado en el paso anterior, se calcula el número de unidades necesarias para transferir la cantidad de oxígeno requerido:

$$\text{No. Unidades} = \frac{640 \text{ lb oxígeno/hr}}{107 \text{ lb oxígeno/hr-unidad}} = 6 \text{ Unidades}$$

Como debe haber una turbina por cada 900 - 2500 ft²
se divide el area entre el número de unidades:

$$\text{Espaciamiento} = 10667 \text{ ft}^2/6 = 1777.8 \text{ ft}^2/\text{unidad}$$

lo cual esta dentro del rango establecido.

Paso 9.- Se determina el Flujo Total de Aire:

$$\begin{aligned} \text{Flujo Total de Aire} &= (G_s)(\text{No. Unidades}) \\ &= (510)(6) \\ &= 3060 \text{ SCFM} \end{aligned}$$

Paso 10.- Se determina La Potencia de Operación del Com-
presor por medio de la Ecuación (3.33)

$$HP_c = (\text{Caida de Presión})(\text{SCFM})(144) / (33000)(E_m)$$

se supone una caida de presión de 5.0 psi y una $E_m = 70\%$

$$\begin{aligned} HP_c &= (5)(3060)(144)/(33000)(0.70) \\ &= 95.4 \text{ HP} \end{aligned}$$

Es necesario efectuar una corrección para las condicio-
nes del desecho.

$$HP_c = \frac{95.4 \text{ HP}}{\frac{C_{sw} - C_L}{C_s} \times \alpha \times 1.024^{(T-20)}}$$

$$HP_c = \frac{95.4}{(8.6 - 1.0 / 10)(0.85)(1.22)} = 121 \text{ HP}$$

Paso 11.- Se determina la Potencia de la Turbina de la Potencia de Corte Óptima establecida en el paso 5.

$$HP_r = (P_d^*)(HP_c)$$

$$HP_r = (1.0)(121)$$

$$HP_r = HP_c = 121 \text{ HP}$$

Paso 12.- Se calcula la Eficiencia de Oxigenación:

$$\begin{aligned} \text{Peso } O_2 \text{ (suministrado)/min.} &= 0.0176 G_s \\ &= 0.0176(510) \\ &= 8.976 \text{ lb } O_2/\text{min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso } O_2 \text{ (absorbido)/min.} &= (107 \text{ lb } O_2/\text{hr}) (\text{hr}/60 \text{ min}) \\ &= 1.783 \text{ lb } O_2/\text{min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{\text{Peso oxígeno absorbido/tiempo}}{\text{Peso oxígeno suministrado/tiempo}} \times 100 \\ &= \frac{1.783 \text{ lb. oxígeno/min}}{8.976 \text{ lb. oxígeno/min}} \times 100 \\ \mathcal{E} &= 19.9 \% \end{aligned}$$

FUNCIÓNAMIENTO DE UNIDADES DE AERACIÓN DE SUPERFICIE

El principio de operación de estos aeradores se muestra en la Fig. 3.11. El líquido es elevado desde abajo de la unidad y espedido hacia arriba y afuera por un impulsor dentro de un tubo vertical.

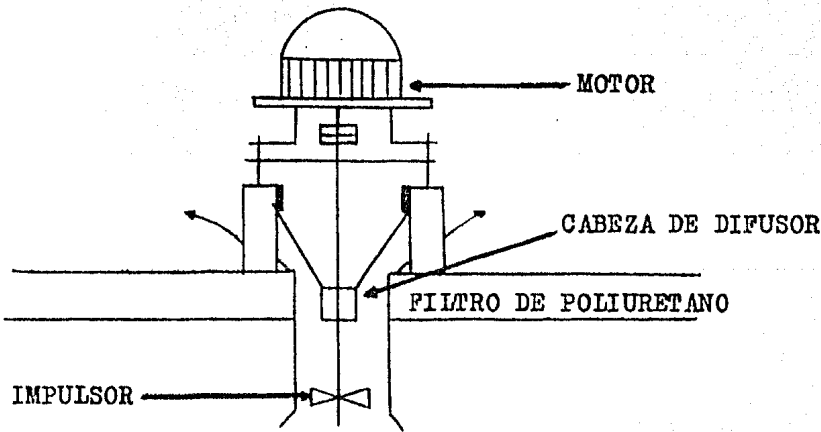


Fig. 3.11 Diagrama de la sección transversal de un aerador de superficie.

CORRELACION ENTRE EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA
Y NIVEL DE AGITACION

Una correlación ha sido desarrollada, entre la eficiencia [expresada como lb O₂ transferido/(HP/hr)] y el nivel de agitación del tanque (HP/1000 gal). Hay una relación aproximadamente lineal entre esos dos parámetros, como se aprecia en la Figura 3.9 A. La cual es un ejemplo típico de esta correlación para una unidad de aereación superficial específica.

La correlación entre el diámetro de influencia y la unidad de potencia tambien se muestra en la Figura 3.9 A. La ordenada N_o iguala las lb.O₂ transferido al agua corriente en condiciones standard (20°C y 1 Atm., con O₂ disuelto inicialmente igual a cero) por (HP/hr). Una corrección para obtener transferencia de oxígeno (N) para un agua residual bajo condiciones de operación es la Ec. (3.36).

La correlación lineal indicada en la Figura 3.9A es expresada por la relación:

$$N_o = K P_v + N_s \quad (3.35)$$

donde N_o es el total de oxígeno transferido al agua corriente bajo condiciones standard por unidad lb.O₂ / (HP-hr);

P_v = HP/1000 gal de líquido del tanque.

K = Constante característica de la unidad de aereación (en la Fig. 3.9A corresponde a la pendiente de la línea recta).

N_s = Oxígeno transferido al agua corriente a condiciones standard por unidad de HP x hr a cero turbulencia.

*NOTA: Para la unidad de superficie específica correspondiente a la Figura 3.9A esta relación es:

$$N_o = 3.4 P_v + 2.65 \quad (3.35)$$

En la Ec.(3.35), N_g corresponde al oxígeno transferido a condiciones standard (N_o) para condiciones de cero turbulencia ($P_v = 0$).

Para un aereador dado esto corresponde a su operación en un tanque de aereación de volumen infinito. En tales casos, toda la transferencia de oxígeno es acompañada solamente por el mecanismo de espreado, ya que la turbulencia es despreciable.

El funcionamiento de los aereadores de superficie está relacionado a los siguientes factores:

- 1.- Profundidad del impulsor
- 2.- Diámetro y velocidad del rotor.

Los valores de eficiencia de transferencia $\left[\frac{\text{lb. O}_2 \text{ trans}}{\text{ferido}/(\text{HP-Hr})} \right]$ para la mayoría de los aereadores de superficie son del orden de 2 - 4; sin embargo valores tan altos como 7 son reportados. La eficiencia de transferencia permanece esencialmente constante a una profundidad óptima a pesar de la unidad.

Para el diseño de Sistemas de Aereadores de Superficie, la eficiencia de transferencia standard N_o obtenida en la Figura 3.9A, por ejemplo, es corregida por las condiciones de agua residual operantes y la temperatura. Esto se efectúa por la aplicación de la siguiente relación:

$$N = N_o \left(\left[\frac{C_{sw} - C_L}{9.2} \right] \times 1.024^{(T-20)} \alpha \right) \quad (3.36)$$

donde:

N = Eficiencia de Transferencia de Oxígeno bajo condiciones de campo; (lb.O₂/(HP-hr))

N_0 = Eficiencia de Transferencia de Oxígeno bajo condiciones standard; agua corriente a 20°C con oxígeno disuelto inicial igual a cero (0) a presión atmosférica; lb.O₂/(HP-hr)

C_{sw} = Concentración de Saturación de Oxígeno disuelto en el agua residual; (mg/lt)

C_L = Nivel de operación de oxígeno disuelto en el tanque de aereación; (mg/lt)

T = Temperatura del tanque; °C

α = K_L (agua residual)/ K_L (agua corriente)

En la Ec.(3.35) $C_{sw} - C_L$; es la fuerza directora para la Transferencia de Oxígeno bajo condiciones de campo. La fuerza directora a condiciones standard con oxígeno disuelto inicial de cero (0) es: $9.2 - 0.0 = 9.2$; donde 9.2 es el valor de saturación de oxígeno a 20° C en mg/lt. Así en la Ec.(3.35) una proporcionalidad entre N y N_0 y las correspondientes fuerzas directoras es supuesta.

