

102

**INGENIERÍA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE
ZANJAS DE OXIDACIÓN**

JOSÉ MANUEL OROCIO CABRERA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR DE TESIS
M.I. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ**

2001

278157



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/081/00

Señor
JOSE MANUEL OROCIO CABRERA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"INGENIERIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES MEDIANTE ZANJAS DE OXIDACION"**

- I. FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS
- II. PRINCIPIOS DE DISEÑO
- III. CONSTRUCCION
- IV. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 18 de julio de 2000
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/astg.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios la existencia y el que me haya dado fortaleza, paz y paciencia.

A mis padres por su comprensión, apoyo, cariño y confianza; los valores que me inculcaron han sido mi principal herramienta para salir adelante.

Especialmente a ti mamá por darme este don tan maravilloso ¡LA VIDA!

A mis hermanos: Jesús, Arturo, Alfredo y José por su apoyo; ayudándome siempre en los momentos difíciles.

A mis primos: Guadalupe, Leonardo, Víctor, Joel, Antonio, Salvador y primas: Azucena, Eriviana, Gabriela, Luciana, Isabel, Leticia, Griselda, Silviana, Paulina y Angeles por alentarme con sus consejos.

A mi tío Fidel Villegas y familia por su apoyo y amistad.

En general a todos mis familiares que siempre me han apoyado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución.

A la Facultad de Ingeniería por la preparación, conocimientos y formación otorgados, los cuales han ampliado mi desarrollo en diferentes ámbitos.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería por su esfuerzo, dedicación y experiencia brindados.

Por su tiempo, colaboración, apoyo, confianza y esfuerzo agradezco al M.I. Enrique César Valdez por haber aceptado dirigir este trabajo, su experiencia y disposición han sido de valiosa ayuda para la elaboración y culminación del mismo.

A los ingenieros Federico Alcaraz Lozano, Alejandro Sánchez Huerta, Jorge Luis Grajales Escarpulli y Carmelino Zea Constantino, por haberme dedicado parte de su tiempo y tomarse la molestia de aceptar ser mis sinodales.

Al ingeniero Miguel Angel González López por su amistad y ayuda.

A los ingenieros Jorge Duran y Gabriel Sánchez por haberme dado la oportunidad de colaborar con ellos, de quienes aprendí mucho.

A Ulises, Francisco, Adriana, Emigdio, Carlos, Arturo, Omar, Julieta y Jorge Enrique por su amistad, compañía y apoyo.

Mi más cordial y sincero agradecimiento a mis grandes amigos Jaime Neri y Martha Angel por su apoyo incondicional, preocupación, interés y amistad mostrados desde el primer día que convivimos; relación que creció aún más en el transcurso de mi carrera.

¡GRACIAS!

INDICE

INTRODUCCIÓN

1.- FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS	
1.1 Orígenes del tratamiento de aguas residuales	1.1
1.2 Elementos del tratamiento biológico	1.2
1.3 Minerales esenciales	1.4
1.4 Ecología de los sistemas de tratamiento	1.5
1.5 Nivelación de las cargas	1.6
1.6 Cinética del tratamiento	1.7
1.7 Tiempo de tratamiento	1.8
1.8 Efectos de la temperatura	1.9
1.9 Requerimientos de aire	1.10
1.10 Volúmenes de flóculos	1.10
1.11 Pruebas de laboratorio	1.11
1.12 Intensidades de carga	1.12
1.13 Eficiencia del tratamiento	1.13
1.14 Procesos biológicos	1.14
1.15 Sistema de lodos activados	1.25
1.16 Modificaciones del sistema de lodos activados	1.26
2.- PRINCIPIOS DE DISEÑO	
2.1 Diseño de las unidades	2.1
2.2 Diseño del proceso	2.34
2.3 Diseño hidráulico	2.35
2.4 Generalidades del estudio de mecánica de suelos para la construcción de las zanjas de oxidación	2.36
3.- CONSTRUCCIÓN	
3.1 Trabajos preliminares	3.1
3.2 Obra civil	3.3
4.- OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
4.1 Problemas operativos	4.1
4.2 Mantenimiento preventivo	4.10
4.3 Mantenimiento correctivo	4.13
4.4 Conservación	4.19
5.- CONCLUSIONES	

INTRODUCCIÓN

No puede dependerse de la propia naturaleza para que a través de la autodepuración se manejen los efluentes residuales líquidos, por lo que ha sido necesario establecer criterios para separar las sustancias, materia y energía que han sido agregadas al agua, llevando a cabo procesos físicos, químicos y biológicos para devolverle al vital líquido las características necesarias para su reuso.

El nivel de tratamiento es de acuerdo al reuso que se le pretenda dar al agua y a los procesos de tratamiento que se utilizan; éstos pueden ser físico-químicos o biológicos. En lo referente a los tratamientos biológicos las bacterias que realizan la degradación pueden ser de tipo aerobio, anaerobio o facultativo.

En las unidades de lodos activados, el crecimiento de los flóculos microbianos producidos dentro de las aguas residuales sedimentadas y retornados sistemáticamente a ellas, se mantienen aerobios, en suspensión y en circulación, ya sea por medio de una agitación mecánica o neumática.

El sistema está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar la materia orgánica.

Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas residuales, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez.

Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos, y que la relación del volumen de los lodos agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante.

El proceso de zanjas de oxidación, corresponde a la segunda fase del tratamiento de aguas residuales, llamada tratamiento secundario. Involucra la oxidación biológica de la materia orgánica hacia formas estables, esta oxidación es seguida por una sedimentación final y una desinfección.

El objetivo de este trabajo es plantear las condiciones para el diseño de zanjas de oxidación, así como las diferencias que presenta éste proceso con respecto al de lodos activados convencional. El trabajo incluye desde características particulares de los procesos biológicos, hasta la elección del procedimiento constructivo y las diversas formas de mitigar y eliminar los problemas de operación y mantenimiento que pudieran presentarse.

En el primer capítulo se explican los componentes de los procesos del tratamiento biológico, para conocer un poco más las bases y elementos a través de los cuales se desarrolla este tipo de tratamiento y consecuentemente el proceso de zanjas de oxidación. Se describen brevemente los métodos en que se divide el tratamiento biológico con sus respectivas clasificaciones, para saber el origen de las zanjas de oxidación e identificar la variación del método del cual son resultado.

En el segundo capítulo se tratan características generales para el diseño de las zanjas de oxidación, incluye condiciones del estudio de mecánica de suelos, hidráulicas, de las unidades y del mismo proceso. Se establecen las ecuaciones en la secuencia necesaria para llevar a cabo el cálculo para el diseño de las zanjas de oxidación.

En el capítulo tres se plantean las actividades a desarrollar para la construcción de las zanjas de oxidación, que consisten en trabajos preliminares (desmonte, despalme, trazo y nivelación), así como los materiales necesarios, la mano de obra y equipo que en general se requiere para realizar adecuadamente la construcción.

En el cuarto capítulo se presentan los problemas más comunes que pueden ocurrir en el proceso de zanjas de oxidación, así como las diferentes etapas de mantenimiento y conservación que se requiere para que funcione el sistema adecuadamente.

En el quinto capítulo se anotan las conclusiones a las cuales se llegó durante el desarrollo del presente trabajo y recomendaciones que se pueden aplicar no sólo en la construcción de zanjas de oxidación, sino en cualquier proceso de tratamiento de agua residual.

**CAPÍTULO
1****FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS**

En este capítulo se describen brevemente los procesos biológicos que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas residuales, la calidad del agua que se obtenga a través del tratamiento dependerá del conocimiento de las características de estos elementos.

La clasificación de los procesos biológicos se hace para ubicar el origen del proceso de zanjas de oxidación, el cual es una variación del proceso de aireación extendida, que es a su vez una de las variantes del sistema de lodos activados, que es un proceso de cultivo en suspensión.

1.1. Orígenes del tratamiento de aguas residuales

El desarrollo histórico de las obras de ingeniería para el tratamiento biológico de las aguas residuales se inicia, principalmente, con las granjas de aguas residuales y continúa a través de los filtros intermitentes de arena y los lechos de contacto, hasta los filtros goteadores y las unidades de lodos activados.

En los depósitos arenosos de Nueva Inglaterra, se continuó el tratamiento de aguas residuales por filtración intermitente a través de arena, en tanto que pudieron intensificarse las dosificaciones y mejorarse el comportamiento mediante el pretratamiento de las aguas residuales aplicadas en tanques de sedimentación, y finalmente, en unidades biológicas.

Con el tiempo, la carga efectiva y el rendimiento de los lechos, que originalmente se operaban sobre un ciclo de llenado y vaciado seguido de reposo, se pudieron aumentar apreciablemente al añadir boquillas que descargaban las aguas residuales entrantes sobre el medio de contacto en corrientes substancialmente constantes y más o menos saturadas con oxígeno. Ya no se continuó llenando los lechos con aguas residuales, sino que se dejaron abiertos al aire, a todo lo largo de su profundidad, de manera que las aguas residuales pudiesen gotear sobre las superficies de contacto hacia el sistema inferior de drenado, mientras que el aire barría los lechos y los mantenía aerobios.

La investigación de laboratorio condujo a construir las unidades de lodos activados, en las que se proporcionaba aire a las aguas residuales y a los flóculos de microorganismos, con el propósito de mantener aerobias las unidades, a pesar de la elevada concentración de organismos vivientes y los flóculos en suspensión, no obstante la ausencia de un medio de contacto fijo.

Existían sistemas que no eran adecuados para la difusión de aguas residuales a suelos compactos, y la disponibilidad creciente del agua abastecida por tuberías, con el consiguiente uso mayor de agua, sobrecargó la capacidad de absorción hasta de los suelos moderadamente permeables. Se necesitaron mejores sistemas de tratamiento para remover las aguas residuales. Se pusieron eventualmente en el mercado plantas paquete que incorporaban unidades biológicas de tamaño pequeño. Sin embargo, se necesitaba un método de tratamiento menos costoso para las comunidades pequeñas. Este se suministró eventualmente bajo la forma de tanques relativamente poco profundos o, estanques de oxidación o de estabilización. Estas estructuras simples abrieron un amplio camino a la remoción de aguas residuales que, desde entonces, se ha explorado y explotado.

1.2. Elementos del tratamiento biológico

El tratamiento biológico de las aguas residuales no se concibe y practica como una sola operación, sino como una combinación de operaciones interrelacionadas que pueden diferir en distribución espacial, proceder a diferentes velocidades en el tiempo y llevarse a cabo por masas biológicas que sean disímbolas en estructura.

La primera operación, es la transferencia de las impurezas desde las aguas residuales de la película, flóculo, u otras formas de las biomazas por contacto interfacial, así como con las adsorciones y absorciones asociadas. Esta operación es rápida y efectiva si la interfase existente entre el líquido y la biomasa es grande; si entre una y otra etapa, el gradiente de concentración de las sustancias que se van a remover es pronunciado y, si las películas obstructivas líquidas y las concentraciones de sustancias interferentes no se desarrollan en la interfase.

La segunda operación, es la preservación de esta calidad del contacto. Esta se logra principalmente por la oxidación de la materia orgánica y la síntesis de células nuevas. La calidad del contacto se preserva debido a la tendencia de la materia disuelta a cambiar de concentración, de modo que disminuye la tensión superficial en el flóculo.

En la Figura 1.1 se ilustra el progreso de la purificación biológica. El factor determinante de la velocidad consiste en la transferencia interfacial o adsorción.

El tratamiento biológico comparte su efecto con la autopurificación biológica de las aguas receptoras, en las que los sólidos suspendidos se depositan en el fondo de las corrientes para descomponerse lentamente en el medio bental, mientras que las sustancias disueltas son oxidadas rápidamente en el agua sobrenadante.

Si se diseña la descomposición para alcanzar una estabilización completa de los flóculos desechados dentro de la unidad misma de tratamiento principal, se agrega una cuarta operación a las demandas globales de tratamiento. Es un ejemplo la aireación extendida en las unidades de lodos activados. La estabilización de las biomazas aerobias por digestión anaerobia es una operación independiente.

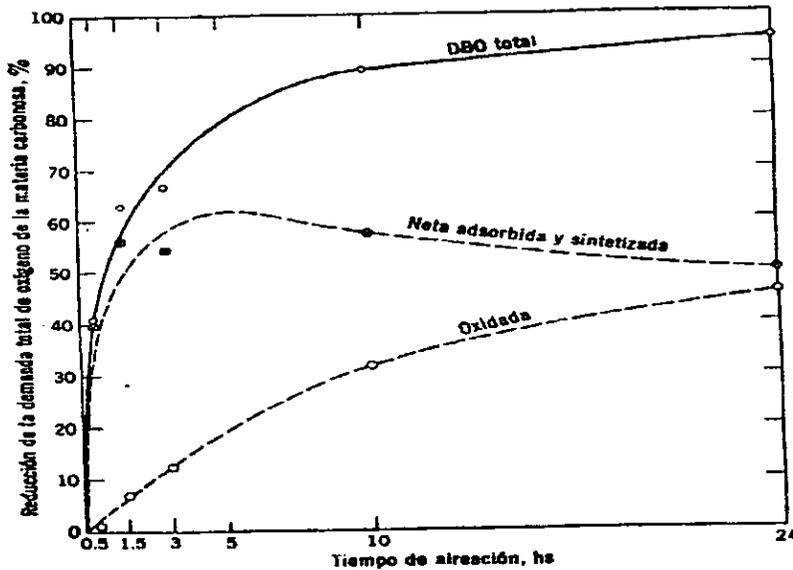


Figura 1.1 Remoción de desbalances orgánicos por las biomazas en una operación intermitente

En las unidades de lodos activados, se remueve el floculo activado de desecho (o en exceso). Estos lodos secundarios difieren en clase y varían en madurez. De acuerdo con la duración de su retención, con la temperatura, con factores como la biota de floculos y de su espesor, los lodos son más bajos en contenido de energía que las sustancias de las que fueron compuestos. Sin embargo, retienen más o menos nitrógeno y otros productos químicos fertilizantes. Los nutrientes residuales pueden conservarlos con características putrescibles.

Debido a que la transferencia entre el líquido y floculo se lleva a cabo sólo en la interfase, y a causa de que los floculos se pueden captar como lodos secundarios sedimentables, el desprendimiento de la película es una característica de los aireadores por contacto; la remoción de los crecimientos fibrosos disminuye los requerimientos de aire y mantiene los espacios huecos abiertos para la recirculación de las aguas residuales.

En el proceso de lodos activados, la cantidad de floculos se puede variar a voluntad regulando el desecho y el retorno de floculos. Generalmente, los lodos son recirculados durante algunos días. Si se permite que los floculos se hagan demasiado grandes y pesados, se volverán inactivos y anaerobios, y difíciles de mantener en suspensión.

1.3. Minerales esenciales

Con excepción de los nitratos y fosfatos, la mayor parte de los minerales que intervienen en la construcción de las biomazas activas se encuentran generalmente en disponibilidad, proceden de los abastecimientos públicos que proporcionan el agua para el transporte de las sustancias de desecho. Los residuos domésticos y algunos desperdicios industriales proporcionan el nitrógeno y fósforo requeridos.

Los requerimientos minerales mínimos están colocados en las relaciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno (N) y Fósforo (P), $DBO:N:P = 150:5:1$, y las necesidades para un contenido máximo de N y P de los lodos a $90:5:1$. En la Figura 1.2 se ilustra la conversión de amoniaco a nitratos.

Antes de que se introdujera el concepto de la DBO a la administración de las obras de tratamiento de aguas residuales, se consideraban generalmente satisfactorios los efluentes de las plantas cuando eran ricos en nitratos. Se aceptan como signos de buen comportamiento los valores de 10 a 15 mg/l.

Los objetivos son, ya sea una fuerte remoción de DBO sin mucha nitrificación, o bien, una fuerte nitrificación seguida de una desnitrificación.

Ninguna de las sustancias se reduce mucho durante el tratamiento biológico normal.

El desprendimiento de nitrógeno gaseoso en los tanques secundarios de sedimentación puede hacer flotar a los sólidos, que de otra manera serían sedimentables, y arrastrar lodos a la superficie del tanque. El fósforo se puede transferir a los lodos mediante coagulación química, o conservarse en los lodos activados si se les mantiene aerobios.

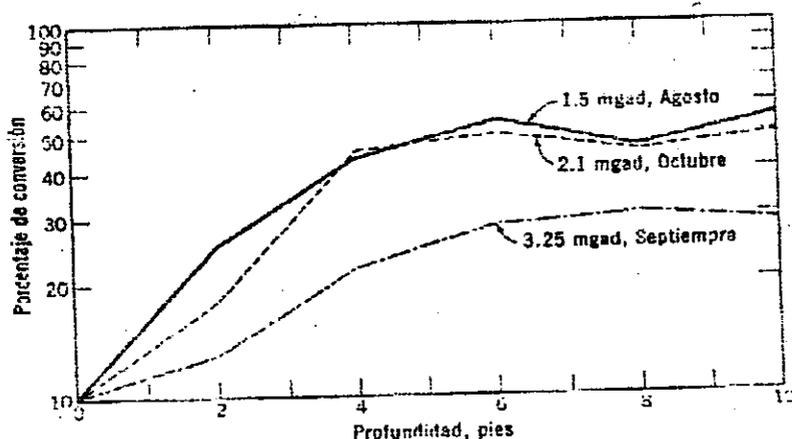


Figura 2.2 Conversión de nitrógeno amoniacal a nitrógeno en nitratos

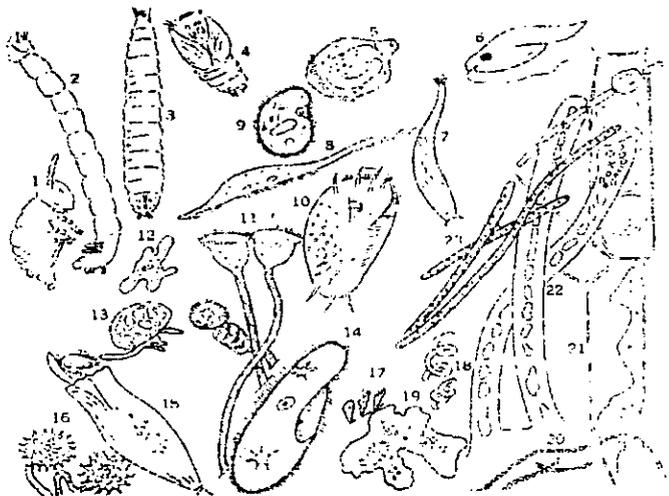
1.4. Ecología de los sistemas de tratamiento

Las poblaciones de los microorganismos responsables de la purificación de las aguas residuales son grandes y variadas. En la Figura 1.3 se muestran los géneros característicos.

Los trabajadores biológicos principales y más numerosos son los microorganismos sapróbicos, incluyendo a las bacterias autotróficas.

Las masas gelatinosas construidas por las bacterias asumen frecuentemente formas ramificantes. Efectúan esto como una forma de protección contra los depredadores, para almacenar suministros alimenticios y para favorecer la transferencia de oxígeno.

Los ciliados coloniales dotados de tallos buscan un apoyo en los flocúlos suspendidos.



Organismos asociados con el tratamiento biológico de las aguas residuales. (De Imhoff y Fair.)

Los números 1 a 4, Insectos (× 5)

- | | |
|---|--|
| 1. Cola en espiral acnática, <i>Podura</i> ; el género que se encuentra en los filtros rociadores en <i>Achorutes</i> . | 3. Larva de la mosca de los filtros, <i>Psychoda</i> . |
| 2. Larva de los gusanos rojos, <i>Chironomus</i> . | 4. Pupa de la mosca de los filtros, <i>Psychoda</i> . |

Los números de 5 a 17, Protozoarios (× 150)*

- | | | |
|---------------------|------------------------|------------------------------|
| 5. <i>Didinium</i> | 10. <i>Stylonychia</i> | 15. <i>Opercularia</i> |
| 6. <i>Euglena</i> | 11. <i>Vorticella</i> | 16. <i>Anthophysa</i> |
| 7. <i>Charnea</i> | 12. <i>Ameba</i> | 17. <i>Oikomonas</i> × 1,500 |
| 8. <i>Lionotus</i> | 13. <i>Arcella</i> | |
| 9. <i>Colpidium</i> | 14. <i>Paramecium</i> | |

Números 18 a 23, Bacterias y hongos (× 1,500)

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 18. <i>Thiospirillum</i> | 20. <i>Streptococcus</i> | 22. <i>Sphaerotilus</i> |
| 19. <i>Zooqina ramigera</i> | 21. <i>Leptomitus</i> | 23. <i>Reggiatoa</i> |

Figura 1.3 Géneros característicos de organismos

En los estanques de estabilización, los crecimientos de algas y la fotosíntesis dominan el aspecto ecológico.

Los residuos tóxicos inhiben la actividad biológica y pueden destruirla; como también pueden hacerlo los depredadores.

Las unidades de lodos activados, proporcionan un medio verdaderamente acuático y relativamente uniforme. Los flóculos son arrastrados por los flujos y contiene casi la misma clase y número de organismos microscópicos. Los parásitos se encuentran casi totalmente ausentes. A menos que los contenidos del tanque se mezclen longitudinalmente, las comunidades de los flóculos se encuentran expuestas durante una vez a las aguas residuales entrantes y durante otra a las aguas efluentes. Sin embargo, si existe mezclado longitudinal, se puede efectuar casi la misma clase de purificación en todas las partes del tanque, antes de que los lodos se remuevan como flóculos microbianos.

Conforme los flóculos se añejan, contienen proporciones crecientes de células muertas y de materia inerte. No obstante que pueden ser aún activos tanto enzimática como adsorbtivamente, su habilidad para oxidar a las sustancias adsorbidas se puede extinguir, a medida que se acumulan los productos de desecho. A medida que los flóculos aumentan en tamaño, su área superficial combinada se reduce en relación con su volumen, y la difusión de nutrientes hacia el interior del flóculo y sobre las sustancias residuales externas al flóculo se obstaculiza. El tamaño de los flóculos no se puede determinar en forma precisa.

1.5. Nivelación de las cargas

La mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales operan inherentemente sobre una base de retornos decrecientes.

La velocidad de la purificación es una función tanto de la concentración de las sustancias removibles como de la removilidad de las fracciones constituyentes.

La carga impuesta de nutrientes sobre las unidades de tratamiento biológico y, el trabajo efectuado por ellas, se puede equilibrar hasta cierto grado en las siguientes formas:

- 1) Mediante subdivisión de la estructura de tratamiento en dos o más unidades, o etapas, y la alternación de la unidad determinante (aplicable únicamente cuando las superficies de contacto tienen una situación fija).
- 2) La subdivisión de las aguas residuales aplicadas en dos o más porciones de su introducción progresiva a lo largo de la línea de tratamiento (aplicable sólo cuando las superficies de contacto se desplazan simultáneamente al flujo, es decir, la carga por etapas o aireación por etapas en el proceso de lodos activados).
- 3) La recirculación del efluente al influente y el tratamiento de la mezcla resultante (aplicable solamente en los sistemas de tratamiento totalmente biológicos).
- 4) El mezclado longitudinal, y posiblemente completo, de las aguas residuales sujetas a tratamiento para equilibrar a los nutrientes, la oportunidad de contacto, y la presión de purificación en una sola estructura de tratamiento.

- 5) La subdivisión de la estructura de tratamiento entre unidades múltiples, suficientemente pequeñas para simplificar y promover el mezclado longitudinal (mezclado completo).
- 6) Las combinaciones de recirculación del efluente con una subdivisión seriada de las unidades de tratamiento y con una dosificación progresiva de las unidades de tratamiento (aireación en etapas, carga en etapas y mezclado completo).

1.6. Cinética del tratamiento

Es posible visualizar la cinética del tratamiento para las operaciones individuales en una serie dada, o como un conjunto. Una serie concurrente típica es la transferencia de las sustancias orgánicas a los lodos activados por adsorción, llevada a cabo por la utilización de la materia orgánica transferida por la biomasa para la síntesis de la energía y la célula, y acelerada por la agitación de los lodos activados para obtener aireación y facilitar la oportunidad de contacto.

Cuando el mezclado longitudinal es completo, la concentración de sustancias removibles o de nutrientes, o de fracciones específicas de estos componentes de las aguas residuales, es invariable espacialmente. Cuando existe un movimiento longitudinal escaso o nulo, la remoción y la movilidad tienden a decaer durante el tratamiento de acuerdo con una reacción simple de primer orden, o bien, conforme a una reacción retardante de primer orden. Una reacción simple de primer orden es la relación comportamiento - tiempo trazada semilogarítmicamente para la remoción de DBO y nitrógeno amoniacal en unidades de lodos activados, que se muestran en la Figura 1.4.

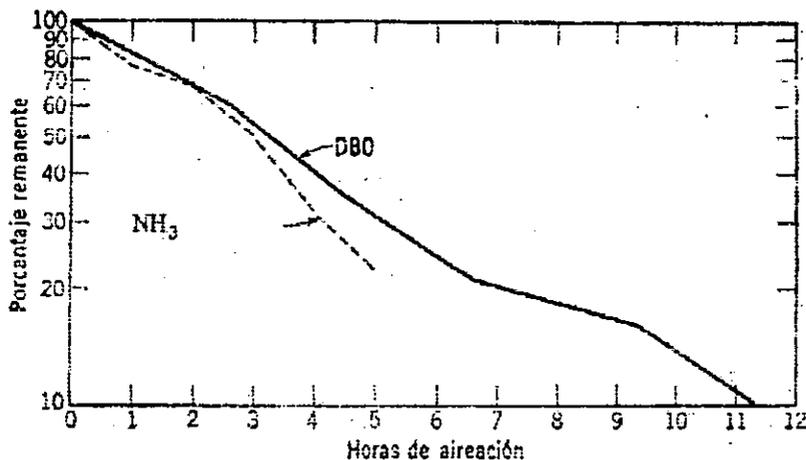


Figura 1.4 Relación comportamiento tiempo de las unidades de lodos activados

La velocidad de purificación en las unidades de tratamiento biológico se aproxima a una reacción de primer orden con o sin retardación, la relación básica de purificación se da por la forma diferencial como:

$$dy/dt_d = k((y_0 - y)/y_0)^n * (y_0 - y) \dots \dots \dots (1.1)$$

Donde:

y_0 , es la cantidad inicial o removible de las sustancias presentes en el agua aplicada.

y , es la cantidad removida durante el paso a través de la unidad de tratamiento en una dirección horizontal general en las unidades de lodos activados.

t_d , es el tiempo de desplazamiento o de contacto dentro de la unidad.

k , es un factor de proporcionalidad con la dimensión (tiempo)⁻¹.

n , es una medida del grado de disminución en la respuesta del tratamiento o del retardo durante el progreso de la purificación.

La relación de concentración a tiempo, dy/dt_d representa la velocidad de trabajo o potencia de purificación del sistema. La contribución importante de los sistemas biológicos de tratamiento estriba en su poder de purificación, normalmente autogenerado y automantenido a través de la utilización de las sustancias de desecho como nutrientes.

1.7. Tiempo de tratamiento

Debido a que los procesos de tratamiento biológico dependen del tiempo, sus velocidades de reacción constituyen una base útil para comparar las velocidades globales o los componentes específicos de la velocidad de los diferentes sistemas de tratamiento. En la mayor parte de los procesos de tratamiento, los tiempos de retención son simples de definir.

El tiempo de contacto en las unidades de lodos activados generalmente se calcula como el cociente del volumen de la unidad de aireación y de la velocidad del influente, de preferencia sobre la velocidad del flujo del licor mezclado. Se calcula así debido a que representa el tiempo teórico promedio durante el cual una porción constituyente de las aguas residuales, que puede llegar al licor de los lodos residuales de vez en cuando, permanece en la unidad de aireación.

El tiempo medio de exposición del agua a las fuerzas de purificación es:

$$C/Q \dots \dots \dots \text{ó} \dots \dots \dots I/v \dots \dots \dots (1.2)$$

Donde:

C, es la capacidad volumétrica de la unidad de tratamiento, comúnmente un tanque o almacenamiento que puede contener, o no contener, un medio de contacto.

Q, es la velocidad del flujo.

I, es la longitud o profundidad de la unidad de tratamiento o reactor, o la capacidad por unidad de área de la sección transversal.

v, es la velocidad a través del área libre de la sección transversal de la unidad a ángulos rectos con la dirección del flujo, o la relación de descarga por unidad de área de la sección transversal.

1.8. Efectos de la temperatura

La temperatura de las aguas residuales varía:

- 1) De acuerdo con la fuente de abastecimiento del agua, así como con su almacenamiento y distribución.
- 2) Con el tipo de sistema de alcantarillado, separado o combinado.
- 3) Con la infiltración del agua subterránea.
- 4) Con la descarga de residuos industriales fríos o calientes en el sistema.

En el invierno, las aguas residuales se mantienen más calientes en los lodos activados.

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)} \dots\dots\dots(1.3)$$

Donde :

K_T , constante a la temperatura T.

K_{20} , constante a la temperatura de 20°C.

θ , constante.

Los valores de θ en la relación θ^{T-20} correspondientes son : 1.070 ± 0.05 para las unidades de lodos activados.

La temperatura afecta al período inicial o de maduración de las unidades de tratamiento biológico, así como a su operación ya establecida.

La operación plena de las unidades de lodos activados se alcanza generalmente, en tiempos de 10 días a 2 semanas, tanto en verano como en invierno.

1.9. Requerimientos de aire

El oxígeno introducido a los sistemas aerobios de tratamiento biológico debe satisfacer, dentro de la propia unidad de tratamiento los requerimientos de oxígeno tanto de las aguas residuales influentes como de la biomasa activa.

Por ejemplo en una unidad de lodos activados, y es la velocidad a la que se consume el oxígeno en una unidad de tratamiento dada (libras por día) ó (kg por día), x es la velocidad a la que se remueven la **DBO** ó Demanda Química de Oxígeno (**DQO**) a cinco días y 20°C (libras por día) ó (kg por día), y z es la velocidad a que se introducen los lodos recirculados a la unidad (libras o el equivalente en kg de sólidos volátiles suspendidos por día).

$$y = ax + bz \dots\dots\dots \text{ó} \dots\dots\dots y/z = ax/z + b \dots\dots\dots (1.4)$$

Aquí, a y b son los coeficientes que relacionan respectivamente el O_2 con la oxidación de la **DBO** o de la **DQO** y a los requerimientos de la biomasa. Los valores esperados para el coeficiente a , se encuentran a un valor superior a 0.5 en relación con la remoción de **DBO** y algo menores respecto a la remoción de **DQO**.

Aproximadamente una cuarta parte de la biomasa sintetizada es generalmente resistente a la oxidación.

Si las unidades de lodos activados se agitan mecánicamente a concentraciones bajas de Oxígeno Disuelto (**OD**), la absorción de oxígeno atmosférico en la interfaz aire - agua puede satisfacer generalmente el oxígeno necesario, suministrado de otra manera por el aire comprimido. La velocidad de absorción del oxígeno generalmente excede a la asimilación de los nutrientes y no constituye normalmente el factor operacional limitante, excepto en el tratamiento de residuos industriales fuertes.

1.10. Volúmenes de flóculos

Debido a que muchas de las impurezas de las aguas residuales se convierten en lodos voluminosos y susceptibles de descomposición, los procesos de tratamiento se deben examinar no sólo en forma individual, sino también en combinación con los posibles métodos para acondicionamiento de lodos.

Son asuntos clave de información, las estimaciones sobre la cantidad y naturaleza de lodos producidos.

Los pesos finales de los sólidos de los lodos sedimentados de efluentes bióticos se pueden estimar aproximadamente, a partir de la observación de que entre 50 y 60 % de la **DBO** a cinco días y a 20°C se convierte en flóculos como peso seco de los sólidos suspendidos en las unidades de lodos activados. Desde esos valores, las cantidades decrecen con la edad de los lodos y con ella también, proporcionalmente a la cantidad de lodos en circulación.

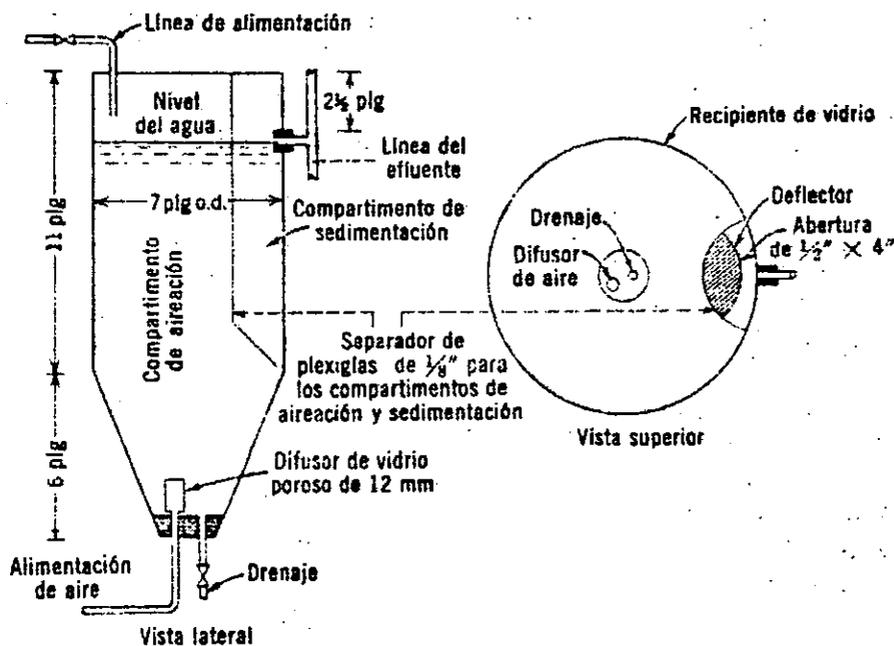
1.11. Pruebas de laboratorio

Se puede obtener información sobre el comportamiento probable de las aguas residuales, en el laboratorio con equipo especializado, o por la adaptación relativamente simple de los aparatos estándar de laboratorio a los requerimientos de la investigación.

Para el estudio de lodos se utilizan los siguientes aparatos:

- 1) Probetas cilíndricas graduadas o tubos suficientemente largos para contener 2.5 litros de fluido.
- 2) Difusores de vidrio sintetizado o de cerámica porosa.

En la Figura 1.5 se ilustra un aparato diseñado para operar como una unidad de aplicaciones múltiples.



Unidad de laboratorio de lodos activados. Vista lateral, recipiente de vidrio Pyrex de 3/8 pulg (9.5 mm) de espesor en forma de cono; separador fabricado con una sección longitudinal media de tubo Plexiglas de 10 pulg (25.4 cm) de largo por 4 pulg (10.16 cm) de diámetro. El extremo inferior se encuentra cortado a un ángulo de 45°. Una parte del extremo inferior está cerrada por una placa de Plexiglas de 1/8 pulg (3.18 mm) de manera que los dos compartimientos se encuentran conectados mediante una abertura de 1/2 x 4 pulg (1.27 x 25.4 mm). El cemento a prueba de humedad para unir hule a metal, cementa el Plexiglas al vidrio.

Figura 1.5 Aparato diseñado para operar como unidad de aplicaciones múltiples

El comportamiento básico de purificación se identifica generalmente en pruebas por lotes, y el comportamiento real de las plantas de tratamiento en pruebas a flujo continuo o en estado estable, frecuentemente denominadas técnicas de cultivo continuo en los estudios de laboratorio de tratamiento biológico.

El propósito de las pruebas de laboratorio consiste en determinar la magnitud de los coeficientes incluidos en las formulaciones de tratamiento.

Los estudios de laboratorio son elementos adjuntos, especialmente útiles para el diseño y la operación cuando los residuos industriales constituyen una porción amplia de las aguas residuales, o su totalidad.

1.12. Intensidades de carga

Son dos clases de cargas que se aplican a las unidades de tratamiento biológico:

- 1) Cargas hidráulicas, que gobiernan a los requerimientos hidráulicos y, junto con ellos a las necesidades neumáticas de las unidades de tratamiento.
- 2) Cargas de proceso, en la forma de materia orgánica degradable o de nutrientes contenidos en el agua residual aplicada, que gobiernan a los requerimientos del proceso del sistema de tratamiento.

Para relacionar las cargas con el comportamiento y hacer posibles las comparaciones entre ellos, se deben transformar a intensidades de carga (figura 1.6).

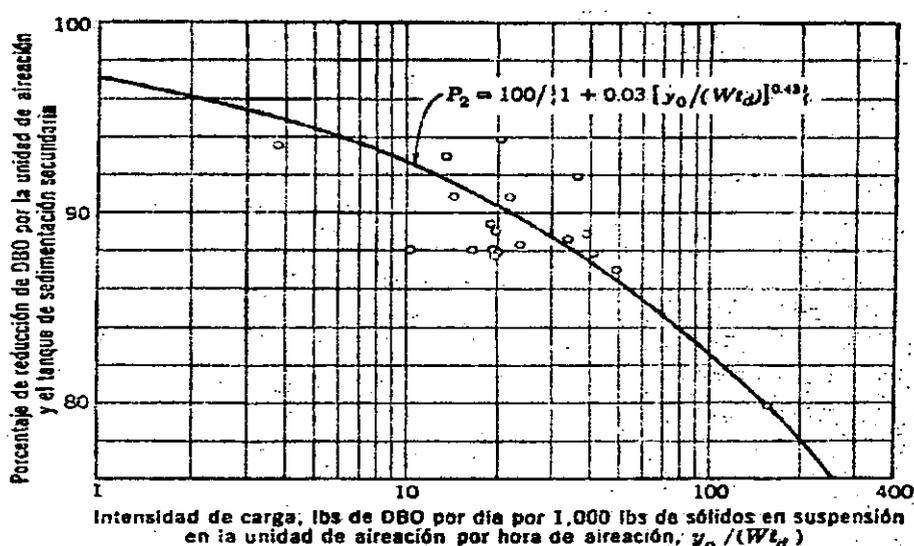


Figura 1.6 Relaciones comportamiento – carga para unidades de lodos activados

Las cargas hidráulicas se miden generalmente como velocidades de flujo, tales como millones de galones o de litros por día. Sus intensidades se convierten entonces en velocidades o tiempos de paso y exposición dentro de las unidades de tratamiento.

Ejemplos de intensidades de carga hidráulica:

- 1) El factor de velocidad.
- 2) El recíproco del tiempo de retención.
- 3) El tiempo de retención o la relación de dilución.