Los valores de saturación de oxígeno son tabulados en -- las siguientes tablas 3.3A y 3.4A

DISEÑO PARA SISTEMAS DE AERACION DE SUPERFICIE

La información fundamental requerida es la misma de los puntos 1 a 5 para Unidades de Difusión.

Obtener las características del aerador, esto incluye:

- 1.- Correlación de N_o contra HP/1000 gal.
- 2.- Correlación entre unidad de potencia y diámetro de influencia para sólidos en suspensión (ft).

Las profundidades del tanque de aireación para aeradores de superficie son generalmente menores que aquellos para Aireación de difusión o de turbina, en un rango de 3 - 12 ft.

Paso 1.- Con la Ec. (3.36) calcular el término entre los parentesis cuadrados $\left[\frac{C_{sw} - C_L}{9.2} \times 1.024^{(T-20)} \right]$ para condiciones de invierno y verano; para determinar cuál es la condición controlante. Notar que C_{sw} verano $<$ C_{sw} invierno [así $(C_{sw} - C_L)$ es mayor para las condiciones de invierno] - mientras que $T_{verano} > T_{invierno}$; $1.024^{(T-20)}$ es mayor para condiciones de verano .

Los resultados de estos cálculos serán:

$$N = K_{verano} \times N_o \quad (3.37)$$

$$N = K_{invierno} \times N_o \quad (3.38)$$

$$F = \text{valor del término} \left[\frac{C_{sw} - C_L}{9.2} \times 1.024^{(T-20)} \right] \text{ de la Ec. (3.36).}$$

La N menor corresponde a la condición controlante (menor transferencia de oxígeno).

Paso 2.- Ya que el nivel de potencia (abscisa de la Figura 3.9A) no es conocido, una resolución de prueba y error es necesaria para la determinación de N_0 (y N) basada en las correlaciones de N_0 contra el nivel de potencia.

- 1.- Suponer un nivel de potencia HP/1000 gal.
- 2.- De la Figura 3.9A leer N_0 .
- 3.- Calcular N de la Ec. (3.37) o de la Ec. (3.38) cualquiera que sea la controlante.

4.- Los requerimientos de potencia son calculados por el nivel de potencia supuesto:

$$\text{Requerimientos de Potencia} = \frac{O_2 \text{ requerido (lb. } O_2/\text{hr)}}{N \text{ (lb. } O_2/\text{HP-hr)}} = \text{HP}$$

donde el requerimiento de oxígeno ha sido previamente calculado.

5.- Seleccionar HP por unidad y calcular el número de unidades.

6.- Recalcular el nivel de potencia

$$\text{Nivel de Potencia} = \text{HP} \left[\text{Paso 2 (4)} \right] / \text{Volumen tanque de aireación}$$

Expresar el nivel de potencia recalculado en términos de HP/1000 gal y compararlo con el valor supuesto en el paso 2 (1).

Si hay concordancia en un rango de 5% los cálculos son terminados. De otra forma intentar nuevamente los Pasos 2 (1) a 2 (6) hasta que sea obtenida la concordancia.

Paso 2.- Nivel de oxígeno en el tanque: C_L determinado de la correlación indicada en la Figura 3.9A.

PROBLEMA 10.- Los aeradores de superficie son especificados para una Planta de Tratamiento de Lodo Activo, en un tratamiento de agua residual. Los requerimientos de oxígeno: 665 lb.O₂/hr.

Volumen del tanque: 1,200,000 gal.

Temperatura agua residual (verano): 30°C, $C_{sw} = 7.4$ mg/lit

Temperatura agua residual (invierno): 18°C, $C_{sw} = 10.3$ mg/lit

Tomando el nivel de oxígeno disuelto en el tanque como:

$$C_L = 1.0 \text{ mg/lit} \text{ y } \alpha = 0.72$$

Las características del aerador superficial seleccionado son dadas en la Figura 3.9A.

Diseñar el sistema de aireación para esta aplicación.

Paso 1.- Utilizar la Ec.(3.36)

$$\text{Verano: } T = 30^\circ\text{C; } C_{sw} = 7.4 \text{ mg/lit}$$

$$\text{Invierno: } T = 18^\circ\text{C; } C_{sw} = 10.3 \text{ mg/lit}$$

Para condiciones de verano:

$$N = N_o \frac{7.4 - 1.0}{9.2} \times 0.72 \times 1.024^{(30-20)} = 0.635 N_o$$

Para condiciones de invierno:

$$N = N_o \frac{10.3 - 1.0}{9.2} \times 0.72 \times 1.024^{(18-20)} = 0.694 N_o$$

Por lo tanto el que controla el diseño es la condición de verano (menor oxigenación).

Paso 2.-

1.- Estimar un nivel de potencia de 0.25 HP/1000 gal.

2.- De la Figura 3.9A leer $N_0 = 3.5 \text{ lb O}_2 / (\text{HP-Hr})$

3.- Entonces $N = 0.635 \times N_0 = 0.635 \times 3.5 = 2.22 \text{ lb O}_2 / \text{HP-Hr}$

4.- Los requerimientos de Potencia son calculados:

Requerimientos de oxígeno: 665 lb O₂/Hr

$$\begin{aligned} \text{Requerimientos de Potencia} &= \frac{(665 \text{ lb oxígeno/hr})(\text{HP-hr})}{2.22 \text{ lb O}_2} \\ &= 299.5 \text{ HP} \end{aligned}$$

5.- Se seleccionan 6 unidades de 50 HP cada una

Total HP = 6 x 50 = 300 HP

6.- El nivel de potencia es:

300 HP / 1200 miles de gal. = 0.25 HP/1000 gal.

lo cual concuerda con el valor supuesto.

El diseño es satisfactorio.

Paso 3.- El diámetro de influencia para unidades de 50 HP (ver la Fig. 3.9A) es de 60 ft. (o radios de influencia de 30 ft.) La distancia de espaciamiento de 56 ft. es seleccionada para proporcionar un traslape mínimo.

El área seccional transversal del tanque es:

$$A = 168 \times 112 = 18,816 \text{ ft}^2$$

y su volumen es en ft³,

$$V = (1200,000 \text{ gal/ft}^3) / 7.48 \text{ gal} = 161,000 \text{ ft}^3.$$

Por lo tanto la profundidad es:

$$H = 161,000 \text{ ft}^3 / 18,816 \text{ ft}^2 = 8.6 \text{ ft.}$$

El arreglo de los aeradores se muestra en la Figura 3.12

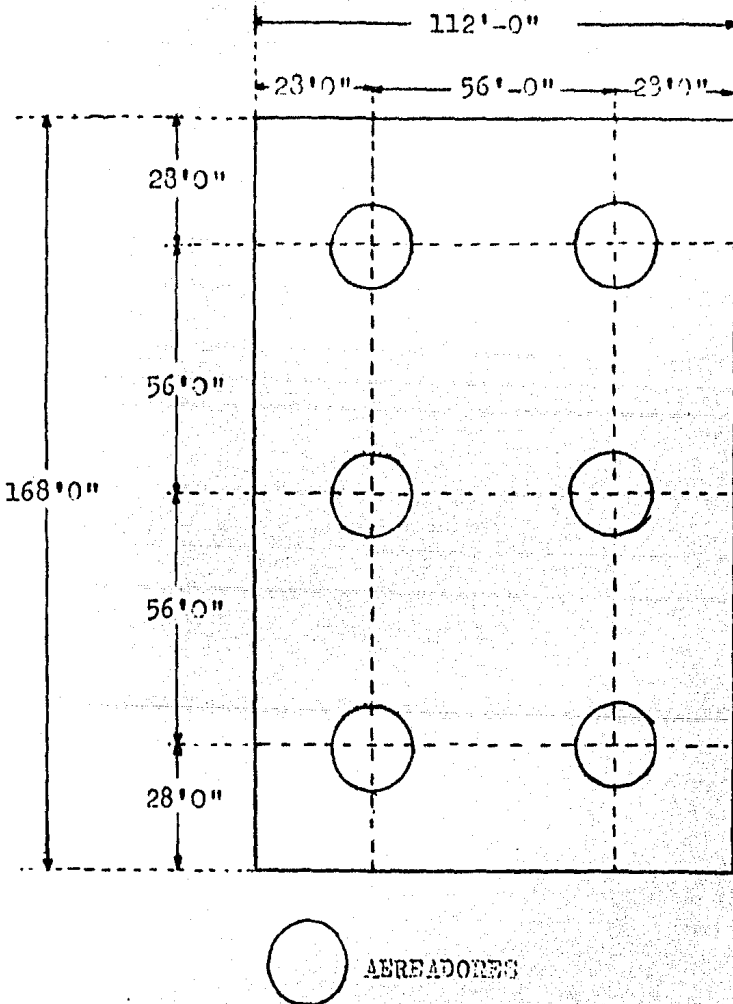


Figura 3.12 Arreglo de Aeradores para el Ejemplo de Aeradores de Superficie.