Las cargas de proceso se expresan racionalmente por los pesos de las impurezas nutritivas removibles.

Ejemplos de intensidades de cargas de proceso:

- 1) Los valores totales de las cargas de DBO, DQO y sólidos en suspensión.
- 2) En circunstancias especiales y para ciertos propósitos se pueden agregar o substituir, la turbidez, nitrógeno orgánico, amoníaco, fósforo, productos sintéticos (incluyendo a los detergentes), y las bacterias o virus.

Para que sean expresadas como intensidades, las cargas de proceso se deben relacionar a la oportunidad de contacto. Para esto, se puede requerir el empleo de un conjunto de factores de diseño y operación.

Si se consideran como factores controlables al área y tiempo de contacto por sí mismos o como parte de la oportunidad de contacto en tratamiento biológico, se prescribe un parámetro general de la intensidad de carga como el peso de substancia removible en el influente, aplicado a una unidad de superficie de contacto en una unidad de tiempo.

1.13. Eficiencia del tratamiento

La recirculación de los flujos de aguas residuales a través de las unidades de tratamiento biológico, distribuye la carga de impurezas aplicada a las unidades y suaviza las velocidades de flujo alimentadas. En esta forma se pueden afectar favorablemente tanto las cargas normales como las bruscas.

La recirculación puede, conducir los flujos de fluidos y de lodos de tal forma que el comportamiento de los componentes individuales del sistema no se puede encontrar por muestreo directo. La probable identificación de los resultados puede involucrar algunas manipulaciones de laboratorio de las muestras representativas.

En todos los sistemas de tratamiento, el comportamiento global se mide por muestreo del influente a la planta y del efluente de ella. Los resultados de las unidades componentes se miden en forma similar.

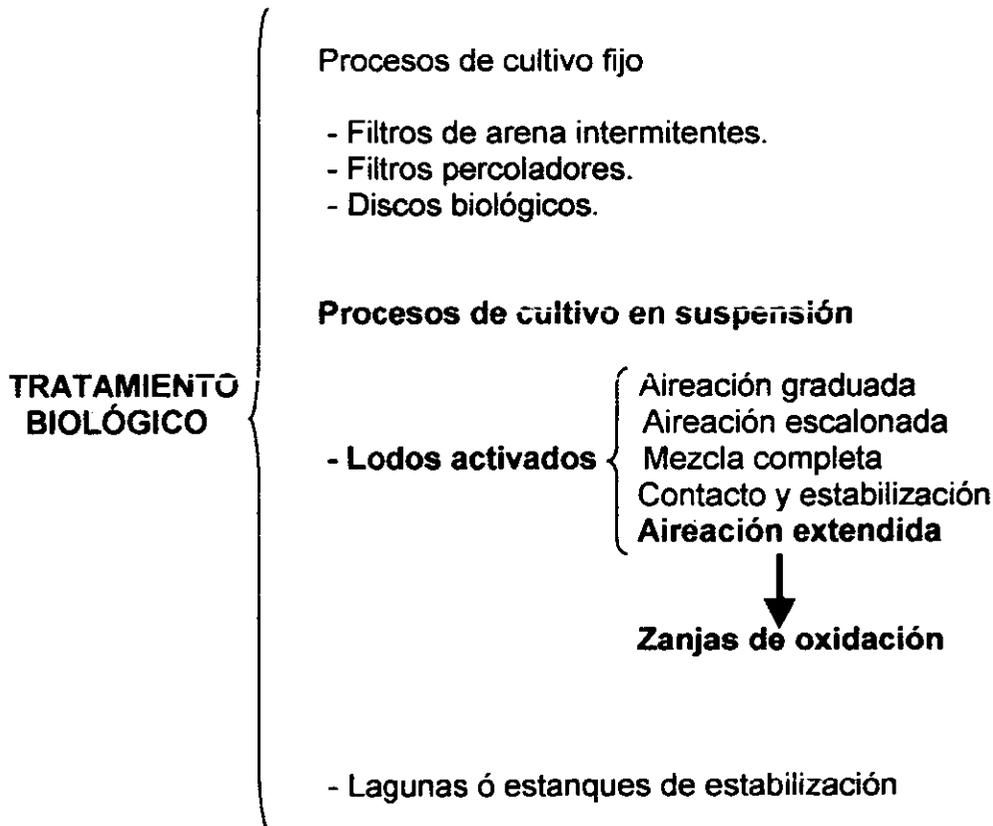
1.14. Procesos biológicos

El objetivo de los procesos biológicos es la eliminación de la materia orgánica disuelta y coloidal.

Los tratamientos biológicos consisten en la aplicación controlada de procesos naturales, por los cuales los microorganismos eliminan la materia orgánica disuelta y coloidal del agua residual, al tiempo que ellos mismos sufren un proceso de eliminación.

A fin de llevar a cabo este proceso natural en un tiempo razonable, es preciso disponer de un gran número de microorganismos en un reactor de tamaño relativamente reducido. Los sistemas de tratamiento biológico se proyectan de manera que se cumpla esta condición.

La clasificación general consiste en dos tipos de procesos denominados procesos de cultivo (o película) fijo y procesos de cultivo suspendido.



1.14.1. Procesos de cultivo fijo

Los procesos de cultivo fijo utilizan un medio sólido que sirve de soporte a los sólidos bacterianos que se acumulan en el mismo, a fin de mantener una elevada población de microorganismos. La superficie disponible para tal desarrollo bacteriano es un parámetro de diseño importante.

Entre los procesos de cultivo fijo se incluyen los filtros de arena intermitentes, filtros percoladores y discos biológicos.

a) Filtros de arena intermitentes

Los filtros de arena intermitentes han caído en desuso en las instalaciones de las grandes ciudades debido a la gran superficie que requieren. Sin embargo, todavía pueden tener aplicación en áreas rurales, particularmente como sistemas de mejora de los efluentes de estanques de estabilización. Las ventajas de la filtración intermitente incluyen poca pérdida de carga, funcionamiento simple, efluente de calidad satisfactoria y baja producción de lodo.

El funcionamiento de los filtros consiste en la aplicación intermitente del efluente de tratamiento primario u otro tipo de agua residual sobre la superficie de arena. Los sólidos son retenidos en la arena, mientras que el cultivo bacteriano desarrollado sobre la superficie de los granos de ésta absorbe la materia orgánica disuelta y coloidal. Durante las intermitencias existentes entre aplicaciones cíclicas de agua, el aire penetra a través del medio y permite la oxidación biológica de la materia orgánica acumulada.

La arena normalmente utilizada tiene un tamaño efectivo de 0.2 a 0.5 mm, la profundidad del lecho oscila entre 460 y 760 mm siendo los filtros con lechos más profundos los que producen efluentes de mejor calidad. La arena se coloca sobre una capa de grava de 6 a 50 mm de diámetro de 300 mm de espesor, bajo la cual se disponen tuberías perforadas o drenes sin juntas para recoger el agua tratada. Las figuras 1.7 y 1.8 muestran algunos detalles de filtros típicos.

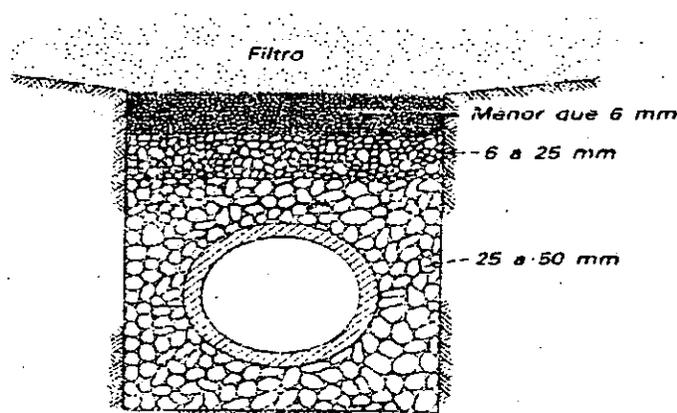


Figura 1.7 Drenaje de un filtro de arena intermitente

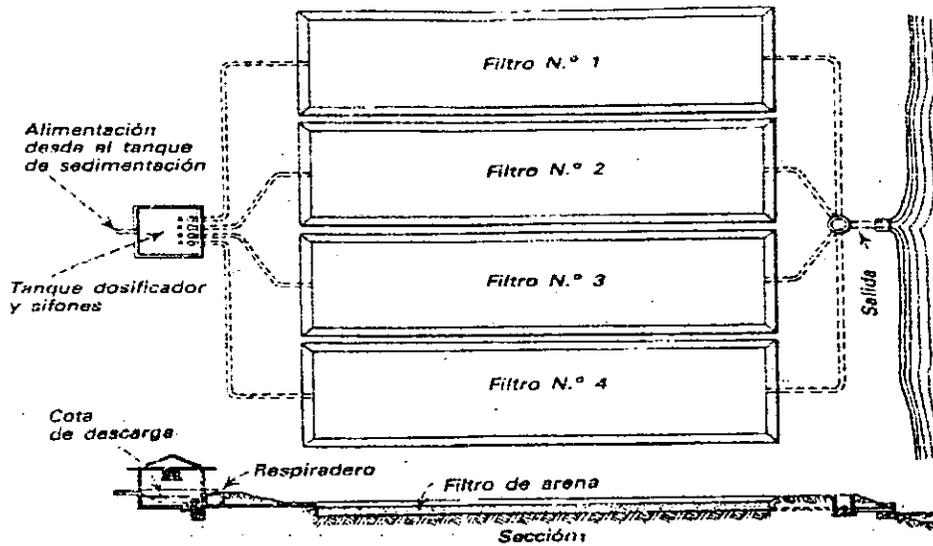


Figura 1.8 Disposición de una instalación de filtros de arena intermitente

Las cargas hidráulicas de trabajo para aguas residuales previamente sedimentadas oscilan entre 0.07 y 0.235 m/día, cuando aquellas se aplican una o dos veces por día. Con el tiempo, el filtro llega a colmatarse hasta tal punto que la carga hidráulica aplicada no puede mantenerse. Cuando esto ocurra, debe extraerse la capa de arena superior, de 50 a 75 mm de espesor, y reemplazarla con material limpio. La duración del ciclo de filtrado es, normalmente, de varios meses, pero depende de la temperatura, forma de funcionamiento, tamaño de la arena, DBO y sólidos suspendidos de agua aplicada.

b) Filtros percoladores

Los filtros percoladores utilizan un medio de soporte del crecimiento bacteriano de naturaleza relativamente porosa, tal como roca o elementos de plástico de formas específicas (figura 1.9). El desarrollo del cultivo bacteriano tiene lugar en la superficie del medio, mediante la aportación de oxígeno por el aire que circula entre los huecos de aquél. El agua residual se aplica en la superficie del filtro, generalmente en forma intermitente, y percola a través del mismo, formando una delgada película sobre el cultivo biológico adherido al medio durante su circulación.

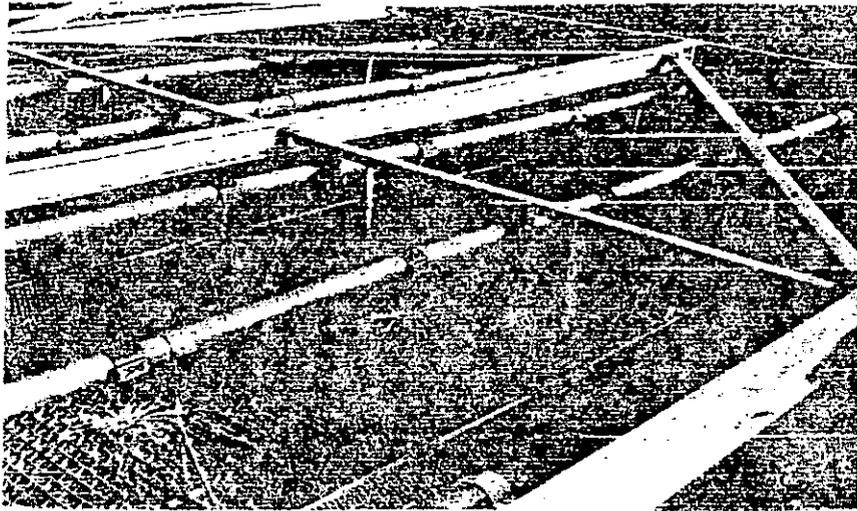


Figura 1.9 Medio filtrante de plástico

El proceso que tiene lugar se representa en la figura 1.10.

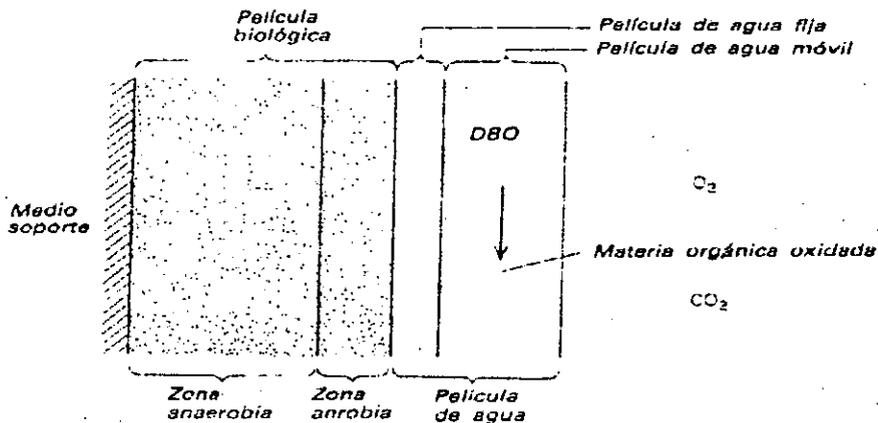


Figura 1.10 Esquema del proceso de cultivo fijo

Los nutrientes y el oxígeno son transferidos a la porción fija de la película acuosa, mientras que los subproductos de la oxidación biológica lo son a la capa acuosa móvil, todo ello fundamentalmente por fenómenos de difusión. A medida que las bacterias presentes en la película biológica adherida a la superficie del medio filtrante metabolizan los componentes del agua residual, se van reproduciendo, dando lugar a un crecimiento gradual del espesor de la película. Al aumentar éste, las bacterias contenidas en las capas más interiores se encuentran en una situación de limitación de nutrientes puesto que, la materia orgánica y el oxígeno son utilizados cerca de la superficie de la película. Con el tiempo, tales células mueren, rompiendo el contacto entre la película biológica y el medio de soporte.

Cuando una cantidad suficiente de bacterias ha sufrido la lisis, la película biológica se desprende del soporte y es arrastrada por el agua circulante, en la figura 1.11 se muestra un filtro de distribuidor rotativo. Los sólidos presentes en el efluente del filtro son eliminados en un clarificador secundario.

El régimen del proceso se ve afectado por la transferencia de oxígeno desde el aire a la fase líquida, y desde ésta a la película biológica y por la tasa de utilización de aquélla por el cultivo bacteriano.

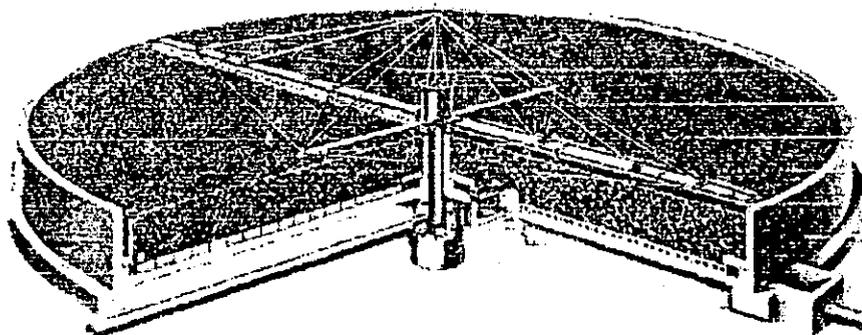


Figura 1.11 Filtro percolador con distribuidor rotativo

Clasificación de los filtros

- **Filtros de baja carga o filtros convencionales**, prácticamente han caído en desuso en las aplicaciones modernas del proceso. La recirculación de efluente no es práctica común en este tipo de filtros, siendo la carga orgánica o la hidráulica el factor que prevalece, según la concentración del agua residual a tratar.
- **Filtros de alta carga**, se práctica la recirculación del efluente sobre el filtro y funcionan a cargas orgánicas de trabajo mayores, oscilando entre 1.5 y 18.7 kg DBO/m³ de volumen de filtro por día.
- **Filtros de desbaste**, pueden emplearse como unidades de pretratamiento para reducir la concentración de aguas residuales particularmente concentradas. El efluente de tal proceso requiere un tratamiento adicional.
- **Filtros clásicos de material pétreo**, utilizan como medio filtrante piedra machacada, escoria y grava. El tamaño de los materiales oscila entre 60 y 90 mm y debe estar formado por basaltos, granitos, cuarcita o escoria y no contener arena ni arcilla.

- **Filtros de material plástico**, pueden estar constituidos por placas entrelazadas dispuestas cuidadosamente en el interior del filtro para asegurar una circulación uniforme del agua (figura 1.9), o bien por elementos moldeados o extrusionados que se colocan sin ordenación alguna, hasta llenar el filtro (figura 1.12). El medio filtrante de plástico es, a menudo, más barato que la piedra en aquellas zonas en que no existe piedra de calidad adecuada y mucho más ligero



Figura 1.12 Medio filtrante tipo random

Cuadro 1.1 Propiedades físicas de medios filtrantes

Medio	Tamaño mm	Peso unitario kg/m ³	Superficie especifica m ² / m ³	Volumen de huecos %
Placas de plástico	600x600x1200	32-96	82-115	94-97
Madera de secuoya	1200x1200x500	165	46	76
Granito	25- 75	1440	62	46
Granito	100	1440	47	60
Escoria	50-75	1090	67	49

Recirculación

Las técnicas de recirculación varían ampliamente, empleándose, al menos, catorce configuraciones diferentes (figura 1.13). El procedimiento de recirculación no tiene influencia en la eficiencia del proceso. Las disposiciones tales como la (c), (d), (k) y (m), tienen la ventaja de no aumentar el caudal de alimentación del clarificador primario.

Las ventajas del empleo de recirculación consisten en dar lugar a un incremento de los sólidos biológicos del sistema, y a una inoculación continua del mismo con los sólidos arrastrados que recirculan; contribuye a mantener una carga hidráulica y orgánica más uniforme; diluye el agua a tratar con otra de mejor calidad y da lugar a la formación de una película biológica más fina.

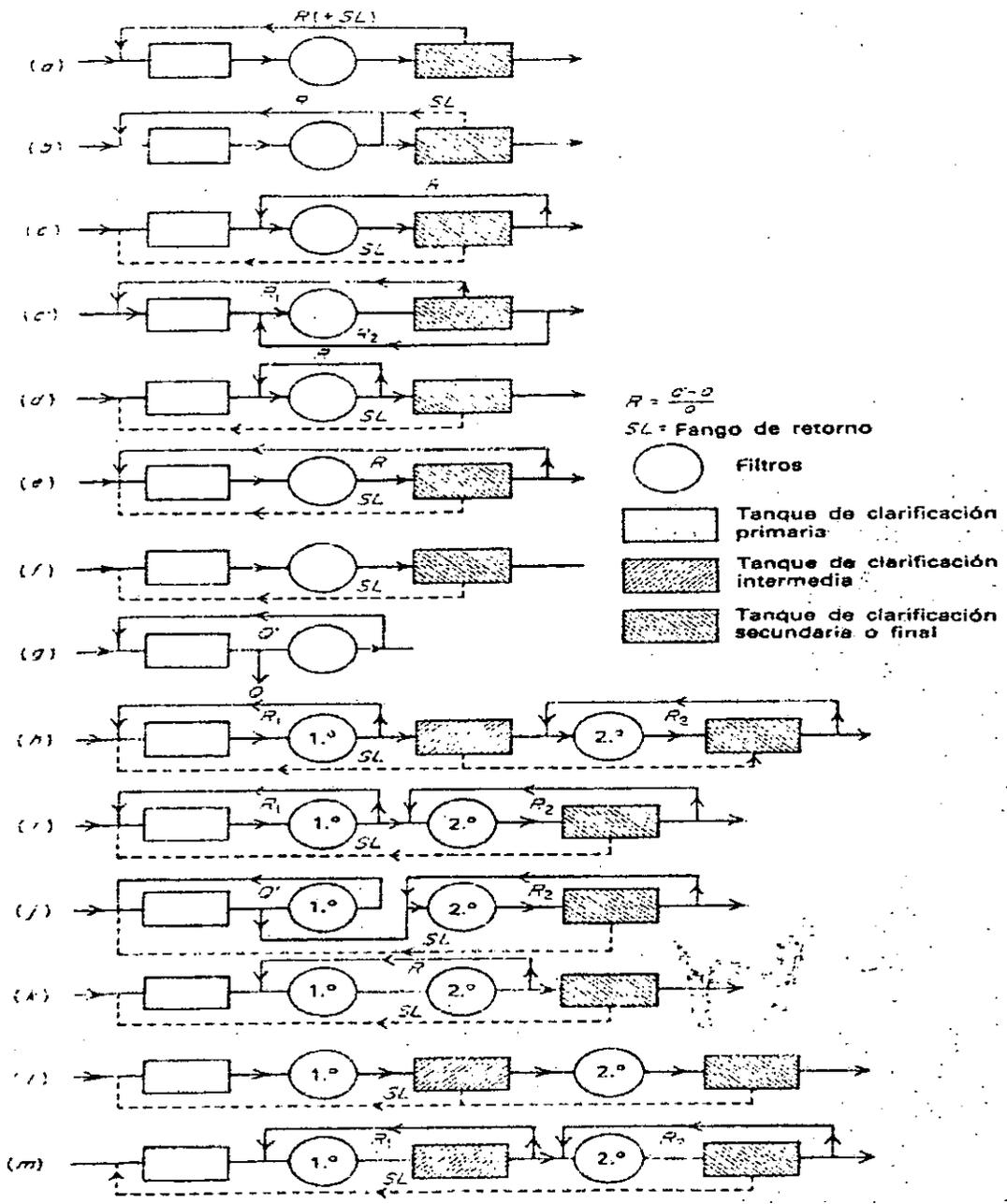


Figura 1.13 Diagramas de flujo de plantas de filtros percoladores de una y dos fases

c) Discos biológicos

Los sistemas de discos biológicos de contacto consisten en un tanque que contiene un elemento rotativo que procura una gran superficie para el desarrollo del crecimiento biológico. El proceso funciona a caudal continuo y el elemento se recubre con una película biológica. La película está, alternativamente, sumergida en el agua residual contenida en el tanque, la cual cubre algo menos que la mitad de la superficie disponible del elemento rotativo, y en el aire exterior al tanque.

Los sistemas biológicos rotativos están, normalmente, constituidos por discos (figura 1.14) generalmente del orden de 3.00 m de diámetro, 10 mm de espesor y situados a distancias de 30 y 40 mm a lo largo de un eje cuya longitud es variable. El eje gira a una velocidad de 1 a 2 rpm. El proceso es relativamente estable y capaz de producir un efluente satisfactorio. El lodo producido sedimenta con un contenido de humedad del 95 al 98 % y del 93 al 95% cuando se mezcla con lodo primario. La cantidad de lodo producido es del orden de 0.4 kg por kg de DBO₅ aplicado.

El desprendimiento de la película biológica es, más o menos, continuo, y el efluente tiene una concentración relativamente constante.

El oxígeno disponible en la masa de agua puede ser insuficiente, por lo que algunas modificaciones del proceso incluyen la introducción de aire u oxígeno en el fondo del tanque.

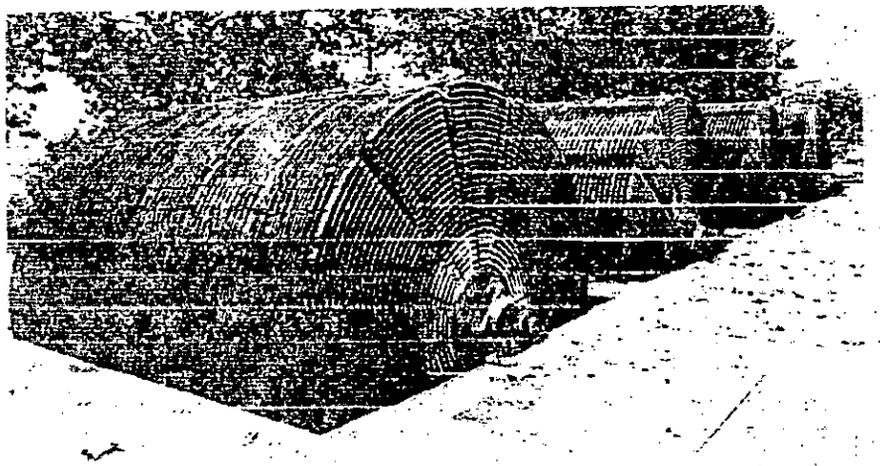


Figura 1.14 Conjunto de discos biológicos

Otro tipo de sistema emplea un tambor de alambre relleno de esferas de plástico (figura 1.15). El líquido es arrastrado del tanque, junto con aire, por medio de unos tubos recortados situados en la periferia del tambor. La aireación, tanto por salpicadura como por formación de burbujas, que se consigue con esta técnica es importante y mejora el funcionamiento del proceso.

Los sistemas biológicos rotativos de contacto constituyen una nueva tecnología.

Los sistemas a base de discos deben protegerse con una cubierta, ya que una lluvia fuerte puede desprender la película biológica y el granizo puede dañar a los discos de plástico.

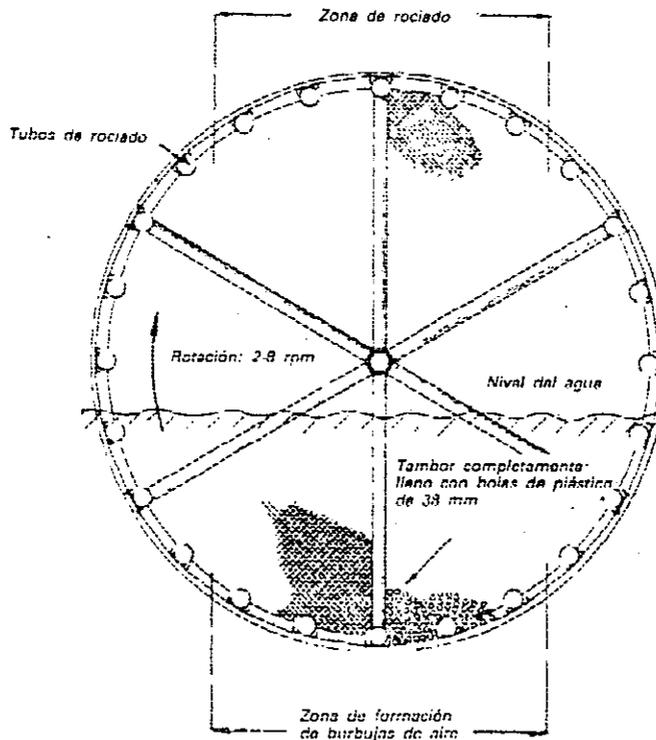


Figura 1.15 Tambor rotativo de contacto

1.14.2. Procesos de cultivo en suspensión

Los procesos de cultivo en suspensión mantienen una masa biológica adecuada en suspensión en el reactor, por medio de un sistema de mezclado que puede ser natural o mecánico. El volumen necesario se reduce a base de reciclar microorganismos desde el clarificador secundario, para poder mantener una concentración elevada de sólidos.

Principios de los sistemas de cultivo suspendido

El factor básico para el diseño, control y operación de estos sistemas es el tiempo de retención celular o edad del lodo (θ_c) definido por:

$$\theta_c = X/(\Delta X/\Delta t) \dots \dots \dots (1.5)$$

Donde:

X , es la masa microbiana total en el reactor.

$\Delta X/\Delta t$, es la cantidad total de sólidos extraídos diariamente.

Existen dos valores de θ_c que son de importancia para el diseño de procesos biológicos. θ_c^m se define como el menor valor de θ_c para el cual el funcionamiento es posible. Para edades del lodo inferiores a θ_c^m el proceso no llega a funcionar.

θ_c^d es el valor de proyecto de θ_c y debe ser mucho mayor que θ_c^m . La relación de θ_c^d/θ_c^m constituye el valor de seguridad del sistema. Los factores de seguridad que se requieren dependen de la variabilidad que puede anticiparse en la composición del agua residual y deben ser de 4 por lo menos.

a) Lodos activados

Este proceso depende del uso de una alta concentración de microorganismos presentes como un flóculo que se mantiene suspendido por medio de agitación. Esta agitación se hacía originalmente con aire comprimido, aunque también se usa ahora el agitado mecánico (figura 1.16). En cualquiera de los dos casos se obtienen altas tasas de transferencia de oxígeno. El efluente de la etapa de aireación es bajo en sustancias orgánicas disueltas pero contiene Sólidos Suspendidos (SS) altos (2000 a 8000 mg/l) que deben retirarse por sedimentación. La efectividad del proceso depende del retorno de una parte de los lodos separados (microorganismos vivos) a la zona de aireación para reiniciar la estabilización. El atractivo inicial del proceso de lodos activados era que ocupaba menos espacio que un filtro percolante y tenía una pérdida de carga menor. El método ha probado ser útil para el tratamiento de muchos desechos industriales orgánicos, que alguna vez se pensó eran tóxicos para los sistemas biológicos.

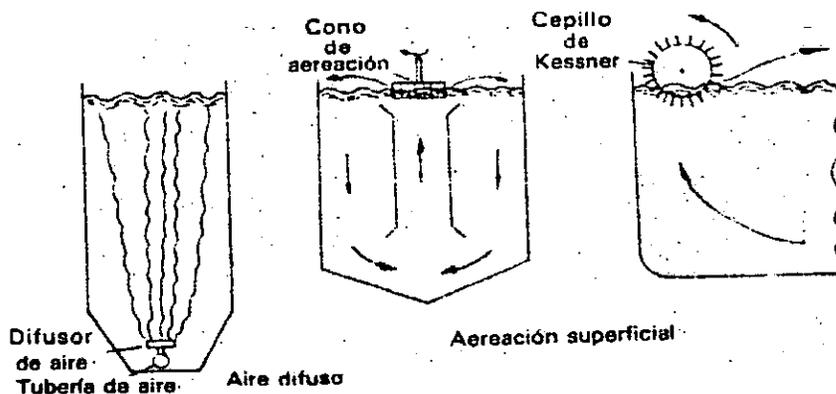


Figura 1.16 Métodos de aireación de lodos activados

b) Lagunas o estanques de estabilización

Los estanques de estabilización son unos sistemas de tratamiento económico que han sido ampliamente utilizados, especialmente en zonas rurales. Los estanques pueden considerarse como reactores biológicos de mezcla completa sin recirculación de sólidos. El mezclado se consigue, normalmente, por medios naturales (viento, calor, fermentación) pero puede aumentarse por medio de aireadores mecánicos o difusores de aire.

- Los estanques aerobios se construyen generalmente para funcionar con profundidades entre 1.0 y 1.5 m. Si la profundidad es menor, se promueve el crecimiento de plantas acuáticas, mientras que si es mayor se interfiere el mezclado y la transferencia de oxígeno desde la superficie.

Entre los parámetros típicos se suele especificar los taludes de los diques (1:3 a 1:4), carga orgánica (22 a 55 kg DBO₅/ hectárea por día, según el clima), tiempo de retención hidráulico (60 a 120 días) y percolación permisible a través del fondo del estanque (0 a 6 mm/día).

Los estanques aireados son sistemas aerobios en los que la oxigenación natural aportada por el viento y las algas es suplementada con aireadores mecánicos o difusores de aire. Los aireadores flotantes de alta velocidad (figura 1.17) dotados de sistemas de antierosión, se suelen utilizar en estanques de poca profundidad que están sobrecargados. En aquellos estanques proyectados desde el principio para ser del tipo aireado, se suelen emplear aireadores de alta o baja velocidad y mezcladores estáticos. El flujo ascensional es forzado a seguir una trayectoria helicoidal, lo cual tiene el efecto de aumentar el tiempo de contacto y mejorar la transferencia de oxígeno. Las burbujas de aire arrastran al agua con lo que también se mejora las condiciones de mezclado del tanque. También se han desarrollado sistemas que emplean difusores constituidos por simples tuberías perforadas, pero tienen tendencia a colmatarse y necesitan un mantenimiento elevado.

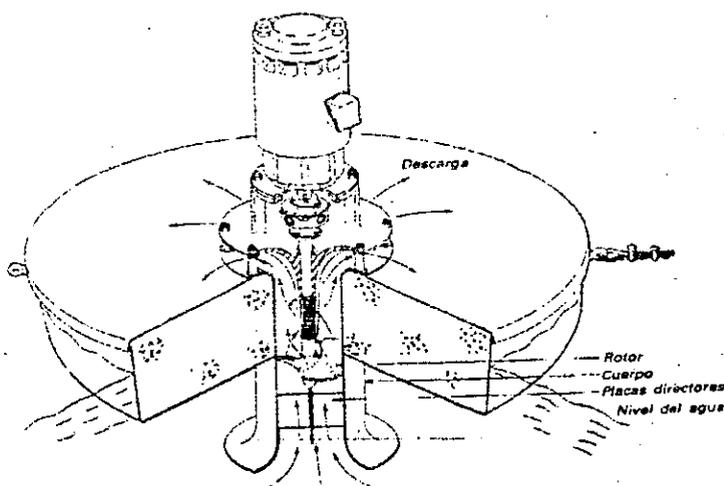


Figura 1.17 Aireador de superficie flotante de alta velocidad

En los estanques aireados, la potencia necesaria para mezclado es el factor que establece la potencia precisa, ya que las cargas orgánicas de trabajo son muy bajas.

- Los estanques facultativos tienen una profundidad suficiente (> 2.00 m) para dar lugar a la separación del contenido de aquéllos en tres estratos horizontales. Esta profundidad impide el mezclado del contenido del estanque, por lo que los sólidos orgánicos que sedimentan, permanecen en el fondo de aquél y sufren una descomposición anaerobia. En la zona de líquido superior a la capa de lodo, existe una región en la que las bacterias facultativas oxidan la materia orgánica del agua a tratar, y los productos de la descomposición anaerobia, mientras en la superficie existe una interacción entre algas y bacterias.

En ocasiones, los aireadores de superficie se emplean para asegurar la existencia de la zona aerobia en la superficie. El grado de mezclado a que dan lugar, ha de ser suficiente para transferir el oxígeno necesario, pero no tan grande como para mezclar todo el contenido del estanque ya que, en este caso, se perderían las ventajas derivadas de la descomposición anaerobia. Las cargas de DBO de trabajo se establecen en función de la capacidad de aireación instalada.

Los estanques anaerobios son normalmente, profundos y suelen trabajar a cargas elevadas. El efluente de estos estanques no es apto para su descarga a cursos de agua y, por tanto, deben someterse a tratamiento posterior. Los estanques anaerobios se suelen utilizar, principalmente, como pretratamiento de efluentes industriales muy cargados, especialmente de aquellos que tienen alta temperatura.

1.15. Sistema de lodos activados

El proceso de lodos activados consistía, originalmente, en un tanque de aireación largo y estrecho, suministrándose el oxígeno por medio de la inyección de aire por difusores colocados en el fondo del tanque. A lo largo de los años, se han hecho muchas modificaciones que afectan, tanto a la configuración del tanque como a la técnica de aireación.

El proceso convencional consiste en un tanque de aireación de geometría rectangular, un clarificador y una conducción de recirculación de sólidos desde el fondo del clarificador. Los sólidos en exceso se purgan, generalmente, desde el clarificador. Los sólidos reciclados se mezclan con el agua residual entrante en el reactor y el conjunto pasa a través de éste siguiendo unas características de flujo en pistón. El aire se suministra uniformemente a lo largo del tanque por medio de difusores porosos, del tipo indicado en la figura 1.18. Las altas concentraciones de DBO y de microorganismos existentes en la cabeza del tanque, dan lugar a un rápido ejercicio de la DBO, junto con una gran demanda de oxígeno. En el extremo final del tanque el suministro de aire puede estar en exceso respecto a la demanda (figura 1.19).

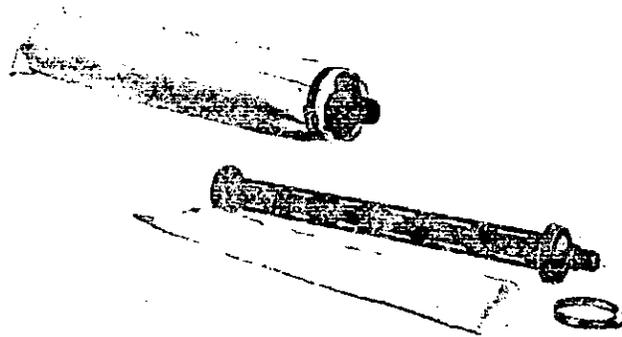


Figura 1.18 Difusor de envoltente poroso

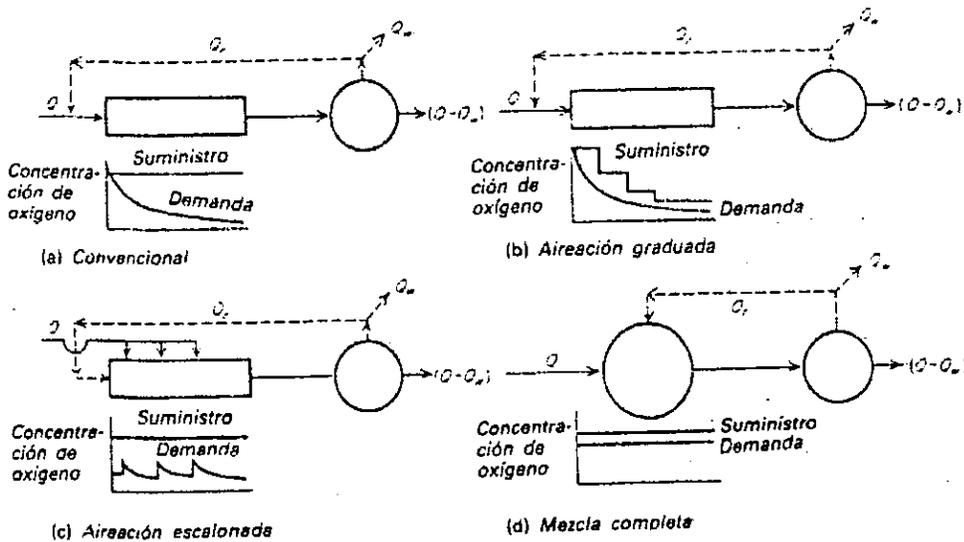


Figura 1.19 Efecto sobre el suministro y demanda de oxígeno

1.16. Modificaciones del sistema de lodos activados

- Proceso de aireación graduada.