A P E N D I C E

FIGURAS, TABLAS Y GRAFICAS

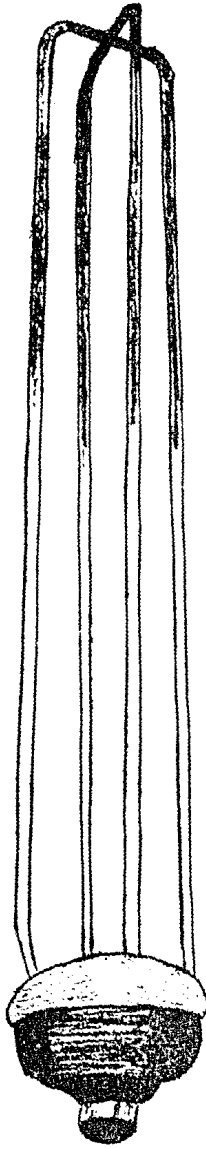


Figura 2.1A DIFUSOR DE BUBUJA PEQUEÑA: Excelente eficiencia de transferencia de oxígeno y buena capacidad de mezclado.

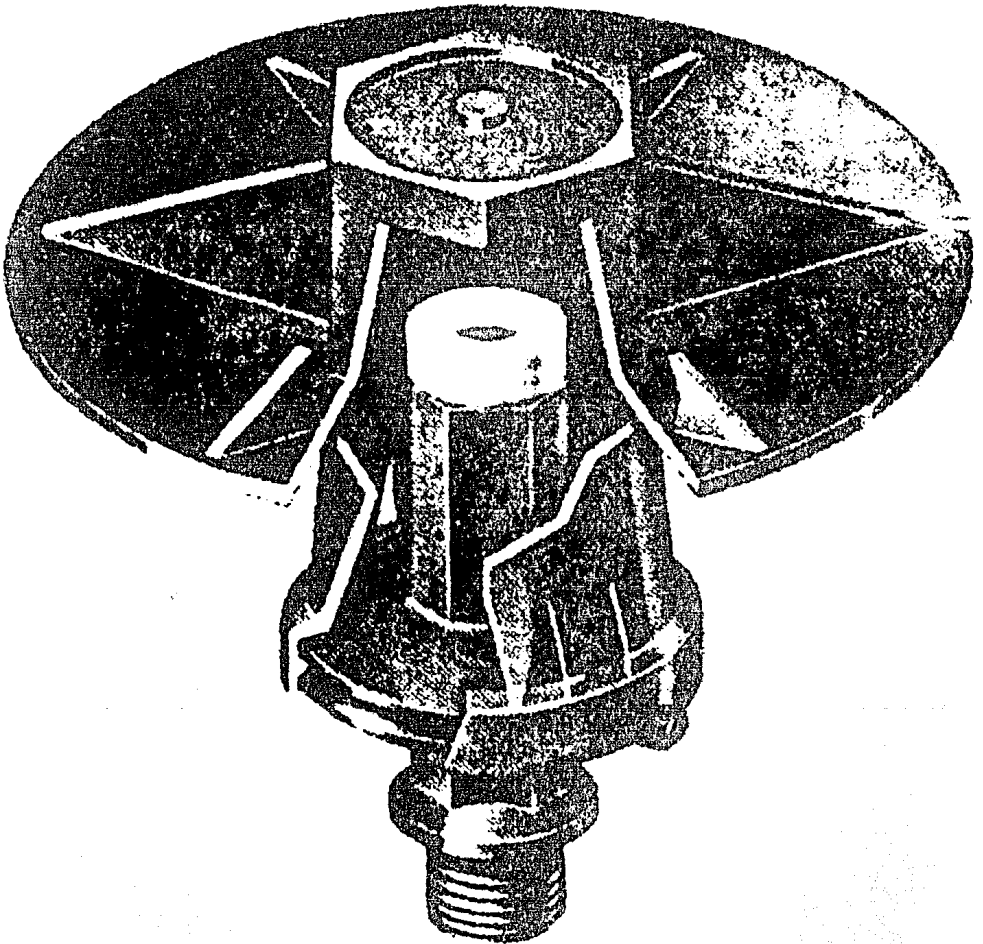


Figura 2.2A INYECTOR DE BOMBEA GRANDE: Esta unidad puede inyectar 25 GPM de aire al agua.

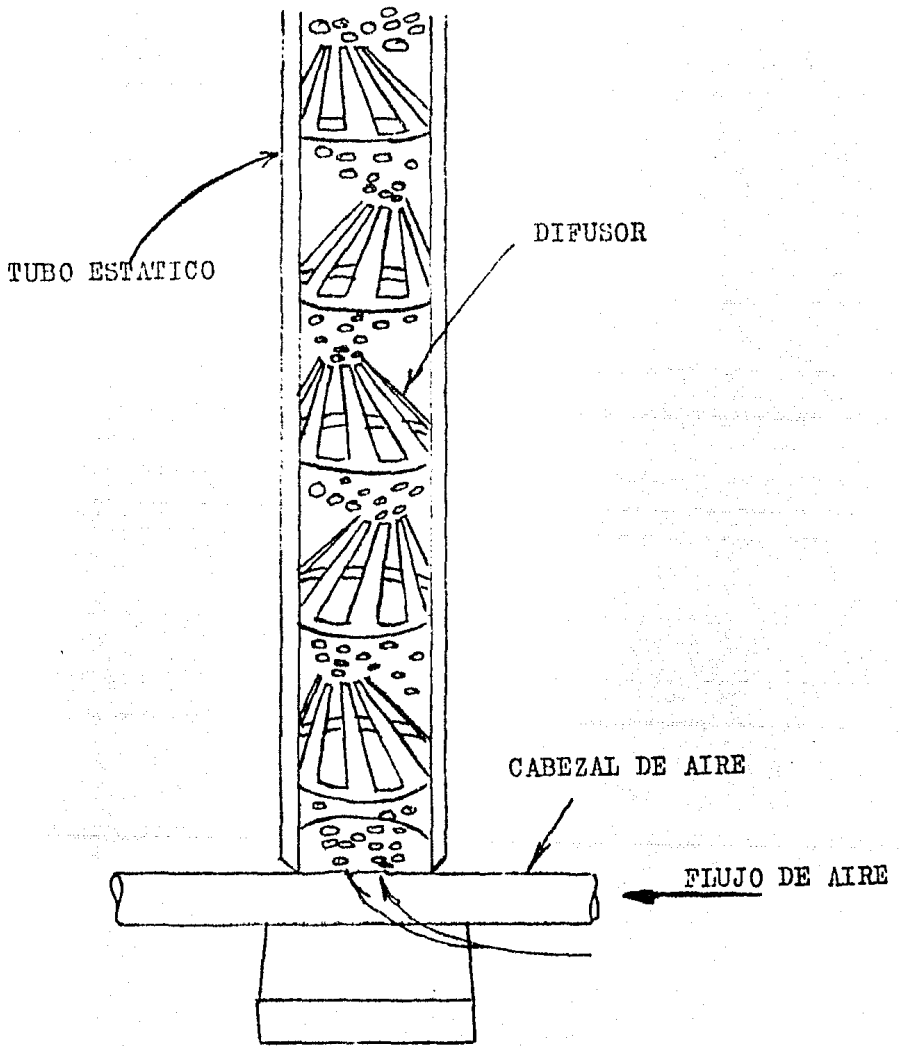


Figura 2.3A SISTEMA DE AERACION DE TUBO ESTÁTICO INMERSO: Se generan pequeñas burbujas de aire y se produce un mezclado intenso con el agua de entrada.