Es un intento de adecuar el suministro de oxígeno a la demanda a base de introducir más aire en el extremo inicial del tanque. Ello puede conseguirse variando el espaciamento entre difusores. Este proceso es, básicamente similar al convencional y, al igual que éste, susceptible a los efectos de sobrecargas esporádicas y de productos tóxicos.

- Proceso de aireación escalonada.

Consiste en distribuir el caudal de agua a tratar, introduciéndolo por un cierto número de puntos a lo largo del depósito, evitando, de esta manera, la existencia de zonas con altas demandas de oxígeno, como sucede con los procesos convencionales y de aireación graduada. Esta distribución del agua tiende a disminuir las cargas punta, tanto hidráulica como orgánica, al tiempo que crea un efecto de dilución que protege al sistema contra la entrada de productos tóxicos.

- Proceso de mezcla completa.

El agua a tratar y el lodo de retorno se dispersan uniformemente en el tanque. La geometría del reactor no es importante, siempre que sea tal que permita el establecimiento de un régimen de mezcla completa. En un sistema de este tipo, la demanda de oxígeno es uniforme en todo el tanque (figura 1.19). En la práctica, y cualquiera que sea el tamaño del tanque, la obtención de condiciones de mezcla completa es difícil; no obstante, puede conseguirse una aproximación suficiente con una cuidadosa elección de los equipos de mezclado, aireación o ambos a la vez. El efecto de las puntas de carga hidráulica y orgánica se ve disminuido en estos sistemas y los productos tóxicos que pueden introducirse en los mismos sufren, normalmente, una dilución que los sitúa por debajo de las concentraciones que pueden ser peligrosas. El efluente de un sistema de mezcla completa es de calidad ligeramente inferior al de un proceso de flujo pistón, aunque en la práctica, la diferencia no es apreciable.

- Proceso de contacto y estabilización.

Aprovecha las propiedades adsorbentes del lodo activado. El lodo de retorno, el cual se somete a una aireación para conseguir la estabilización de la materia orgánica previamente absorbida, es mezclado con el agua a tratar y el conjunto aireado durante un período de tiempo muy corto, del orden de 30 minutos. El líquido mezclado se pasa a un clarificador en donde se separa el efluente tratado y los lodos, los cuales son posteriormente aireados por un período de tiempo variable entre 3 y 6 horas. Durante esta operación, la materia orgánica absorbida es hidrolizada y retornada a la masa líquida antes de su estabilización final. Si el tiempo de retención en la fase de contacto es demasiado grande, puede producirse un fenómeno similar a la hidrólisis y retorno de materia orgánica al líquido lo cual da origen a un deterioro de la calidad del efluente.

El proceso de contacto y estabilización permite reducir notablemente el volumen de aireación necesario.

Los sistemas de lodos activados con oxígeno han sido desarrollados con el objetivo de intentar adecuar más fácilmente el suministro de oxígeno a la demanda y, quizás, el de conseguir procesos de alta carga a base de mantener una mayor concentración de sólidos biológicos.

Existen dos configuraciones de procesos disponibles: reactores cerrados con una atmósfera de oxígeno (figura 1.20), y reactores abiertos con difusores de burbuja fina situadas en el fondo de los tanques (figura 1.21).

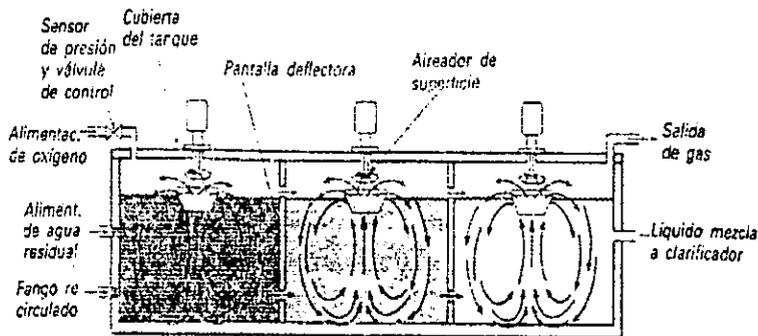


Figura 1.20 Sistema de oxígeno de reactor cerrado

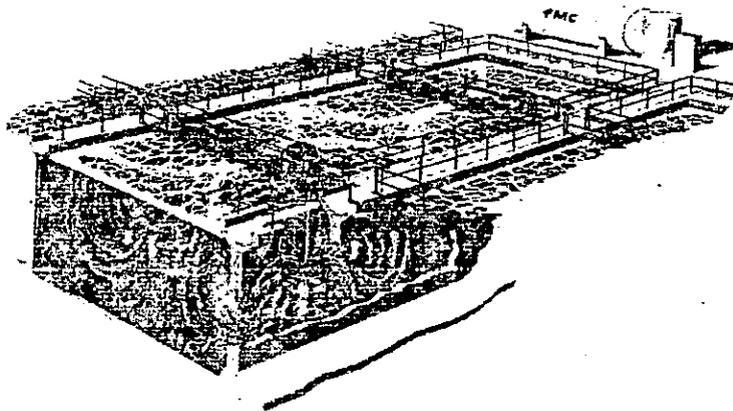


Figura 1.21 Sistema de oxígeno de reactor abierto

Si es posible mantener una mayor concentración de sólidos en el líquido mezcla, los procesos con oxígeno permitirán una satisfacción más rápida de la demanda.

Los sistemas de oxígeno pueden tener ciertas ventajas para poder afrontar los problemas derivados de la ocurrencia de cargas orgánicas superiores a las previstas, y en el tratamiento de ciertos efluentes industriales.

Cuadro 1.2 Parámetros de procesos típicos del sistema de lodos activados

Proceso	Carga diaria típica		θ días	θ_c días	S.F.	R	Suministro de aire $m^3/kg DBO_5$
	kg DBO_5 $/m^3$	kg DBO_5/kg SSVLM					
Aireación extendida	0.32	0.05-0.20	0.80-1.25	14- ∞	≥ 70	0.50- 1.00	90-125
Lodos activados convencionales	0.56	0.20-0.50	0.25-0.30	4-14	20-70	0.15- 0.30	45-90
Aireación graduada	0.56	0.20-0.50	0.25-0.30	4-14	20-70	0.15- 0.30	45-90
Aireación escalonada	0.80	0.20-0.50	0.25-0.30	4-14	20-70	0.20- 0.50	45-90
Contacto y estabilización	1.12	0.20-0.50	0.01-0.04	4-14	20-75	0.50- 1.00	45-90
Lodos activados de alta carga	1.6 - 6.4	0.50-3.50	0.10-0.15	0.8-4	4-20	1.00- 5.00	25-45

1.16.1. Aireación extendida

Es un proceso de mezcla completa que funciona con un tiempo de retención hidráulico (θ) y edad de lodo (θ_c) altos. La aplicación del proceso se suele limitar a plantas de tamaño pequeño en las que el mayor costo viene compensado por una mayor estabilidad y simplicidad de funcionamiento. Muchas de las plantas de aireación prolongada son del tipo prefabricado (plantas compactas), las cuales para su instalación, requieren de una cimentación adecuada y las conexiones hidráulica y eléctrica (figura 1.22). A la hora de seleccionar una planta compacta, deberá prestarse especial atención a la calidad y capacidad de bombas, motores y compresores, así como a la capacidad indicada del sistema.

Existen cuatro características básicas que distinguen la aireación extendida del proceso convencional de lodos activados:

1. Mayor tiempo de residencia en el reactor.
2. Cargas orgánicas menores (F/M).
3. Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor.
4. Mayor consumo de oxígeno.

Cuadro 1.3 Comparación de los procesos de lodos activados convencional y aireación extendida

Características	Lodos activados convencional	Aireación extendida
Sustrato a microorganismos (F/M), (kg DBO ₅ / d kg SSVLM)	0.30-0.70	0.10-0.25
Concentración de SSVLM en el reactor (mg/l)	2000-3000	3500-5000
Rendimiento global de disminución de DBO ₅ (incluye tanto la DBO ₅ soluble como la insoluble) (%)	85-95	85-98
Características del efluente		
DBO ₅ soluble (mg/l)	10-20	10-20
DBO ₅ total (en suspensión + coloidal + soluble) (mg/l)	15-25	20-40
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 20	< 70
Producción de lodos (kg/ kg DBO ₅ consumida)	≈ 0.03	≈ 0.01
Requerimiento de O ₂ (como % de la DBO ₅ consumida)	90-95	120
Tiempo de residencia en el reactor biológico (hr)	4-8	15-36
Edad de los lodos (días)	5-15	20-60

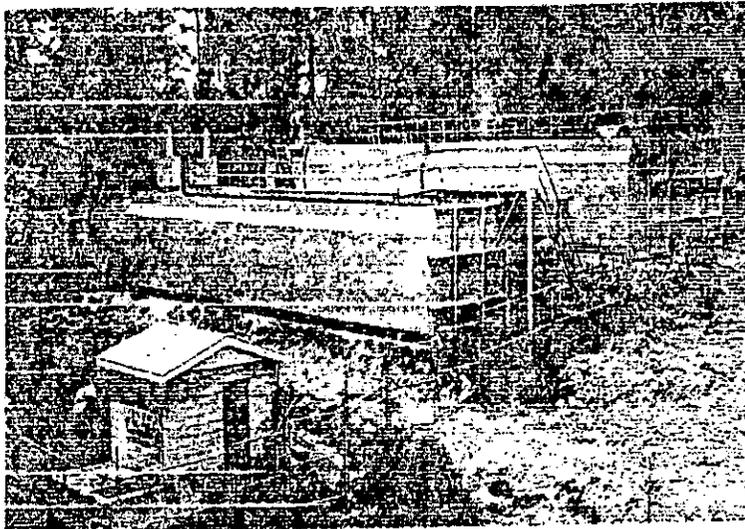


Figura 1.22 Planta compacta de aireación extendida

1.16.1.1 Zanjas de oxidación

La fosa más simple de oxidación consiste en un canal continuo aireado mecánicamente (figura 1.23). Las aguas residuales crudas se vierten a éste directamente. Se dispersan rápidamente en una mezcla de aguas residuales y lodos, y circulan con ellos a través de la fosa. Una velocidad de desplazamiento aproximadamente de 0.305 m/s mantiene a los flóculos en suspensión. El rotor es una modificación del aireador de cepillos de Kessener, pero corre a través del canal en vez de a lo largo de sus lodos.

En las fosas diseñadas para una operación cíclica, las profundidades se encuentran entre 0.915 m y 1.524 m y los períodos de retención se extienden de 1 a 3 días.

No se extrae efluente hasta que el nivel de agua en el canal llega al nivel máximo de operación. Se corta entonces el efluente, el rotor se detiene, se permiten una o dos horas de reposo para que los sólidos se sedimenten, el sobrenadante clarificado se extrae mediante un canal para el efluente, y el exceso de lodos, si se desea, se levanta de una sección de la fosa a los lechos de secado.

Debido a que los sólidos se estabilizan bien durante el largo período de aireación, ya no son putrescibles y se deshidratan con facilidad. La operación cíclica puede dar lugar a una operación continua mediante la adición de un tanque de sedimentación del cual se retornan a la fosa las cantidades útiles de lodos.

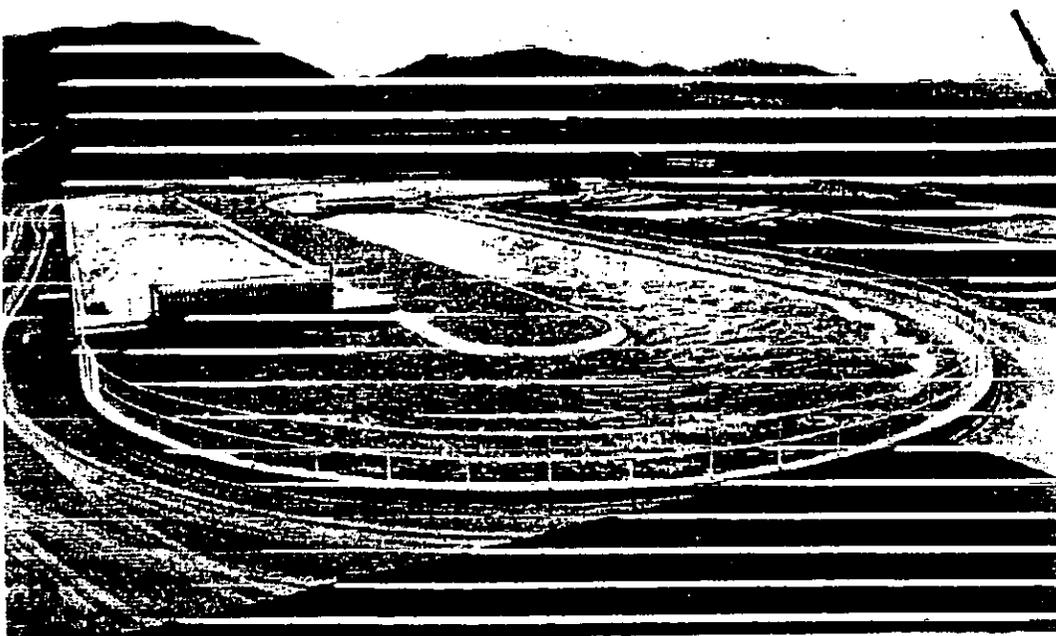


Figura 1.23 Zanja de oxidación

**CAPÍTULO
2****PRINCIPIOS DE DISEÑO**

En este capítulo se describen las bases para el diseño de las unidades de tratamiento a base de zanjas de oxidación, incluyendo las ecuaciones correspondientes de cada elemento y la secuencia a seguir en el propio proceso, así como las características de aireadores superficiales, de los tipos de clarificadores y de algunos sistemas para la disposición final y evacuación de lodos.

También se ocupa este capítulo de las generalidades del diseño del proceso, diseño hidráulico y del estudio de mecánica de suelos.

2.1. Diseño de las unidades

Las unidades que conforman el diseño de las zanjas de oxidación son:

- Zanja.
- Rotor.
- Tanque de sedimentación final.

Para lo cual se deben considerar los siguientes factores:

Recirculación, tiempo de residencia, DBO_5 de la alimentación combinada, gasto de la alimentación combinada, gasto del reciclado, volumen del reactor, requerimientos de oxígeno, producción de lodo, flujo del efluente, flujo de desecho, flujo de lodo del clarificador, incremento de la concentración de sólidos en suspensión no volátiles, longitud del rotor. En la figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo con las variables de diseño.

Dimensiones de la zanja:

- Área de la sección transversal.
- Longitud total de la zanja.
- Longitud de los extremos de la zanja.

Tanque de sedimentación final:

- Área superficial.
- Volumen del tanque.

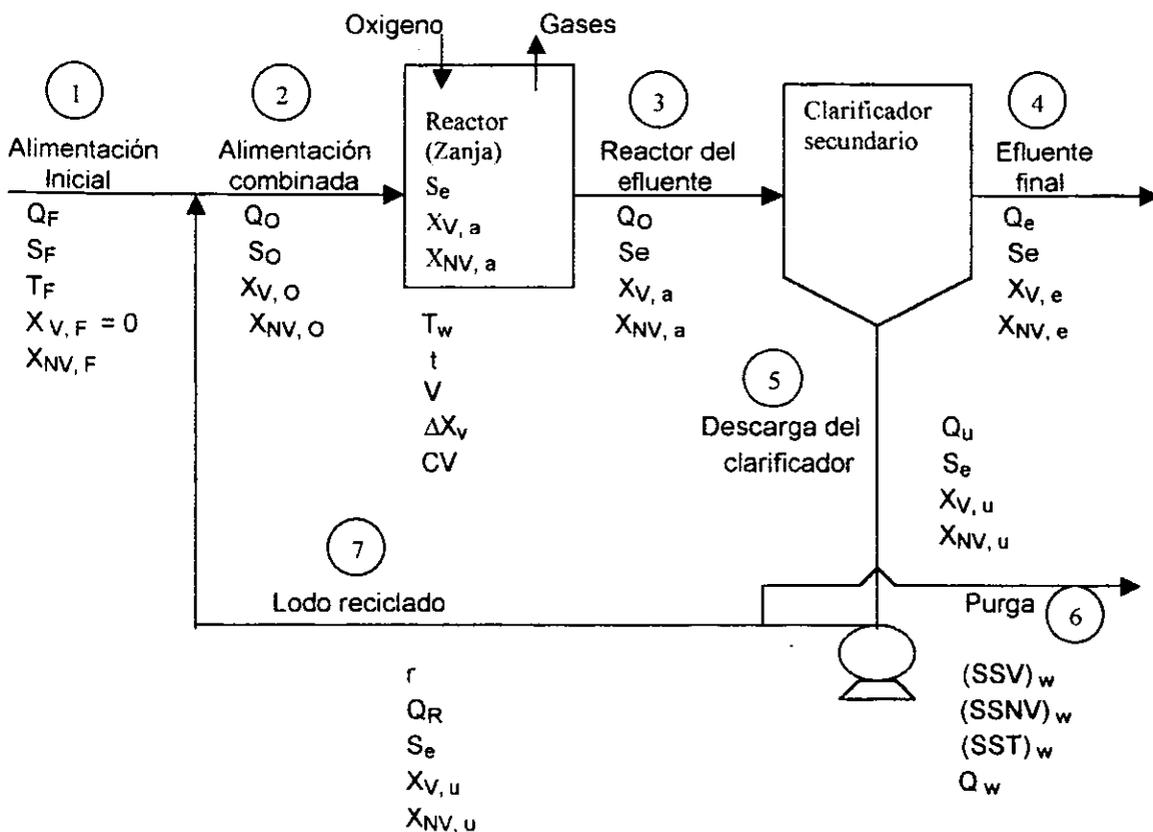


Figura 2.1 Diagrama de flujo de las variables de diseño

Donde:

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

S_F , DBO₅ soluble en la alimentación inicial.

T_F , temperatura en la alimentación inicial para invierno y verano.

$X_{V,F}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la alimentación inicial.

$X_{NV,F}$, concentración de sólidos no volátiles en suspensión en la alimentación inicial

Q_O , gasto de la alimentación combinada.

S_O , DBO₅ soluble en la alimentación combinada.

$X_{V,O}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la alimentación combinada.

$X_{NV,O}$, concentración de sólidos no volátiles en suspensión en la alimentación combinada.

S_e , DBO₅ soluble del efluente.

$X_{V,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.

$X_{NV,a}$, concentración de sólidos no volátiles en suspensión en el efluente del reactor

Q_e , gasto del efluente.

- $X_{V,e}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente final.
 $X_{NV,e}$, concentración de sólidos no volátiles en suspensión en el efluente final.
 Q_u , gasto del lodo del clarificador.
 $X_{V,u}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario.
 $X_{NV,u}$, concentración de sólidos no volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario.
 $(SSV)_w$, Sólidos suspendidos volátiles de desecho.
 $(SSNV)_w$, Sólidos suspendidos no volátiles de desecho.
 $(SST)_w$, Sólidos suspendidos totales de desecho.
 Q_w , gasto de desecho.
 r , reciclado.
 Q_R , gasto de reciclado.
 T_w , temperatura estimada para invierno y verano.
 t , tiempo de residencia.
 V , volumen del reactor.
 ΔX_v , producción neta de biomasa.
 CV , potencia requerida.