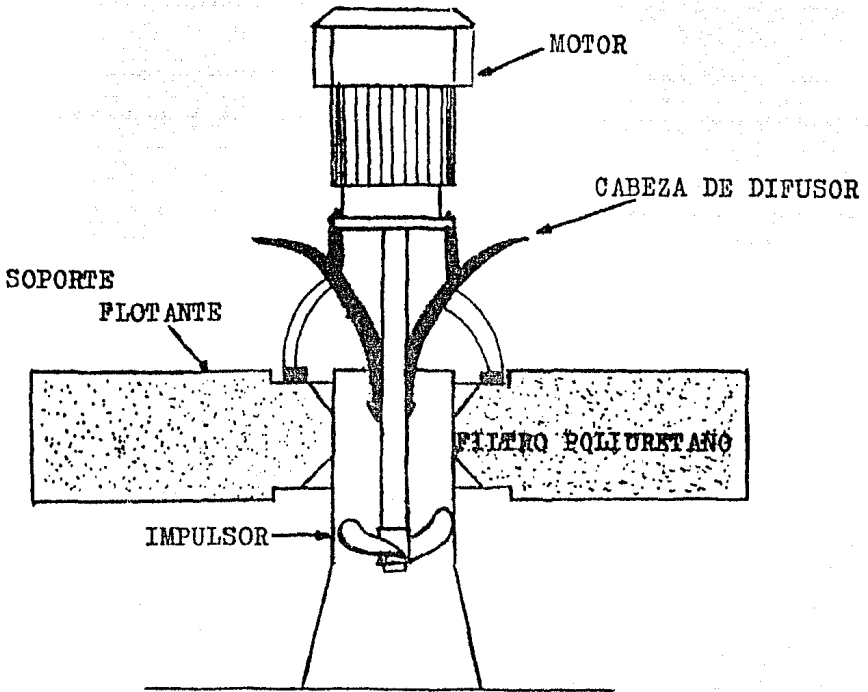


Figura 2.4A AERADOR DE SUPERFICIE DE TURBINA: Crea una acción bombeante periférica que esprea líquido a través de la superficie.

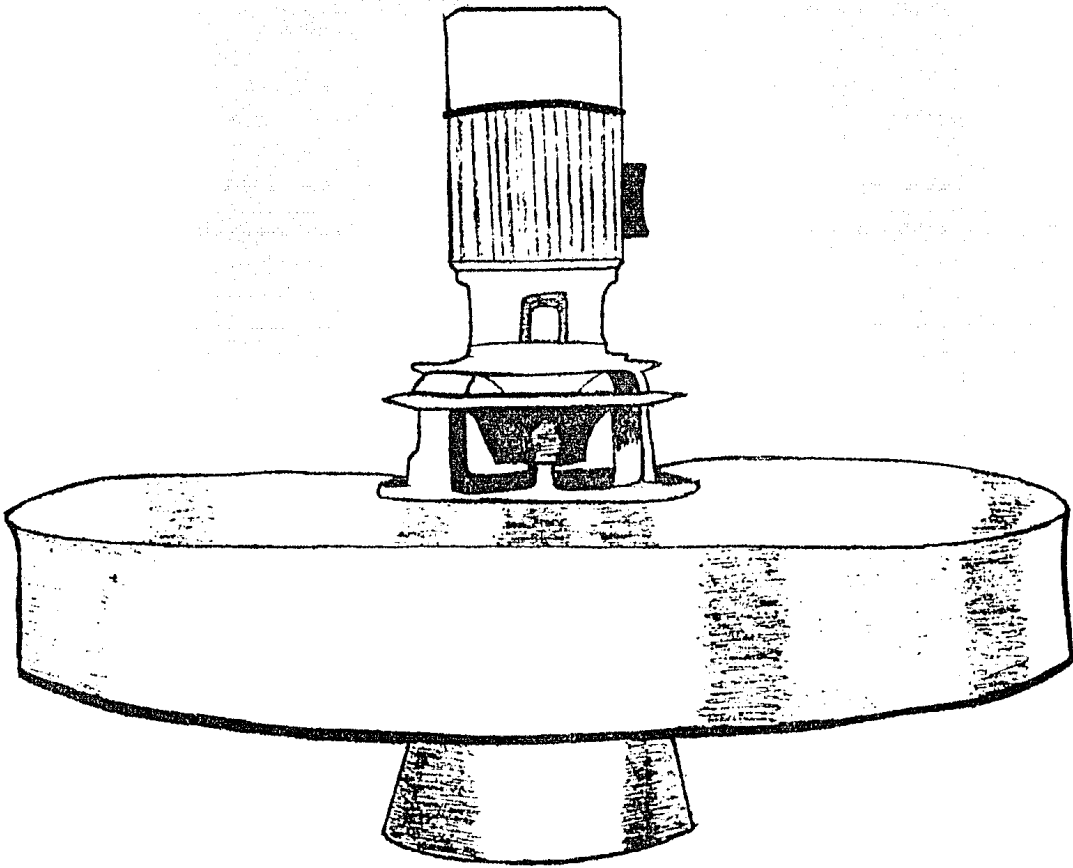


Figura 2.5A AERADOR FLOTANTE: Consiste de un motor especial, unidad de flotación integral, hidro-balance compuesto por un arreglo de sistemas de difusión e impulsor para impartir velocidad precisa a los fluidos para obtener óptimo tamaño de burbuja.

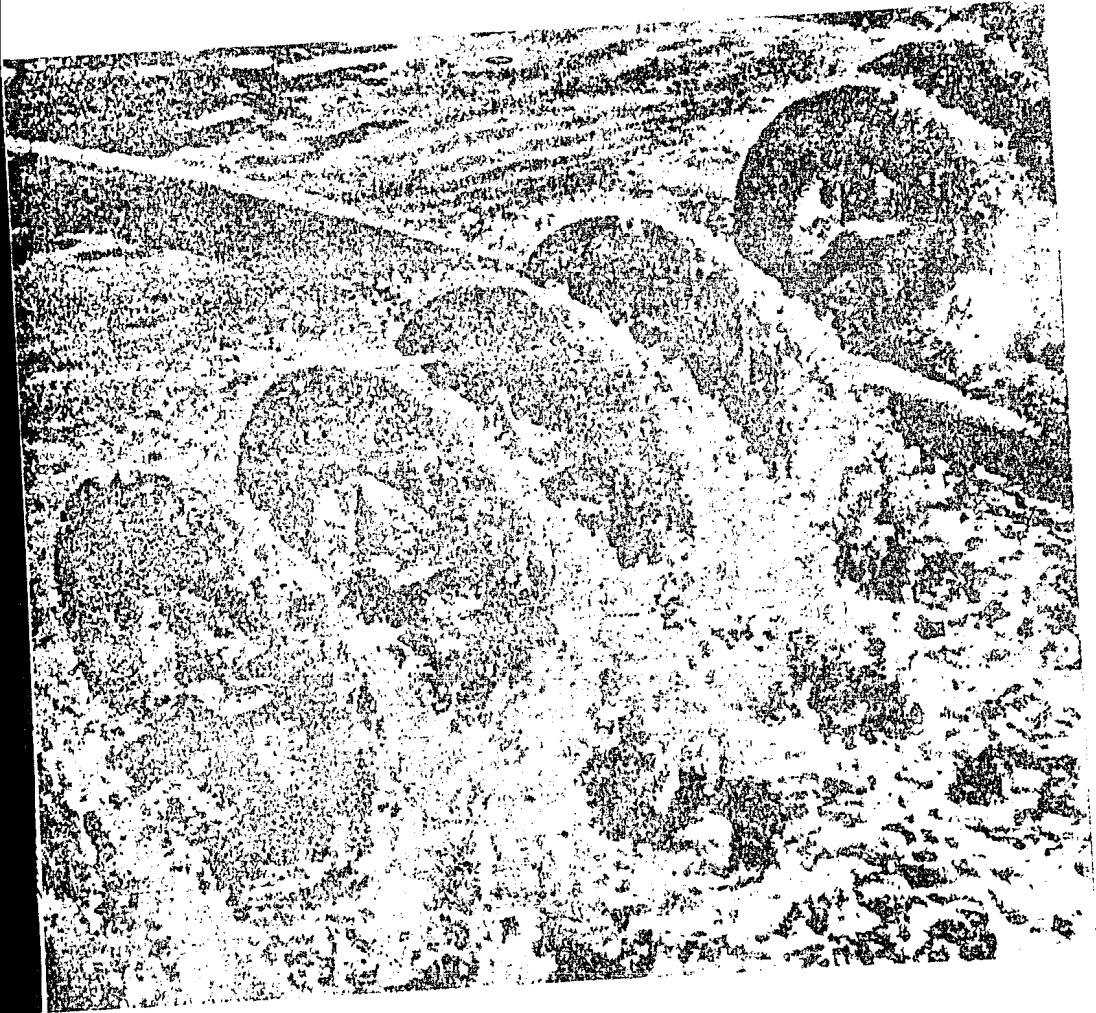


Figura 2.6A ABRIL 1969: Nota figura es parte de un sistema de corección de un multi-canal. Consiste de discos de corección de fibra de vidrio.

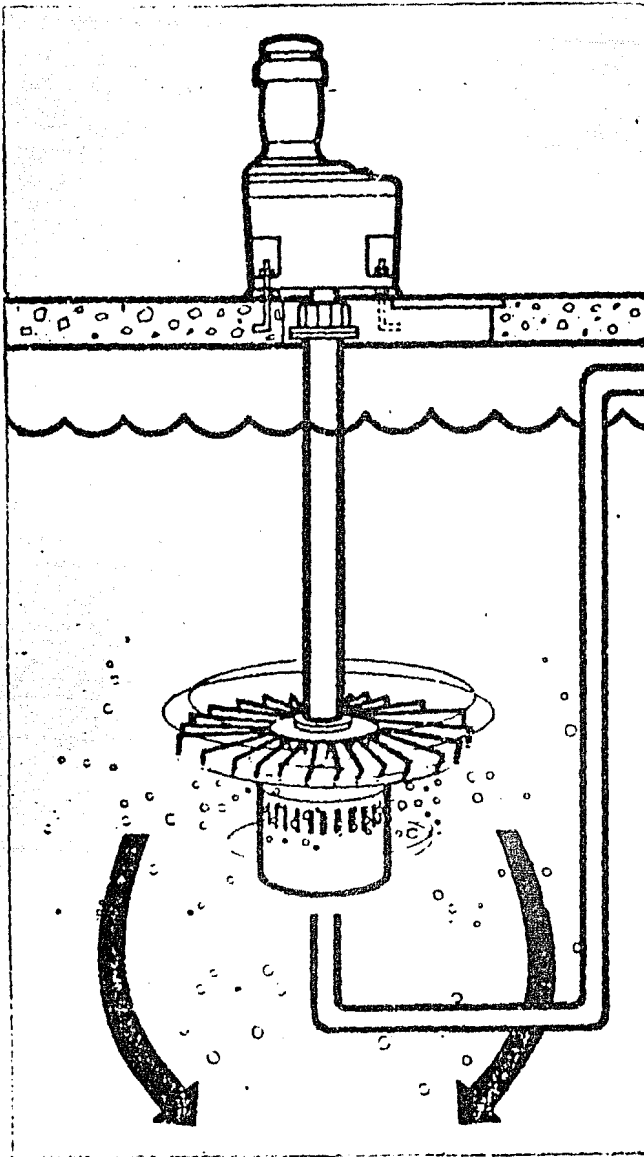


Figura 2.7A ABREADOR DE TURBINA INMERSA: Transfiere el O_2 y mezcla con turbinas, dispersando el aire —
bajo la superficie.

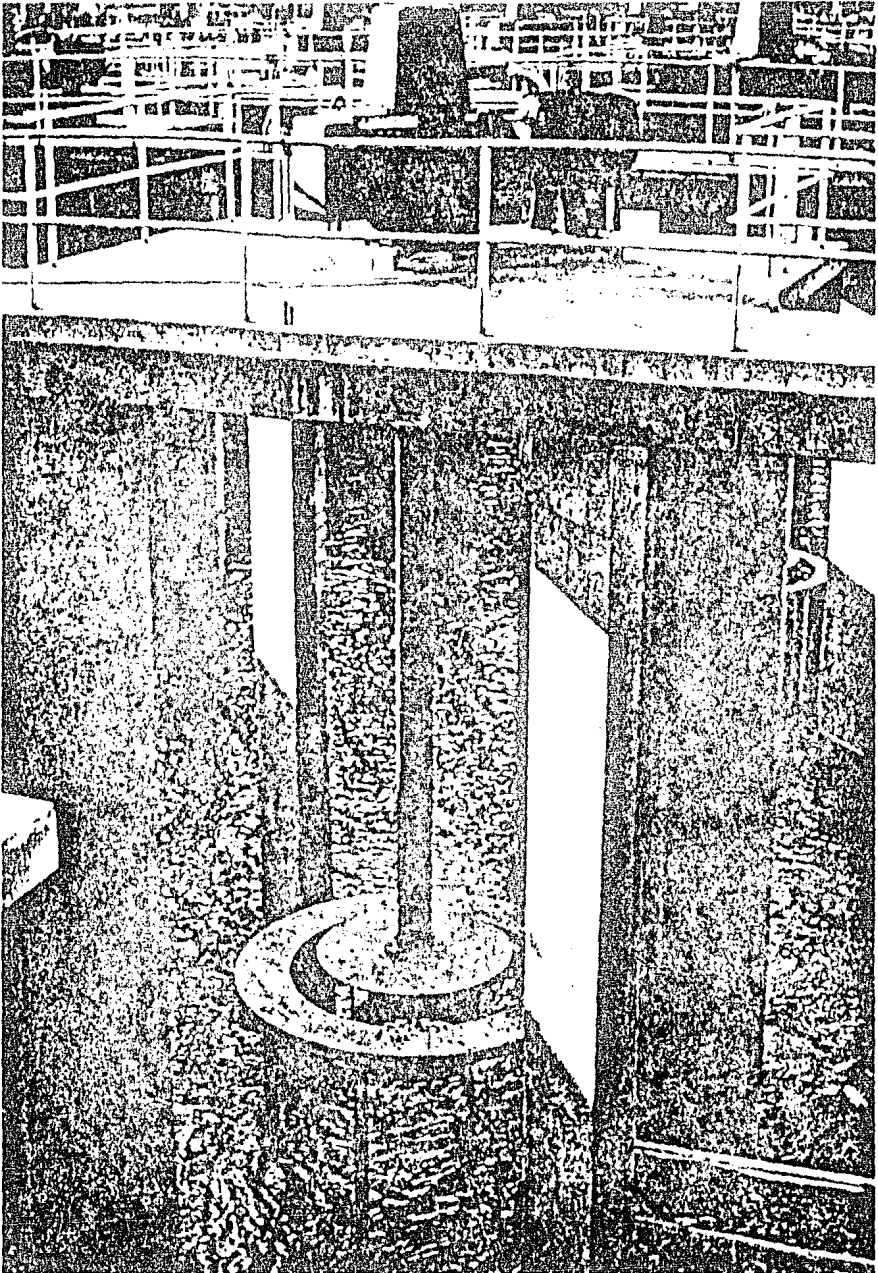


Figura 2.1.1. Vista interior de la cámara de combustión; tiene un impulsor rotatorio y un anillo difusor estacionario en el fondo.

TABLA 3.1 A

CONSTANTES DE LA LEY DE HENRY PARA AIRE Y OXIGENO
 $H \times 10^{-4}$, atm/fracción mol

T° C	AIRE:	O ₂
0	4.32	2.55
10	5.49	3.27
20	6.64	4.01
30	7.71	4.75
40	8.70	5.35
50	9.46	5.88
60	10.1	6.29
70	10.5	6.63
80	10.7	6.87
90	10.8	6.99
100	10.7	7.01

Ref. 17

TABLA 3.2 A

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE ABRACION DIFUSA

UNIDAD	C	n	CONDICIONES
Tubos Saram	0.16	0.90	9 in. espaciamento, banda ancha 14.4 ft. prof., 24 ft. ancho.
Tubos Saram	0.17	0.81	9 in. espaciamento, banda angosta 14.4 ft. prof., 24 ft. ancho.
Tubos Saram	0.15	0.92	9 in. espaciamento, banda angosta 14.4 ft. prof., 24 ft. ancho.
Sparjers	0.081	1.02	24 in. espaciamento, banda ancha 14.8 ft. prof., 24 ft. ancho.
Sparjers	0.062	1.02	9 in. espaciamento, banda angosta 14.3 ft. prof., 24 ft. ancho.
Sparjers	0.064	1.02	9/32 in. orificio, 25 ft. ancho, 15 ft. prof.
Sparjers	0.068	1.02	13/64 in. orificio, 25 ft. ancho, 15 ft. prof.
Tubos Platos	0.35	0.49	Arreglo sencillo; 25 ft. ancho, 15 ft. prof.
Tubos Platos	0.20	0.80	Arreglo doble; 25 ft. ancho, 15 ft. prof.
Sist. INKA	0.036	0.95	6.8 ft. ancho, 6 ft. profundidad, 2.6 ft. inmersión.