- Recirculación [r]

Es una forma de operación a contracorriente que añade uniformidad y flexibilidad a las operaciones de tratamiento de aguas residuales.

Además de distribuir más efectivamente la carga de las impurezas aplicadas, proporciona la oportunidad de uniformizar el caudal del flujo aplicado, mediante un ajuste.

Mejora la calidad del efluente en forma apreciable.

$$r = [X_{V,a} - (1 - \phi)Y(S_F - S_e)] / (X_{V,u} - X_{V,a}) \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde :

- $X_{V,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.
 ϕ , es la cantidad de SSVLM biodegradable producida por kg de SSVLM producido ≈ 0.77 .
 Y , es la cantidad total de SSVLM producida por kg de DBO_5 total consumida.
 S_F , DBO_5 soluble en la alimentación inicial.
 S_e , DBO_5 soluble del efluente.
 $X_{V,u}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario.
 SSVLM, Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

- **Tiempo de residencia [t]**

Es el período de retención requerido para el consumo de la DBO.

$$t = \frac{\phi Y (S_F - S_e)}{b X_{v,a} (1+r)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

$X_{v,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.

ϕ , es la cantidad de SSVLM biodegradable producida por kg de SSVLM producido ≈ 0.77 .

Y , es la cantidad total de SSVLM producida por kg de DBO₅ total consumida.

S_F , DBO₅ soluble en la alimentación inicial.

S_e , DBO₅ soluble del efluente.

r , recirculación.

b , es la cantidad total de SSVLM oxidada por día por kilogramo de SSVLM en el reactor.

SSVLM, Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

- **Cálculo de la DBO₅ de la alimentación combinada [S₀]**

$$S_0 = \frac{S_F + r S_e}{1+r} \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde:

S_F , DBO₅ soluble en la alimentación inicial.

S_e , DBO₅ soluble del efluente.

r , recirculación.

- Relación F/M

Es la carga orgánica expresada como la relación de sustrato (F) a microorganismos (M).

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{X_{v,a} t} \dots\dots\dots (2.4)$$

Donde:

S_0 , DBO₅ soluble en la alimentación combinada.

$X_{v,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.

t, tiempo de residencia.

- Gasto de la alimentación combinada [Q_0]

Es el gasto resultante de la combinación del flujo de la alimentación inicial y el flujo del reciclado.

$$Q_0 = Q_F (1+r) \dots\dots\dots (2.5)$$

Donde:

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

r, recirculación.

- Gasto del reciclado [Q_R]

Es el gasto resultante de la uniformidad de la alimentación inicial con el lodo reciclado.

$$Q_R = r Q_F \dots\dots\dots (2.6)$$

Donde:

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

r, recirculación.

- Volumen del reactor [V]

El volumen del reactor esta controlado por la velocidad de oxidación del lodo.

$$V = Q_0 t \dots\dots\dots (2.7)$$

Donde :

Q_0 , gasto de la alimentación combinada.

t , tiempo de residencia.

- Requerimientos de oxígeno [$R_r V$]

Teniendo en cuenta que el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena, el oxígeno requerido es considerable, aproximadamente del doble requerido para el proceso de lodos activados convencional.

$$R_r V = a (S_0 - S_e) Q_0 + b' X_{v,a} V \dots\dots\dots (2.8)$$

Donde :

a , kilogramos de oxígeno utilizado por kilogramos de DBO_5 consumida.

S_0 , DBO_5 soluble en la alimentación combinada.

S_e , DBO_5 soluble del efluente.

Q_0 , gasto de la alimentación combinada.

b' , kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de SSVLM en el reactor en el proceso de respiración (endógena).

$X_{v,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.

V , volumen del reactor.

SSVLM, Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

- Producción de lodo [ΔX_v]

Aunque teóricamente la producción de lodo es nula, en la práctica esto no sucede así, debido a que parte del lodo no es biodegradable y en consecuencia se acumula.

$$\Delta X_v = Y(S_F - S_e)Q_F - b X_{v,a}V \dots\dots\dots (2.9)$$

Donde:

Y , es la cantidad total de SSVLM producida por kg de DBO_5 total consumida.

S_F , DBO_5 soluble en la alimentación inicial.

S_e , DBO_5 soluble del efluente.

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

b , es la cantidad total de SSVLM oxidada por día por kilogramo de SSVLM en el reactor.

$X_{v,a}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en el efluente del reactor.

V , volumen del reactor.

SSVLM, Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

- Flujos del efluente, desecho y lodo del clarificador [Q_e, Q_w, Q_u]

Gasto del efluente. Es el gasto que se presenta en la salida del clarificador, es el resultante de la diferencia del gasto de la alimentación inicial y el gasto de desecho.

Gasto de desecho. Es el gasto que se presenta al realizar la purga, el cual es muy pequeño al compararlo con el gasto de la alimentación inicial. Por lo que la mayor parte de la alimentación inicial sale con el efluente del clarificador. $Q_F \approx Q_e$

Gasto del lodo del clarificador. Es el gasto que se presenta en la descarga del clarificador, es el resultante de la diferencia del gasto de la alimentación combinada y el gasto del efluente.

$$Q_w = (\Delta X_v + Q_F X_{v,F}) / X_{v,u} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Q_e = Q_F - Q_w \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Q_u = Q_R + Q_w \text{ ó } Q_u = Q_0 - Q_e \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde :

Q_w , flujo de desecho.

ΔX_v , producción de lodo.

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

$X_{v,F}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la alimentación inicial.

$X_{v,u}$, concentración de sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario.

Q_u , flujo de lodo del clarificador.

Q_e , flujo del efluente.

Q_R , gasto del reciclado.

Q_0 , gasto de la alimentación combinada.

- Incremento de la concentración de sólidos en suspensión no volátiles [ΔX_{NV}]

Es la cantidad de sólidos en suspensión no volátiles acumulados desde la alimentación inicial hasta el desecho.

$$\Delta X_{NV} = Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q_w X_{NV,e} \dots\dots\dots (2.13)$$

Donde :

Q_F , gasto de la alimentación inicial.

$X_{NV,F}$, concentración de sólidos en suspensión no volátiles en la alimentación inicial.

$X_{NV,e}$, concentración de sólidos en suspensión no volátiles en el efluente final.

Q_w , flujo de desecho.

- Producción total de lodos [ΔX_t]

Es la cantidad de lodos acumulada, considerando tanto los sólidos en suspensión volátiles como los sólidos en suspensión no volátiles.

$$\Delta X_t = \Delta X_v + \Delta X_{NV} \dots\dots\dots (2.14)$$

Donde:

ΔX_v , producción de lodo.

ΔX_{NV} , incremento de la concentración de sólidos en suspensión no volátiles

- Balance de materia de los sólidos no volátiles

Entran:

$$Q_F X_{NV,F} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Q_W X_{NV,u} = \Delta X_{NV} \dots\dots\dots (2.16)$$

Salen:

$$Q_c X_{NV,c} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$X_{NV,u} = \frac{\Delta X_{NV}}{Q_u} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$X_{NV,o} = \frac{X_{NV,F} + r X_{NV,u}}{1+r} \dots\dots\dots (2.19)$$

En la figura 2.2 se observa el diagrama de flujo del balance de materia.

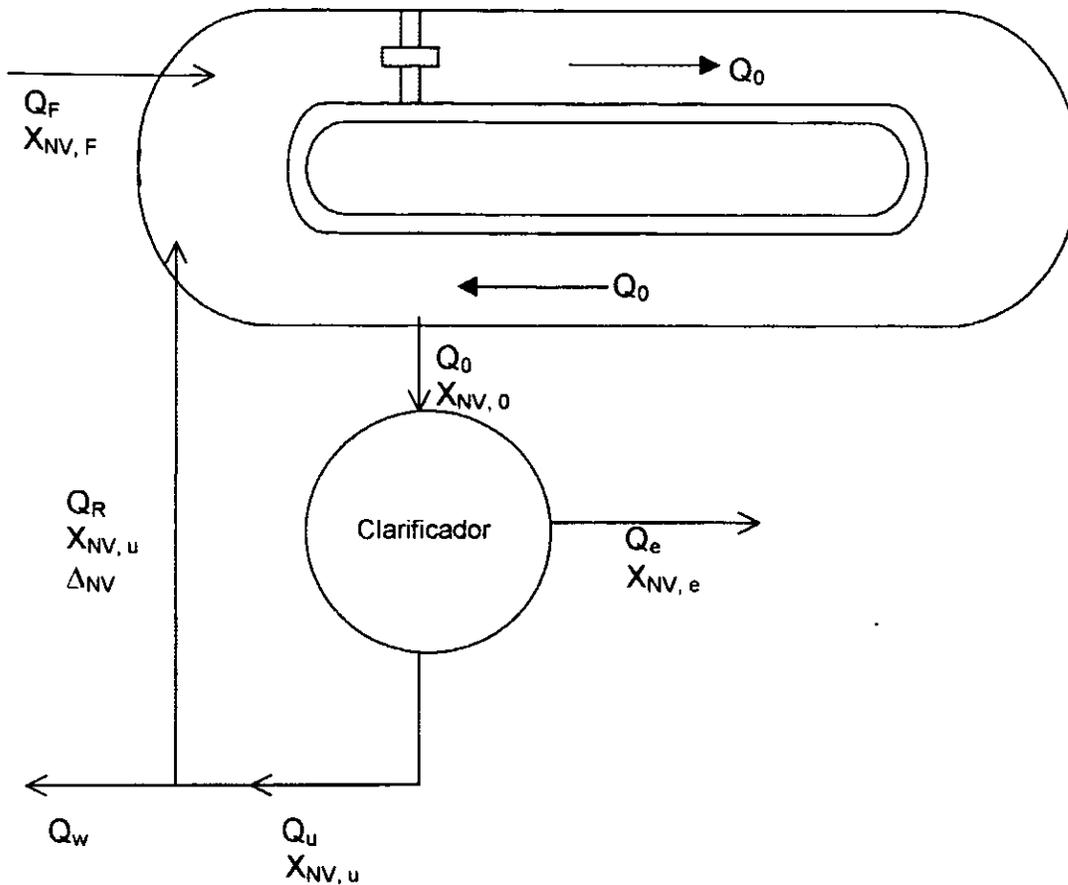


Figura 2.2 Diagrama de flujo del balance de materia de los sólidos no volátiles.

- Aireador

Los dos modelos de aireadores utilizados con mayor frecuencia son: los de tipo cepillo y los de tipo jaula.

Existen dos métodos para calcular la longitud del rotor, los cuales se explican a continuación.

El primero consiste en seleccionar de los datos de prueba de los fabricantes, el aireador más apropiado, el que se apegue más a las características que se buscan para un funcionamiento eficiente (ver cuadros 2.1 a 2.8).

Calcular la potencia y determinar la longitud del rotor.

Se calcula la potencia necesaria con las siguientes expresiones:

$$N = \frac{N_0}{1.5} \left(\frac{C_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) \alpha \times 1.024^{T-20} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$C_{sw} = \beta C_{ss} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$C_{ss} = (C_{ss})_{760} \frac{P - P^v}{760 - P^v} \dots\dots\dots (2.22)$$

Donde:

N , potencia necesaria.

$(C_{ss})_{760}$, concentración de saturación de oxígeno para la temperatura de funcionamiento (cuadro 2.9).

P , presión barométrica media.

P^v , presión de vapor de agua (cuadro 2.10).

β , factor de corrección de salinidad - tensión superficial.

C_{ss} , concentración de saturación para agua corriente

N_0 , eficiencia de transferencia de oxígeno.

C_{sw} , concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación en aguas residuales.

C_L , concentración de oxígeno en condiciones de equilibrio.

C_{st} , concentración de saturación de oxígeno de agua a la red de suministro a determinada temperatura.

α , factor de corrección de transferencia de oxígeno en el agua residual.

T , temperatura.

Cuadro 2.1 Características de aireadores

Tipo o modelo	Tipo de hoja	Diámetro (pulg.)	Columna	Rango de sumergencia	Rango de velocidad (rpm)	Material de construcción	Máxima long. Por columna (ft)
Jaula	Hoja de dentado horizontal	27.5	6 pulg. Tubo de rotación	2-10	60-90	Acero	16
Magna	3 pulg. – ancho del cepillo 14 pulg. – long. Máx.	42	14 pulg. Tubo de rotación	4-14	50-72	Acero	30
Aspas	3 pulg. – ancho del cepillo 11 pulg. – long. Máx.	38	16 pulg. Tubo de rotación	7-10		Tubo de rotación de acero y hojas de fierro galvanizado	12 mín. 25 máx.
Disco	0.5 pulg. – ancho disco de plástico	52	5 pulg. Tubo de rotación	11-21	56-58	Tubo de rotación de acero	
Aireador OTA	Hoja perforada de fibra de vidrio	30			≤ 110	Fibra de vidrio	7 (un tamaño)

Cuadro 2.2 Capacidad de mezcla del rotor

Diámetro del rotor (pulg.)	Volumen máximo en el reactor gal/ft de rotor
27.5	13000 < 600 P.E*
27.5	16000 > 600 P.E
42	21000

*P.E: Población equivalente

Cuadro 2.3 Eficiencia de la transferencia de oxígeno, rotor tipo jaula kg O₂/ HP xhr

RPM Sumergencia [cm]	60	70	80	90	100	110	120	Diámetro del rotor [cm]
7.62 (3")	1.8625	1.6008	1.7416	1.8573	2.0318	1.9566	1.7240	69.85 (27.5")
15.24 (6")	1.6041	1.5352	1.5282	1.5481	1.8917	2.1673	2.3221	69.85 (27.5")
22.86 (9")	1.4821	1.7939	1.6796	1.6174	1.9123	1.9651	1.9744	69.85 (27.5")
30.48 (12")	1.4392	1.6310	1.5287	1.4410	1.8189	1.7512	1.6601	69.85 (27.5")

Cuadro 2.4 Capacidad de oxigenación del rotor tipo jaula, kg O₂/ hr x m rotor

RPM Sumergencia [cm]	60	70	80	90	100	110	120	Diámetro del rotor [cm]
7.62 (3")	0.8195	0.9685	1.3410	1.7880	2.4585	2.9055	3.129	69.85 (27.5")
15.24 (6")	1.6763	2.5330	3.2780	4.1720	6.0345	7.7480	8.940	69.85 (27.5")
22.86 (9")	2.1605	3.6505	4.6190	5.9600	8.9400	11.026	12.314	69.85 (27.5")
30.48 (12")	2.5330	4.3955	5.8855	7.3755	11.478	13.481	14.974	69.85 (27.5")

Cuadro 2.5 Consumo de energía, rotor tipo jaula HP/ m rotor

RPM Sumergencia [cm]	60	70	80	90	100	110	120	Diámetro del rotor [cm]
7.62 (3")	0.440	0.605	0.770	0.963	1.210	1.435	1.815	69.85 (27.5")
15.24 (6")	1.045	1.650	2.145	2.695	3.190	3.575	3.830	69.85 (27.5")
22.86 (9")	1.458	2.035	2.750	3.685	4.675	5.610	6.490	69.85 (27.5")
30.48 (12")	1.760	2.695	3.850	5.115	6.325	7.700	9.020	69.85 (27.5")

Cuadro 2.6 Eficiencia de la transferencia de oxígeno, rotor tipo magna $\text{kgO}_2/\text{HPxhr}$

RPM Sumergencia [cm]	50	60	70	Diámetro del rotor [cm]
12.70 (5")	1.6157	1.5051	1.3610	106.68 (42")
20.32 (8")	1.6142	1.3092	1.5435	106.68 (42")
25.40 (10")	1.5750	1.5280	1.6255	106.68 (42")
30.48 (12")	1.5000	1.3068	1.6035	106.68 (42")
38.10 (15")	1.2832	1.3498	1.4228	106.68 (42")

Cuadro 2.7 Capacidad de oxigenación del rotor tipo magna, $\text{kg O}_2/\text{hr x m rotor}$

RPM Sumergencia [cm]	50	60	70	Diámetro del rotor [cm]
12.70 (5")	1.564	2.384	3.054	106.68 (42")
20.32 (8")	3.054	4.250	5.440	106.68 (42")
25.40 (10")	3.950	5.513	7.152	106.68 (42")
30.48 (12")	4.620	6.630	8.498	106.68 (42")
38.10 (15")	5.066	7.599	9.387	106.68 (42")

Cuadro 2.8 Consumo de energía, rotor tipo magna $\text{HP}/\text{m rotor}$

RPM Sumergencia [cm]	50	60	70	Diámetro del rotor [cm]
12.70 (5")	0.968	1.584	2.244	106.68 (42")
20.32 (8")	1.892	2.816	3.520	106.68 (42")
25.40 (10")	2.508	3.608	4.400	106.68 (42")
30.48 (12")	3.080	4.400	5.280	106.68 (42")
38.10 (15")	4.004	5.632	6.600	106.68 (42")

Cuadro 2.9 Valores de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales (1 atm)

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	O ₂ (mg/ l)
0	32	14.6
5	41	12.8
10	50	11.3
15	59	10.2
20	68	9.2
25	77	8.4
30	86	7.6
35	95	7.1
40	104	6.6

Cuadro 2.10 Presión de vapor de agua

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	P ^v (mm Hg)
0	32	4.579
5	41	6.543
10	50	9.209
15	59	12.788
20	68	17.535
25	77	23.756
30	86	31.824
35	95	42.175
40	104	55.324

Potencia [HP]

$$HP = \frac{R_r V}{N} \dots\dots\dots (2.23)$$

Donde:

$R_r V$, oxígeno requerido.

N , potencia requerida.

Longitud del rotor [LR]

$$LR = \frac{HP}{E} \dots\dots\dots (2.24)$$

Donde:

HP , potencia.

E , energía consumida (cuadros 2.5 y 2.8)

En el segundo método, de acuerdo a la velocidad requerida en la zanja (según el máximo volumen por metro) y al tipo de rotor seleccionado, se determina la longitud del rotor.

$$LR = \frac{V}{v} \dots\dots\dots (2.25)$$

Donde:

V , volumen del reactor.

v , volumen máximo por metro de acuerdo al tipo de rotor.

La longitud del rotor será la mayor de los dos métodos, se pueden usar dos o más rotores de igual longitud para satisfacer los requerimientos de oxígeno en caso de que un rotor sea inadecuado o si el diseño de un rotor dual hace un mejor diseño.

- **Dimensiones de la zanja**
(figura 2.3)

a) Área de la sección transversal.

Las secciones más utilizadas son la rectangular y la trapezoidal (figura 2.4), la elección y el diseño de la sección va a depender de los resultados del estudio de mecánica de suelos, así como de las especificaciones propias del equipo.

Ancho interior de la zanja $[a_i]$

$$a_i = L + a \dots\dots\dots (2.26)$$

Donde:

- L, longitud del rotor.
- a, ancho del soporte de la chumacera.