TABLA 3.3 A

VALORES DE SATURACION DE OXIGENO
PARA AGUA DESTILADA A CONDICIONES STANDARD (1 ATM.)

TEMPERATURA (° C)	TEMPERATURA (° F)	O ₂ (mg/litro)
0	32.0	14.6
5	41.0	12.8
10	50.0	11.3
15	59.0	10.2
20	68.0	9.2
25	77.0	8.4
30	86.0	7.6
35	95.0	7.1
40	104.0	6.6
45	113.0	6.1
50	122.0	5.6

Ref. 16

TABLA 3.4 A

FACTORES DE CORRECCION DE SOLUBILIDAD
Y TEMPERATURA PARA OXIGENO

TEMPERATURA °C	Solubilidad de Oxígeno en Agua - mg/lt.				Factor de
	TDS 400 mg/lt	TDS 800 mg/lt	TDS 1500 mg/lt	TDS 2500 mg/lt	Corrección Temperatura 1.024
0					0.621
1	14.14	14.07	13.96	13.80	0.637
2	13.74	13.68	13.58	13.42	0.653
3	13.44	13.38	13.28	13.12	0.669
4	13.04	12.98	12.89	12.75	0.684
5	12.74	12.68	12.59	12.45	0.701
6	12.44	12.38	12.29	12.15	0.717
7	12.15	12.10	12.00	11.88	0.734
8	11.85	11.80	11.70	11.58	0.752
9	11.55	11.50	11.42	11.30	0.770
10	11.25	11.20	11.12	11.00	0.789
11	11.06	11.01	10.94	10.82	0.808
12	10.76	10.71	10.64	10.52	0.827
13	10.56	10.51	10.44	10.32	0.847
14	10.36	10.32	10.25	10.15	0.867
15	10.16	10.12	10.05	9.95	0.888
16	9.96	9.92	9.85	9.75	0.909
17	9.66	9.62	9.55	9.45	0.931

CONTINUACION

TABLA 3.4A

TEMPERATURA °C	Solubilidad de Oxígeno en Agua - mg/lt.				Factor de
	TDS 400 mg/lt	TDS 800 mg/lt	TDS 1500 mg/lt	TDS 2500 mg/lt	Corrección Temperatura 1.024
18	9.46	9.43	9.36	9.27	0.954
19	9.36	9.33	9.26	9.17	0.977
20	9.16	9.13	9.06	8.97	1.000
21	8.96	8.93	8.86	8.77	1.024
22	8.77	8.73	8.68	8.60	1.049
23	8.67	8.63	8.58	8.50	1.074
24	8.47	8.43	8.38	8.30	1.100
25	8.37	8.33	8.28	8.20	1.123
26	8.17	8.13	8.08	8.00	1.153
27	8.07	8.03	7.98	7.90	1.181
28	7.87	7.83	7.78	7.70	1.209
29	7.77	7.73	7.68	7.60	1.238
30	7.57	7.53	7.48	7.40	1.268
32	7.4*				1.330
34	7.2*				1.394
36	7.0*				1.461
38	6.8*				1.532
40	6.6*				1.607

* TDS = Cero Sólidos Totales Disueltos
Ref. 22

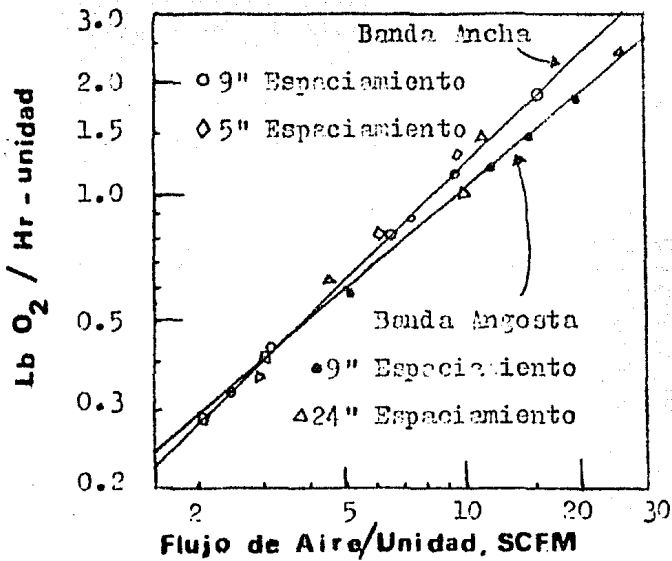


Figura 3.1A Transferencia de Oxígeno de Tubos de Saram
en Agua. Ref 7

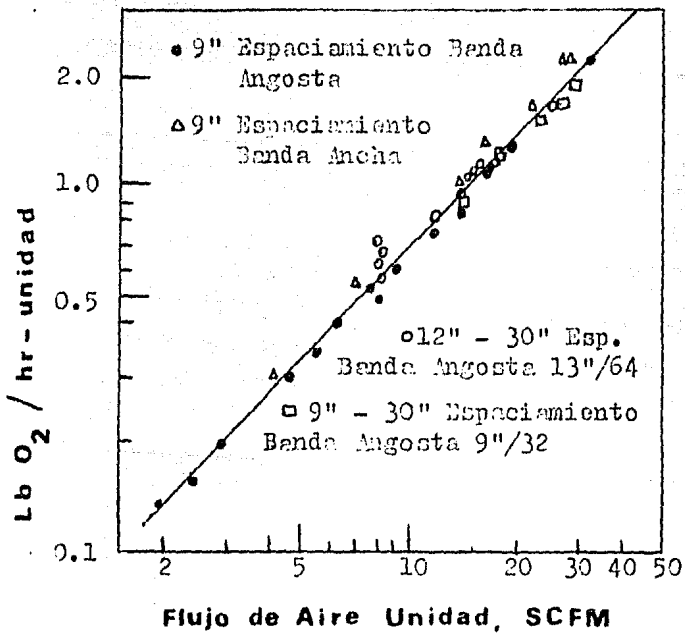


Figura 3.2A Transferencia de Oxigeno de Sparjers en
© Agua. Ref 7

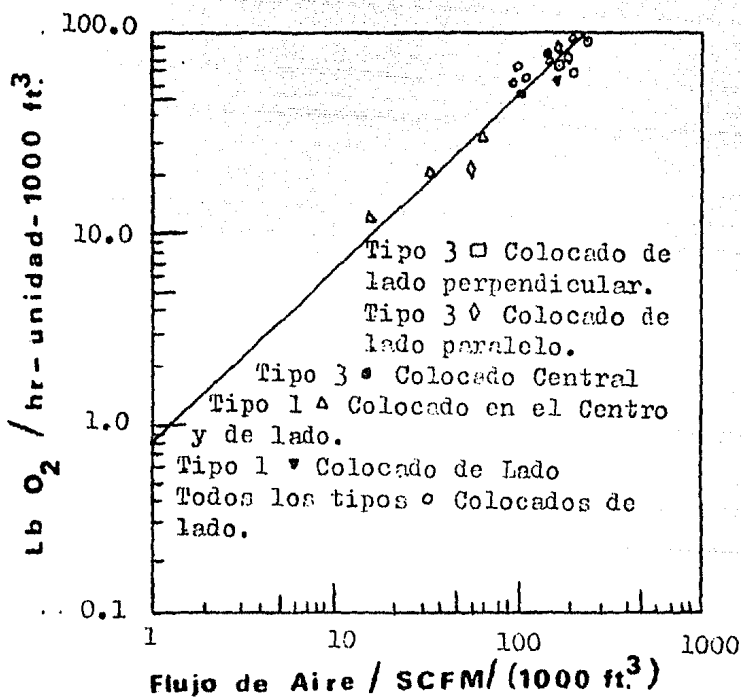


Figura 3.3A Características de Transferencia de Oxígeno Del Sistema de Acreción INKA. Ref 7