Área de la sección transversal $[A_{st}]$

$$A_{st} = d^2 + d a_i \dots\dots\dots (2.27)$$

Donde:

- d, longitud del soporte de la chumacera.
- a_i , ancho interior de la zanja.

b) Longitud total de la zanja $[L_t]$

$$L_t = \frac{V}{A_{st}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Donde:

- V, volumen de la zanja.
- A_{st} , área de la sección transversal.

c) Longitud de los extremos de la zanja [$\zeta / 2$]

Longitud de la circunferencia

$$L = \pi V \dots\dots\dots (2.29)$$

Donde:

$$V = 2 \left(\frac{E}{2} + r \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

E, es la distancia existente entre el muro lateral de la zanja y el muro lateral de la isla central a la cual se encuentra el nivel del agua.

r, radio de la isla central.

La parte recta de la zanja tendrá una longitud de:

$$\zeta = L, -L \dots\dots\dots (2.31)$$

Cada lado recto:

$$\frac{\zeta}{2} \dots\dots\dots (2.32)$$

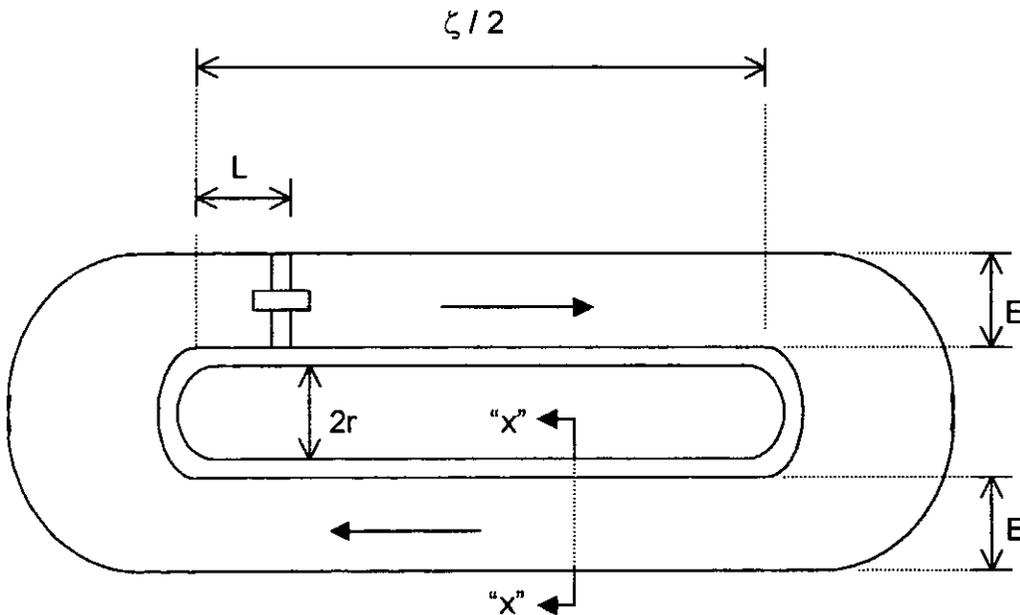


Figura 2.3 Vista en planta de la zanja de oxidación

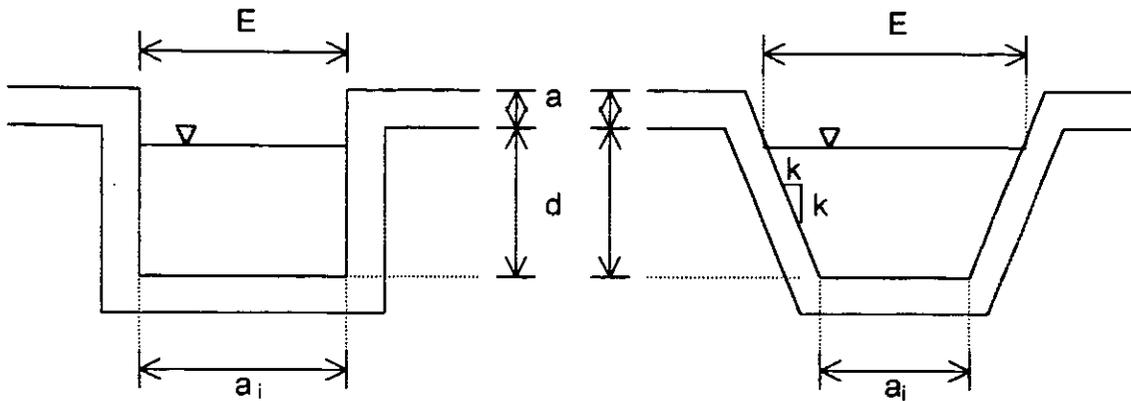


Figura 2.4 Corte "x"- "x" secciones transversales (rectangular y trapecial)

- Tanque de sedimentación final

Los clarificadores se clasifican según la geometría de su sección horizontal en:

- 1) Rectangulares.
- 2) Circulares.
 - a) Con alimentación central.
 - b) Con alimentación periférica.

En la figura 2.5 se muestran los clarificadores típicos.

1. Clarificador rectangular (figura 2.5 a). En el tipo mostrado, el lodo es arrastrado por las rasquetas a lo largo del tanque y hacia el extremo de entrada. En otros diseños el lodo es arrastrado hacia la zona de salida del tanque.

Los mecanismos de las rasquetas son del tipo rotatorio, y consisten en una serie de pequeñas rasquetas montadas en una cadena sin fin, que hace contacto con el fondo del tanque. Se mueve lentamente, a una velocidad aproximada de 0.3 m/min.

2a. Clarificador circular con alimentación central (figura 2.5b). La alimentación se hace por la parte central y la solución clarificada rebosa por un canal de recogida en la periferia. El fondo del clarificador tiene una pendiente mínima de 1/12. El mecanismo de rasquetas es del tipo de paletas para evitar que tenga una inercia y prevenir la adherencia del lodo al fondo del tanque.

2b. Clarificador circular con alimentación periférica (figura 2.5c). La alimentación está situada en la periferia y la solución clarificada rebosa por un canal de recogida en la zona central. Los demás detalles son similares a los del tipo mostrado en la figura 2.5b.

La sección de entrada debe ser diseñada con cuidado para tener una distribución uniforme de flujo, tanto a lo ancho como a lo profundo.

De forma similar la sección de salida debe diseñarse para recoger el efluente de manera uniforme.

Un buen diseño de las secciones de entrada y salida reduce las posibilidades de corto circuito en el flujo del líquido, que lleva a un inadecuado funcionamiento del clarificador. La correcta posición de los vertedores y los deflectores, como se indica en la figura 2.5, es el sistema para evitar estos cortos circuitos.

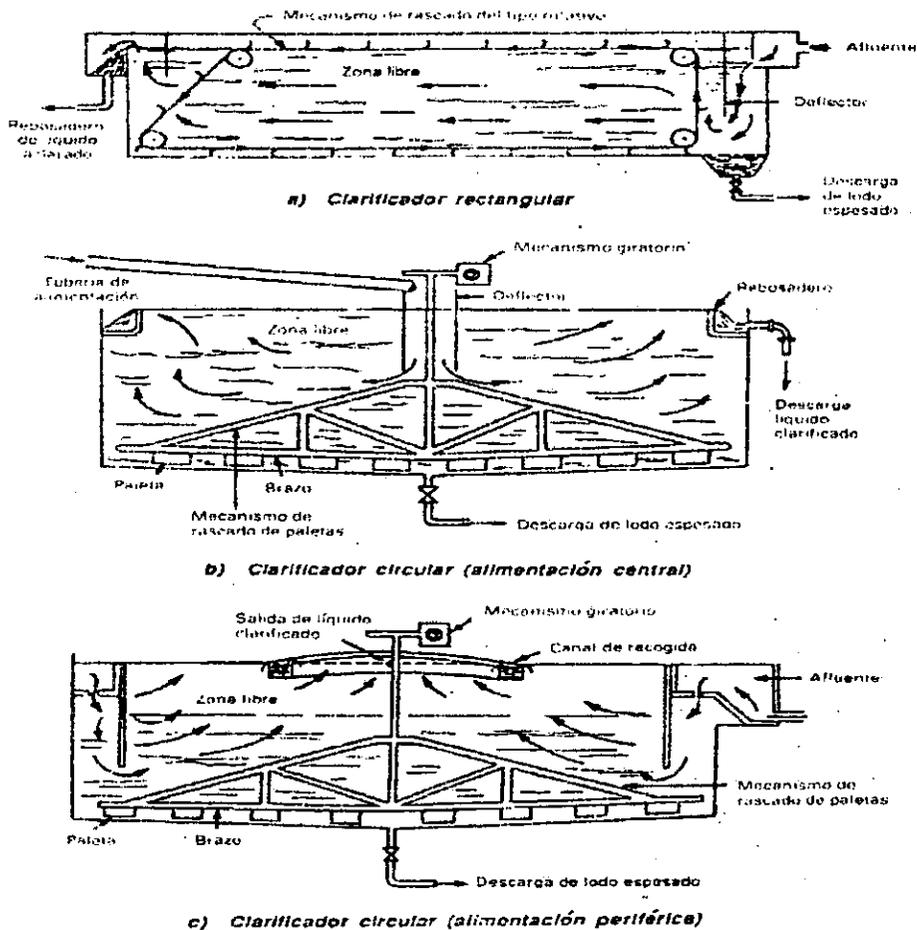


Figura 2.5 Tipos de clarificadores

a) Área superficial [A_s]

$$A_s = \frac{\text{Gasto de diseño (m}^3 \text{ / día)}}{\text{Carga superficial (m}^3 \text{ / m}^2 \text{ * día)}} \dots\dots\dots (2.33)$$

b) Volumen del tanque [V]

$$V = (\text{Gasto de diseño})(\text{Tiempo de retención}) \dots\dots\dots (2.34)$$

c) Profundidad efectiva del tanque [h_{ef}]

$$h_{ef} = \frac{V}{A_s} \dots\dots\dots (2.35)$$

Donde:

V , volumen del tanque.

A_s , área superficial.

Bomba de recirculación de lodos

La bomba de recirculación de lodos debe manejar del 20 al 100% del flujo de diseño.

Elección del sistema a utilizar para la disposición final del exceso de lodo

Los lodos secundarios son fundamentalmente biomasa en exceso, producida en los procesos biológicos.

En las plantas de lodos activados, alrededor de 2/3 de la DBO soluble separada corresponde a compuestos orgánicos, oxidados para producir la energía de mantenimiento, pero el 1/3 restante corresponde a células microbianas que se encuentran en el lodo en exceso de las purgas.

Por lo que éstos lodos no deben evacuarse sin un tratamiento previo adecuado.

Procesos para tratamiento y evacuación de lodos.

- Digestión aerobia.

Es un proceso en el cual se produce una aireación, por un período significativo de tiempo, de una mezcla de lodo digerible de la clarificación primaria y lodo del tratamiento biológico aerobio, con el resultado de una destrucción de células y una disminución de sólidos suspendidos volátiles.

El objetivo principal de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se debe evacuar posteriormente, esta reducción es el resultado de la conversión, por oxidación, de una parte sustancial del lodo en productos volátiles.

- Digestión anaerobia.

Desde hace más de cien años se conoce el hecho de que si dejan los sólidos sedimentados de las aguas residuales en un tanque cerrado por un tiempo suficiente, pasan a tener un aspecto líquido y se genera simultáneamente un gas que contiene metano.

En 1904 Imhoff obtuvo la patente del diseño de reactores de digestión anaerobia, conocidos como fosas o tanques Imhoff. La gran mayoría de los procesos de digestión de lodos son anaerobios.

Los digestores de lodos anaerobios son normalmente de dos tipos:

- 1) Digestores de una etapa (figura 2.6).
- 2) Digestores de dos etapas (figura 2.7).

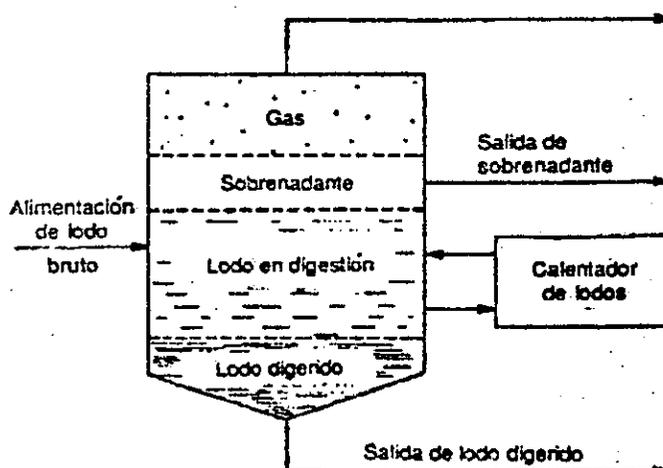


Figura 2.6 Digestor anaerobio de una etapa

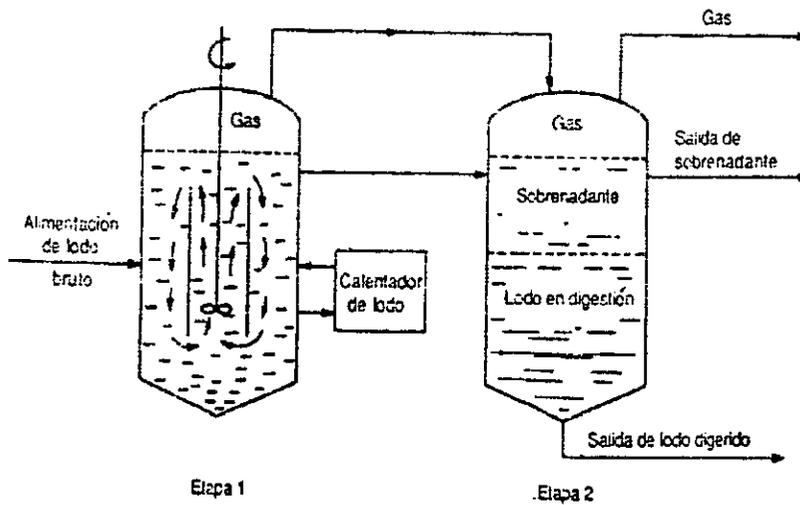


Figura 2.7 Digestor anaerobio de doble etapa

- Espesamiento de lodos.

El espesamiento es el primer paso normal en los procesos de evacuación de lodos.

Puede conseguirse por:

- 1) Gravedad.
- 2) Flotación con aire disuelto.

Espesadores a gravedad

Son tanques de sección circular en los que se dispone un mecanismo rotativo de raseado, similar al de los clarificadores.

Espesadores por flotación (figura 2.8)

Puede utilizarse para lodos y se recomienda especialmente para aquellos de naturaleza gelatinosa.

Ventajas

1. Mejora el funcionamiento del digestor y reduce las inversiones, si se recurre a la digestión posterior.
2. Reduce el volumen de lodos antes de la evacuación al terreno o al mar.
3. Mejora la economía de los sistemas de deshidratación (centrifugas, filtros de vacío, filtros a presión, etcétera).

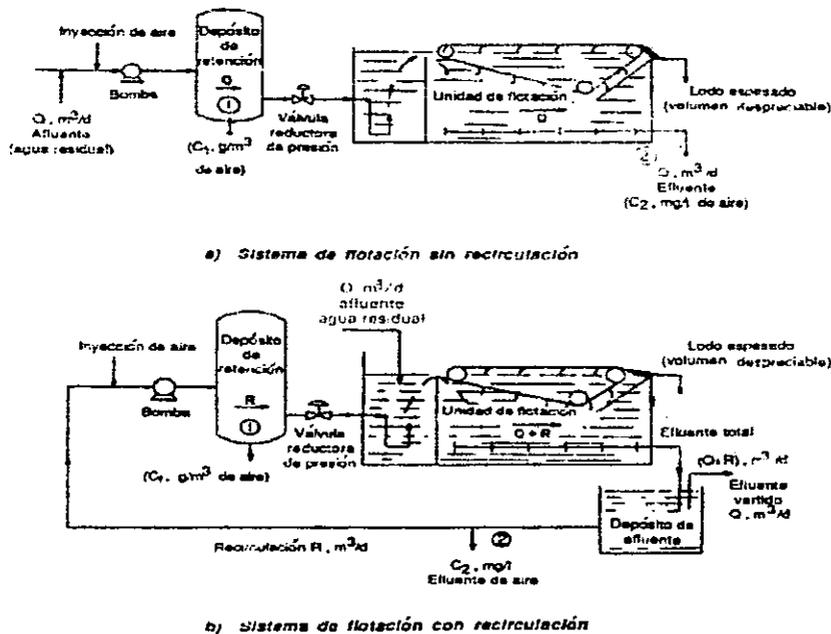


Figura 2.8 Sistemas de flotación

- Secado de los lodos por filtración al vacío.

Es el proceso más usado para el secado de lodos. El agua se separa aplicando el vacío a través de un medio poroso que retiene los sólidos y permite al líquido pasar. Se usan distintos tipos de medios filtrantes, tales como tejidos de nylon, dacrón, malla metálica, muelles metálicos densamente entrelazados.

La unidad central es un cilindro rotativo dentro del tanque de lodos (figura 2.9). El vacío se aplica en la parte sumergida del cilindro, reteniéndose los sólidos en la superficie de éste.

La torta se comienza a formar, aumentando a medida que el tambor se introduce en el lodo y alcanza el espesor final cuando emerge. Posteriormente se deshidrata la torta.

Al final del ciclo se separa la torta, llevándose a una cinta transportadora; el medio filtrante se lava con inyección de agua antes de volverse a sumergir en el tanque de lodo.

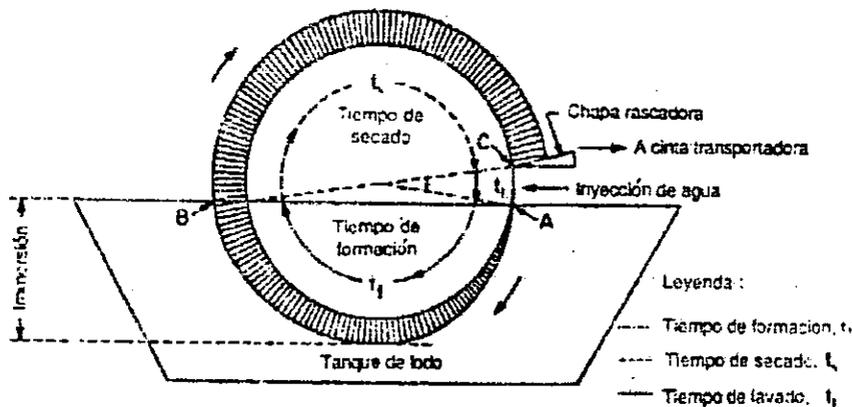


Figura 2.9 Diagrama de filtro rotativo

- Filtración a presión.

La filtración de lodos en filtros de prensa ha sido viable económicamente si los costos de mano de obra no son muy altos, debido a las dificultades de automatización completa de operación. Recientemente se dispone ya de equipos completamente automáticos, con apertura, descarga de torta y lavado automáticos.

La ventaja principal sobre los de vacío es que puede obtenerse una torta más seca.

El filtro de cinta (figura 2.10) es de funcionamiento continuo, y utiliza una combinación de gravedad, presión y desplazamiento para eliminar el agua de lodos.

Este sistema es alimentado con lodo, primeramente a una cinta transportadora con drenaje por gravedad (percolación). Generalmente, un floculador (polielectrolito) es necesario para el acondicionamiento del lodo en esta etapa. El lodo es distribuido sobre la cinta de un tejido relativamente abierto, a través del cual, aproximadamente la mitad del agua es eliminada por percolación.