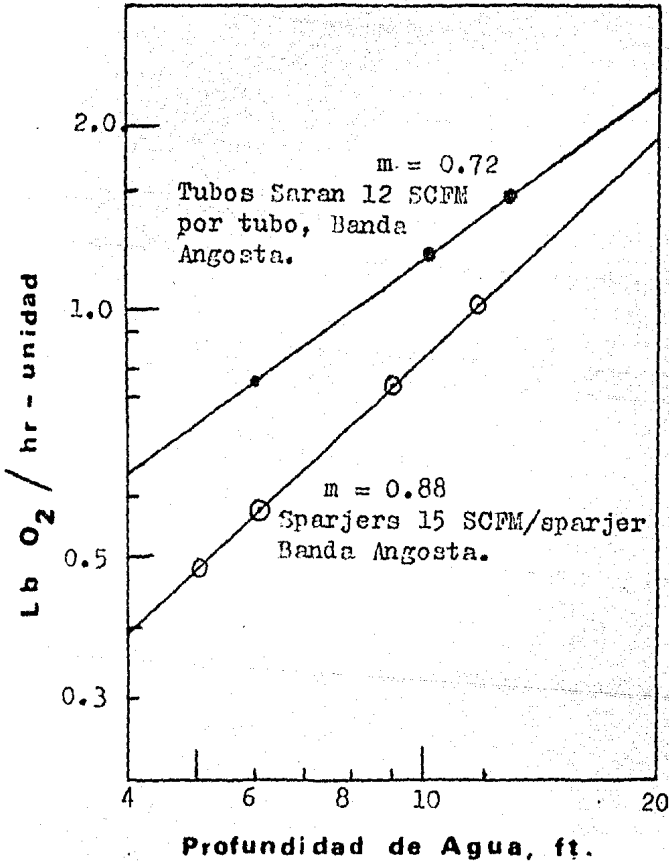


Figura 3.4A Efecto de la Profundidad de Líquido en la Transferencia de Oxígeno, en Equipo de Di fusión de Aire. Ref 7

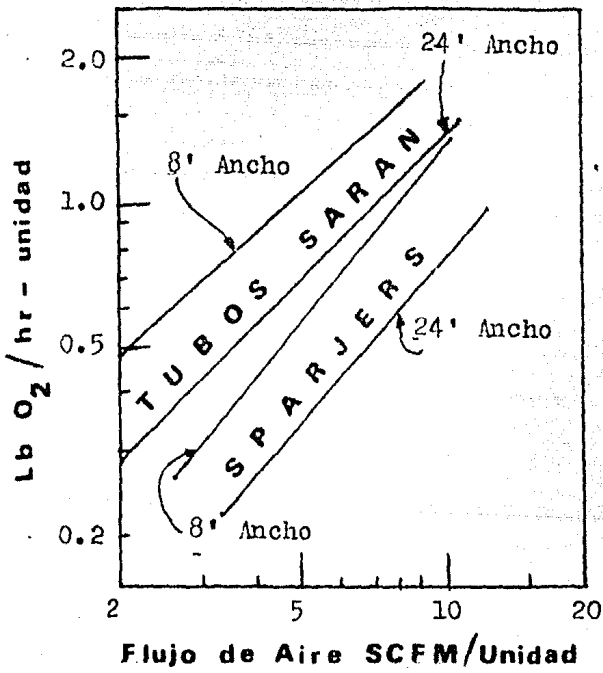


Figura 3.5A Efecto del ancho del Tanque en la Transferencia de Oxígeno en Sistemas de Acreación de Burbujas. Ref 7

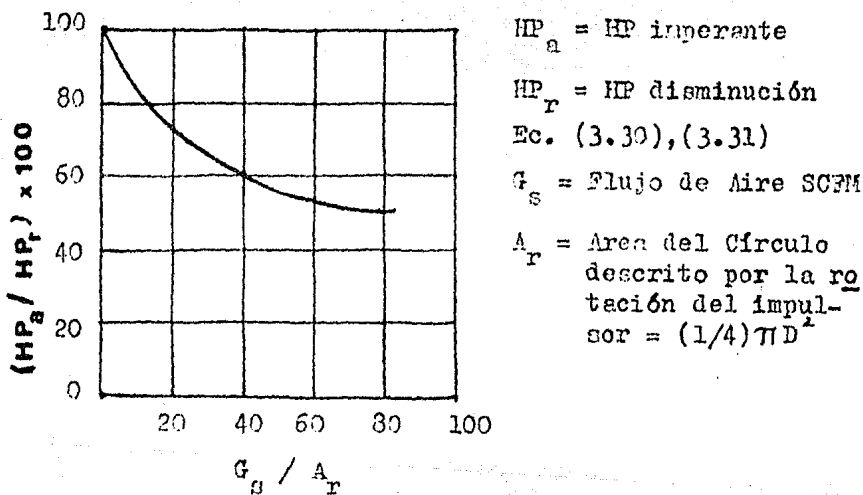


Figura 3.6A. Efecto de la Velocidad del Aire sobre la Potencia de la Turbina. Ref 16

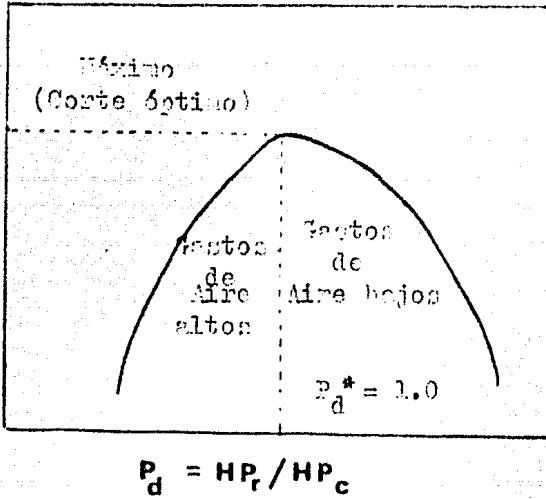


Fig. 3.7A Correlación para Potencia de Corte para Unidades de Turbina. Ref 16

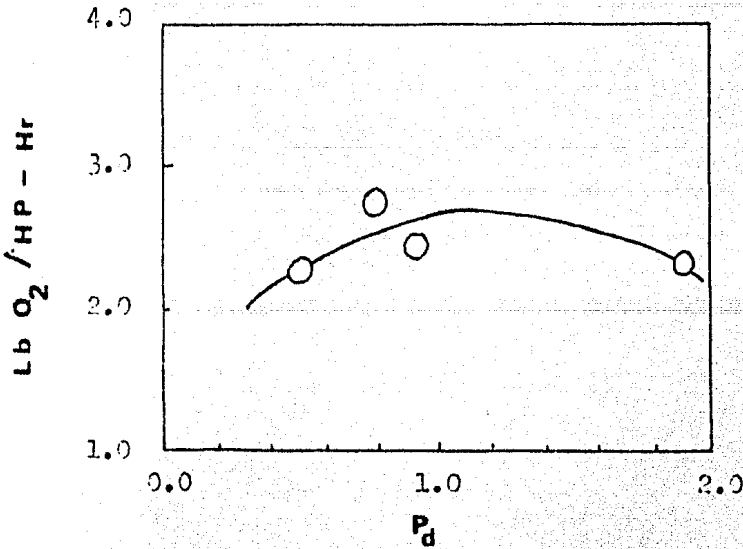


Fig. 3.7aA. Transferencia de Oxígeno para Sistemas de Aereación de Turbinas. Ref 7

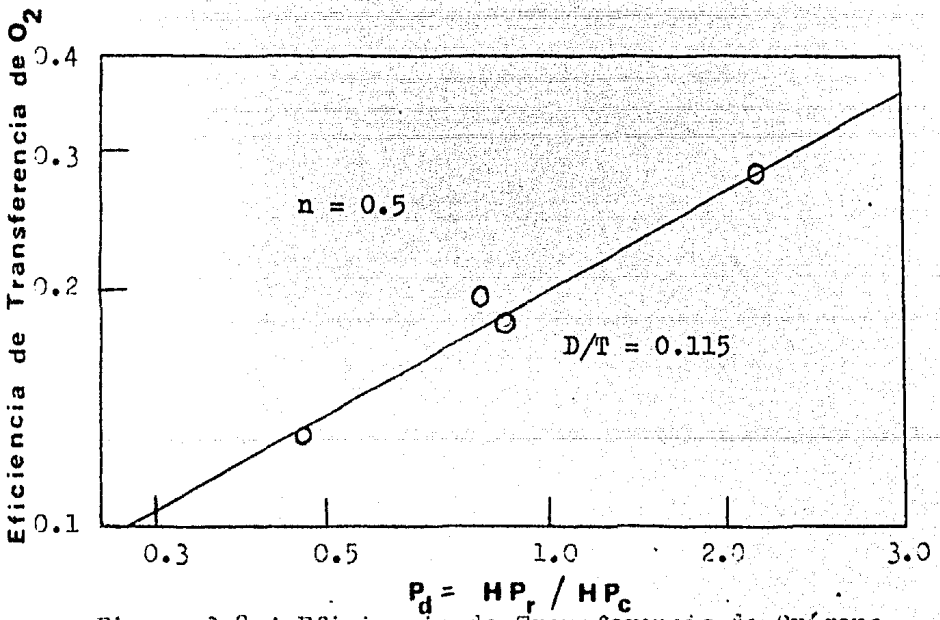
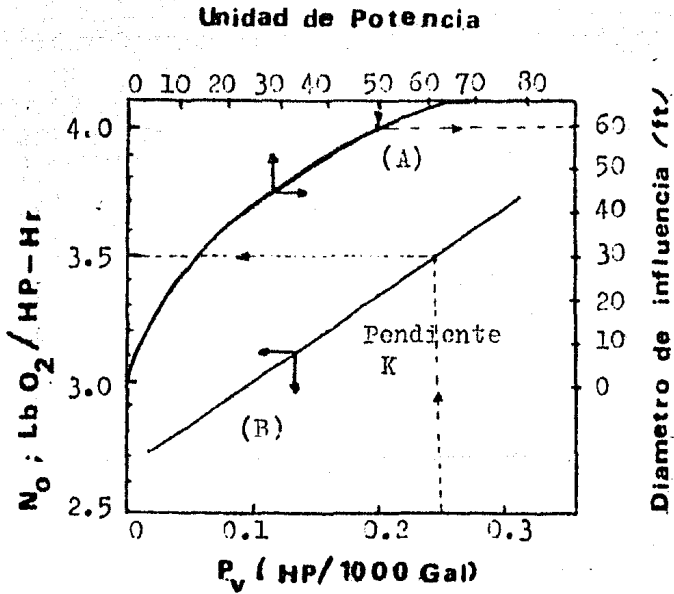


Figura 3.8 A Eficiencia de Transferencia de Oxígeno para Sistemas de Aceleración de Turbinas Ref. 7



- (A) Correlación de Diámetro de Influencia Contra Unidad de Potencia
- (B) Correlación Lineal de lb. O_2 /(HP)(hr) contra HP/1000 gal.

Fig. 3.9A. Características del Aerador de Superficie.
Ref 16

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se concluye que en general, los aeradores de superficie dan una transferencia de oxígeno mayor que la de los otros dos tipos de aeradores, siendo la transferencia de oxígeno de los aeradores de difusión y los de turbina inmersa del mismo rango.

En lo que se refiere a costos de operación, los de aeradores de difusión son los mas bajos ya que no requieren energía adicional para efectuar la aereación.

En los costos de mantenimiento tanto los aeradores de difusión como los de turbina tienen costos elevados, uno por que requiere limpieza periódica por rápida obstrucción y el otro por tener la tubería inmersa, siendo el aerador de superficie el que tiene el costo de mantenimiento mas bajo.

La suspensión de sólidos en los tres tipos de aeradores es buena dependiendo de ciertas condiciones: en el de difusión se requiere tanques poco profundos y el aerador de superficie debe tener elevados flujos de aire.

En lo referente a potencia, el de turbina requiere mayor cantidad debido a su baja transferencia de oxígeno.

La principal desventaja que tienen los aeradores tanto de turbina inmersa como los de superficie es que no se pueden usar en todos los climas, como los aeradores de difusión, debido a que los sistemas se congelan en climas frios.

En la aereación es recomendado determinar el Coeficiente de Transferencia de Masa Total $K_L a$ en forma experimental.

En todos los sistemas se debe corregir $K_L a$ a la temperatura de operación, cuando esta sea diferente a la standard.

En lo referente a la corrección de $K_L a$ para la presión de operación, en los aeradores de difusión y en los de turbina inmersa se requiere tomar en consideración la presión hidrostática, ya que la saturación de oxígeno esta relacionada a la presión parcial de oxígeno en la fase gas.

La información obtenida, en algunos casos fue difícil de encontrar, por ejemplo los datos de funcionamiento de los Aeradores de Turbina Inmersa reportados en este trabajo, fueron obtenidos de los reportados en la literatura por MCINNIS DER Y RAMALHO, debido a que los solicitados a los fabricantes no fueron proporcionados.

En otros casos la información fue imposible de obtener como es la referente a Costos de Aeradores, esta fue solicitada a la Administración Federal de Control de Contaminación de Agua (FWPCA) de los Estados Unidos de Norteamérica, que es la que reporta dicha información, pero no fueron proporcionados.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- BRESCHLIEVRE EDMUND B., The Treatment of Industrial Wastes Mc. Graw Hill, Nueva York, 1976, pp. 201 - 203.
- 2.- CASEY T.J. and KARFO O.T., The Influence of Suspended Solids on Oxygen Transfer in Aeration Systems, Water Research 8, Pergamon Press, Gran Bretania, 1974, pp. 805 - 811.
- 3.- CHEREBESINOFF PAUL N., Aerators for Waste Water Treatment, Pollution Engineering, Marzo, pp. 41 - 50, 1974.
- 4.- ECKENFELDER W.W. and O'CONNOR D.J., Biological Waste Treatment, Pergamon Press, Oxford, 19761, pp. 76 - 121.
- 5.- ECKENFELDER W.W. and FORD D.L., Water Pollution Control, Pemberton Press, Austin y Nueva York, 1970, pp. 91 - 121.
- 6.- ECKENFELDER W.W., Water Quality Engineering for Practicing Engineers, Barnes y Noble, Nueva York, 1970, pp. 134 - 153.
- 7.- ECKENFELDER W.W. and FORD D.L., Advances in Water Quality Improvement, University of Texas Press, Austin, 1968, pp. 215 - 236.
- 8.- HUANG JERRY Y.C., Selecting Aerators for Wastewater Treatment, Plant Engineering, 29, 26, pp. 65 - 69, Diciembre, 1975.
- 9.- LANDSBERG G.G., System Considerations for the Design, Installation and Operation of Mechanical Aerators, ASME Publication, Engineering Applications Conference, Baltimore, Mayo 18 - 21, pp. 1 - 8, 1975.

- 10.- MARVIN DONALD S. and BEWTRA JATINDERY, Efficiency of Diffused Aeration Systems in Waste Water Treatment, Journal Water Pollution Control Federation, 48, 10, pp. 2273 - 2283 Octubre, 1976.
- 11.- MURCADO and EDDY, Waste Water Engineering: Collection, Treatment and Disposal, Mc. Graw Hill, Nueva York, 1972, pp. 505 - 519.
- 12.- NORDELL ESKEEL, Water Treatment for Industrial and Other Uses, Reinhold, Nueva York, 1951, pp. 233 - 248.
- 13.- RAMALHO R.S., Principles of Activated Sludge Treatment, Hydrocarbon Processing, Octubre 1978, pp: 112 - 118.
- 14.- RAMALHO R.S., Principles of Activated Sludge Treatment, Hydrocarbon Processing, Noviembre 1978, pp. 275 - 280.
- 15.- RAMALHO R.S., Principles of Activated Sludge Treatment, Hydrocarbon Processing, Diciembre 1978, pp.147 - 152.
- 16.- RAMALHO R.S., Introduction of Wastewater Treatment Processes, Academic Press, Nueva York, 1977, pp. 126 - 154.
- 17.- RICH LINVIL G., Unit Operations of Sanitary Engineering, Willey and Sons. Inc., 1970, pp. 171 - 188.
- 18.- ROSENZWEIG MARK D., Waste Water Processing Advances Underground, Chemical Engineering, Agosto 4, pp. 46 - 48, 1975.
- 19.- SCHMIT FRANK L., WREN JEROME D. and REDMON DAVID T., The Effect of Tank Dimensions and Diffuser Placement on Oxygen Transfer, Journal Water Pollution Control Federation, Julio 1978, pp. 1750 - 1757.
- 20.- STUKENBERG R. JOHN and WABBEH VALERY N., Surface Aeration Equipment: Field Testing versus Shop Testing, Journal Water Pollution Control Federation, Diciembre 1978, pp. -- 2677 - 2686.

21.- Jet Aerator has High Oxigenation Capacity, Chemical Engineering, Mayo 13, pp. 70, 1974.

22.- ASHBROOK Catalogo, 1978.