Después de esta etapa de drenaje por gravedad, el lodo ya relativamente concentrado en sólidos, es transferido a un sistema de cintas de presión. Estas cintas son más pesadas que aquella de la etapa de drenaje por gravedad, y son de un tejido más tupido. La torta es exprimida entre las dos cintas, empezando en la zona de compresión.

La presión es aplicada a la torta por dos métodos:

- 1). Por la tensión del tejido en la cinta, que es controlada mediante poleas de presión ajustable.

2). Por enrollamiento alrededor de los cilindros de secado.

La presión sobre la torta es progresivamente aumentada por la disminución del diámetro de estos cilindros y el aumento de la tensión de la cinta, que se obtiene mediante el ajuste de los rodillos de presión.

La presión puede aumentar hasta cerca de 7 kg/cm^2 , con tiempos de residencia en el sistema de hasta 20 minutos.

Cualquier tipo de lodo con buen drenaje o floculable químicamente, puede desecarse en un sistema de filtros de cinta. La torta es descargada al final y puede contener hasta un 95% de sólidos.

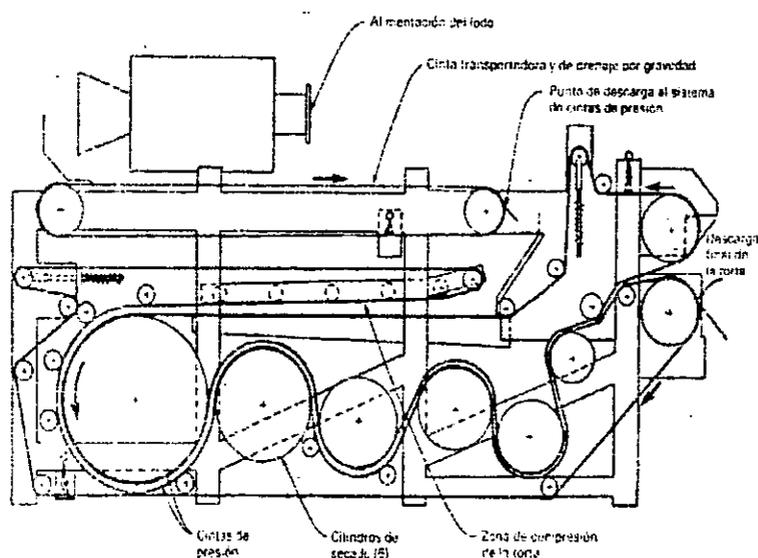


Figura 2.10 Filtro de cinta

- Centrifugación.

El secado de lodos por centrifugación se ha aplicado en forma creciente en los últimos años (figura 2.11).

Los componentes de la centrifugación son:

- 1) Carga fija.
- 2) Cuba rotativa.
- 3) Transportador interior rotativo.
- 4) Partes motrices (motor, reductor).

- 5) Válvula de entrada de lodos.
- 6) Válvula de salida de sólidos.
- 7) Válvula de salida de líquido.

Los sólidos de lodo se compactan, por fuerza centrífuga, contra la pared interior de la cuba rotativa, siendo luego arrastrados por el transportador hacia la salida. El líquido se descarga por el extremo opuesto. No se dispone de procedimiento de diseño a partir de datos de laboratorio.

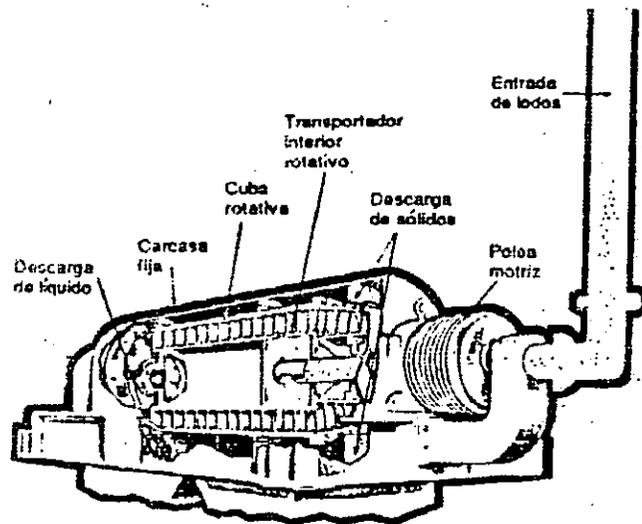


Figura 2.11 Centrifuga continua Bird

- Lechos de arena.

El secado al aire de lodos en lechos de arena es uno de los métodos más económicos de eliminación del agua. Es el método normal en las plantas de tratamiento pequeñas y medianas de efluentes tanto domésticos como industriales.

La viabilidad económica depende en gran medida de:

- 1) Disponibilidad de terrenos, a precios accesibles.
- 2) Condiciones climáticas favorables (seco y caluroso) para máxima evaporación.

El área necesaria es función de:

- 1) Precipitación y evaporación previsible.
- 2) Características de los lodos (los gelatinosos requieren mayor área).

Mecanismos de secado

Actúan dos mecanismos:

1. Percolación (o infiltración) de agua a través del lecho de arena. La proporción de agua eliminada por este mecanismo es del 20 al 55%, dependiendo del contenido inicial de sólidos en el lodo y de las características de los sólidos. La percolación suele completarse de 1 a 3 días, resultando una concentración de sólidos del 15 al 25%.
2. Evaporación de agua. A través de los mecanismos de radiación y convección. La velocidad de evaporación es más lenta que en la percolación y depende de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. La figura 2.12 representa una curva típica de evaporación, pudiendo distinguirse dos secciones correspondientes a períodos en que se mantiene constante o disminuye.

Durante el período constante, la superficie del lodo está húmeda, siendo la velocidad de evaporación relativamente independiente de la naturaleza del lodo. (Estos valores son inferiores a los observados en superficies de aguas libres – evaporación de aguas libres – debido al hecho de que el plano de vaporización está por debajo de la superficie del sólido.) La evaporación continúa a velocidad constante hasta que se alcanza una humedad crítica.

Cuando se alcanza la humedad crítica el agua no emigra a la superficie del lodo con la misma rapidez con que se evapora, por lo que empieza el período de disminución. La velocidad de secado en este período depende del espesor del lodo, propiedades físicas y químicas, condiciones atmosféricas. El secado por debajo de la superficie continúa hasta que se alcanza una humedad de equilibrio.

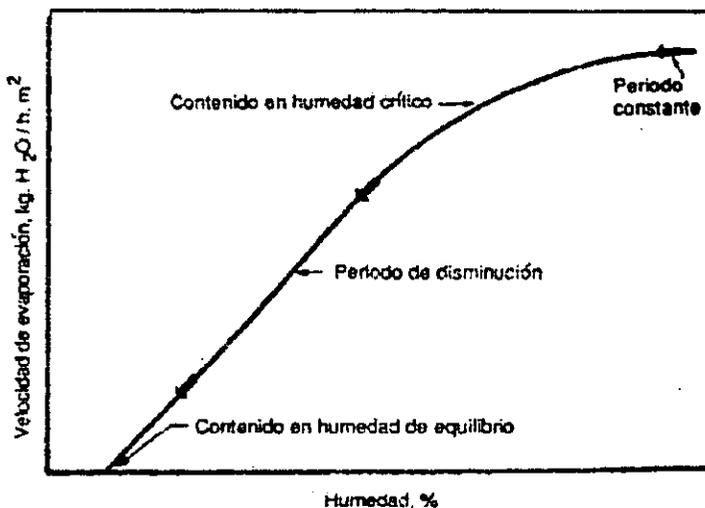


Figura 2.12 Curva de velocidad de evaporación

Construcción

La figura 2.13 indica un esquema típico de construcción de lecho de arena. Los tubos para drenaje deben tener un diámetro interior mínimo de 10 cm y una pendiente mínima de 1%. El filtrado se retorna a la planta de tratamiento.

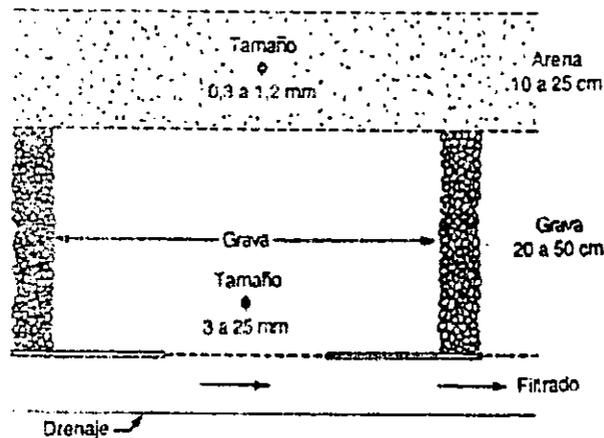


Figura 2.13 Lecho de secado de arena

Los lodos se suelen disponer en los lechos de secado con profundidades (espesores) de 20 a 30 cm, dejándose secar hasta alcanzar un contenido de sólidos entre el 30 y el 50%. Se recogen cuando alcanzan un estado que facilite dicha operación, que varía con la opinión del personal y el medio final de evacuación o tratamiento.

El período de tiempo entre la entrada de los lodos y la recogida de los sólidos en estado adecuado, varía entre 20 y 75 días, según la naturaleza del lodo, siendo posible reducirlo si se hacen tratamientos previos con coagulantes químicos, con alúmina y polielectrolitos. Con pretratamientos químicos se puede reducir el tiempo de secado hasta en un 50%, siendo además posible aplicar los lodos con mayores espesores. Se considera que la carga específica del lecho varía linealmente con la dosis del coagulante.

Hasta muy recientemente las eras de secado se han diseñado a partir de datos empíricos, m^2 de área de lecho / habitante o kg de sólidos secos / m^2 año.

Tratamiento previo de los lodos

- Coagulación química.

La adición de coagulantes químicos facilita la coalescencia de las partículas de los lodos y mejora su filtración. Puede ir precedida de un lavado de lodo, operación que se conoce como levigación. La levigación consigue reducir la alcalinidad, disminuyendo en consecuencia la cantidad de coagulante requerido.

Para lavado se utiliza agua limpia o residual tratada, pudiendo significar una reducción del 50% o más en la cantidad de productos coagulantes necesarios. La cantidad de agua utilizada para lavado es de unas dos partes de agua por una parte de lodo. Este lavado suele ser en contracorriente y en múltiples etapas. El lodo se bombea de una etapa a otra en contracorriente con el agua de lavado.

Los coagulantes más comunes son:

- a) Cloruro férrico.
- b) Cal.
- c) Polielectrolitos.

- Tratamiento térmico.

Se consideran dos tipos de tratamiento, conocidos por sus nombres comerciales: 1) Porteus y 2) Zimpro, que conllevan a una oxidación húmeda de lodo, consistente en una oxidación química de los sólidos orgánicos en fase acuosa, por oxígeno disuelto, en reactores que funcionan a elevada temperatura y presión.

Las ventajas del tratamiento térmico son que los lodos se esterilizan, desodorizan y pueden filtrarse más fácilmente, tanto en filtros a vacío como de presión. La figura 2.14 representa un esquema combinado de los procesos Porteus y Zimpro.

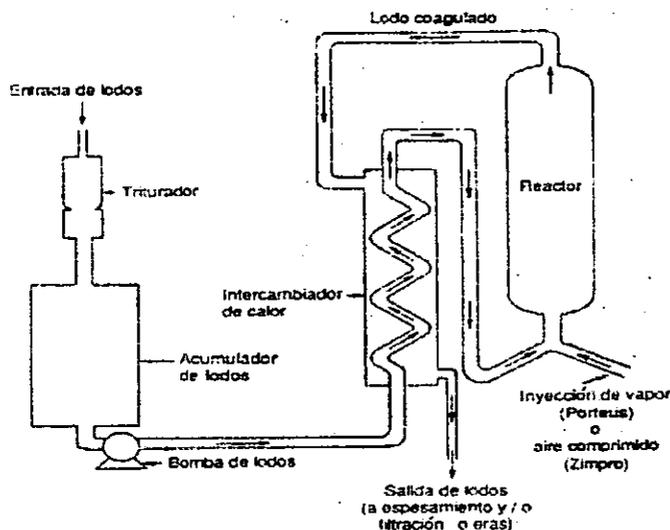


Figura 2.14 Diagrama de flujo combinado de los procesos Zimpro y Porteus

El proceso Porteus incluye el funcionamiento en continuo a presiones de 12 a 15 kg / cm² y temperatura aproximada de 200°C. Después de pasar por un triturador, el lodo se bombea desde el depósito de acumulación a través de un intercambio térmico, donde se calienta por medio del lodo caliente de salida del reactor, en el reactor se inyecta vapor a alta presión. El tiempo de residencia en el reactor es de unos 30 minutos, con este sistema se puede conseguir una reducción del 80 al 90% en la materia orgánica, encontrándose parte de materia orgánica y amonio entre los productos finales.

El proceso Zimpro se diferencia del de Porteus fundamentalmente en el hecho de que se inyecta aire, en lugar de vapor, por medio de un compresor.

Las temperaturas máximas de funcionamiento son de 150 a 315°C, siendo las presiones de funcionamiento de diseño de 10 a 200 kg / cm², la combustión es del orden de 660 a 770 K cal / kg de aire.

Cuadro 2.11 Datos para lechos de desecación de lodo

Tipo de tratamiento	Lecho abierto (Área en m ² /hab.)	Lecho cerrado (Área en m ² /hab.)
Primario	0.092	0.069
Filtro intermitente de arena	0.092	0.069
Filtro de filtración ordinaria	0.115	0.092
Filtro de filtración rápida	0.138	0.115
Lodo activado	0.161	0.124
Precipitación química	0.184	0.138

Evacuación del lodo

Se tienen dos alternativas: aplicación al terreno o incineración.

- Evacuación al terreno.

Se describen dos tipos distintos:

- 1) Lagunaje o vertido en escombreras.
- 2) Balsas de oxidación.

El lagunaje o vertido en escombreras puede ser un método económico si se dispone de terrenos a bajo costo. El líquido sobrenadante se recoge continuamente, hasta que finalmente la fosa queda llena de sólidos. (En un período de 2 a 3 años, se puede conseguir una humedad del 50 a 60%, buscándose entonces una nueva localización.)

Las balsas de oxidación en la superficie se mantienen en condiciones aerobias, debido sobre todo a la presencia de algas. Las condiciones anaerobias dominan en las capas más profundas.

Una alternativa interesante a la evacuación de lodos y aguas residuales al terreno es la conocida con el término de "landfarming". El tratamiento es realizado básicamente por tres mecanismos: degradación de la materia orgánica, fijación de los metales pesados y transformación de los compuestos orgánicos complejos en otros más sencillos.

La materia orgánica es atacada por microorganismos aerobios (bacterias, hongos, etc.) que existen en gran cantidad en el suelo. El ataque transforma la materia orgánica en dióxido de carbono, compuestos orgánicos más sencillos y nuevos microorganismos. La aireación es mantenida removiendo constantemente el terreno con tractores u otros implementos agrícolas.

Los metales son fijados al suelo por mecanismos de intercambio iónico: metales pesados tóxicos como cromo, plomo, mercurio, cadmio y otros son cambiados por metales no tóxicos como sodio, potasio, litio, calcio y otros que existen en los suelos.

El método de "landfarming" ha sido utilizado en el tratamiento de lodos y aguas residuales de industrias petroleras, petroquímicas y otras.

En el terreno se aplican capas sucesivas, cada una con finalidades específicas. En la capa superficial se produce la degradación aerobia y la fijación de los metales pesados. La capa siguiente por sus características de permeabilidad permite el escurrimiento de las aguas pluviales, y de los líquidos resultantes del tratamiento en la primera capa, a un sistema de canalizaciones. Estas canalizaciones desaguan en un sistema de tratamiento de aguas residuales, constituido por lagunas aireadas.

La próxima capa consiste en arcillas compactadas cuya finalidad es impedir que el material resultante del tratamiento pueda contaminar el manto freático.

El sistema comprende canalizaciones para el flujo de las aguas pluviales y los líquidos antes referidos a las lagunas aireadas, y también pozos testigos para controlar y garantizar la calidad del manto freático.

- Incineración.

Se emplea con frecuencia en países desarrollados. A veces es posible conseguir una combustión automantenida, una vez utilizado el combustible auxiliar para elevar la temperatura del hogar por encima del punto de ignición. Los productos de combustión son fundamentalmente dióxido de carbono, dióxido de azufre y ceniza.

Suelen utilizarse dos tipos de equipos: 1) de hogar múltiple, 2) de lecho fluidizado, para secado y combustión.

La figura 2.15 representa el esquema de un horno de hogares múltiples.

El lodo pasa en flujo descendente a través de una serie de hogares. La vaporización del agua tiene lugar en los hogares superiores, seguida de incineración en los hogares inferiores. Las cenizas del fondo se recogen por un sistema de extracción en seco, pudiendo disponerse de sistemas húmedos.

Los gases de escape que salen por la parte superior pasan a través de un lavador de alta energía tipo Venturi, para separar las cenizas volantes arrastradas. La temperatura del horno es de unos 600 a 1000°C. El horno está refrigerado por aire, que se hace circular con un ventilador; una parte se recircula y otra se emite a la atmósfera controlándose la temperatura a través del ajuste del grado de reciclado o, más bien, del aire purgado, ajuste que se consigue con la apertura adecuada de las válvulas de los conductos de purga y reciclado.

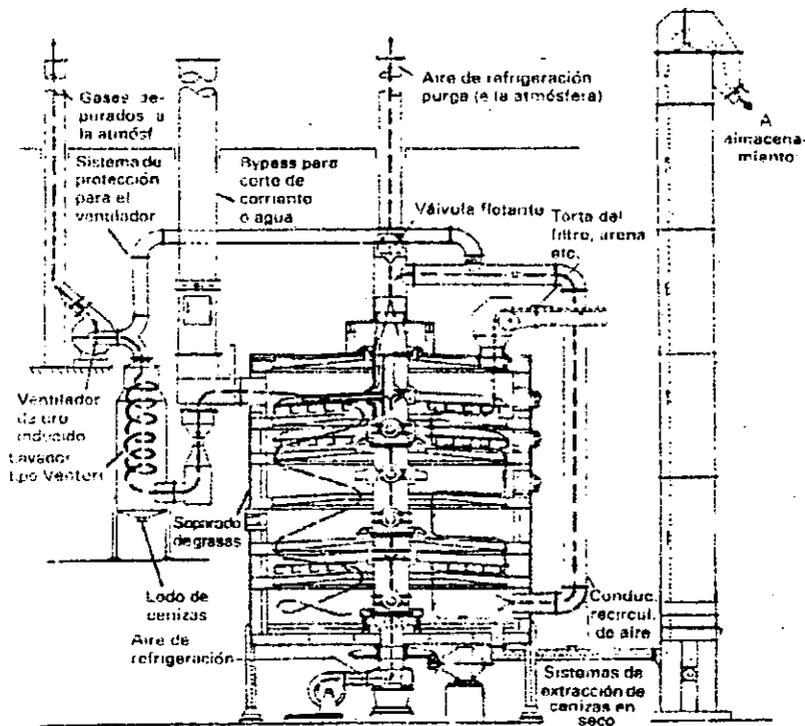


Figura 2.15 Diagrama de la combustión de un horno de hogar múltiple

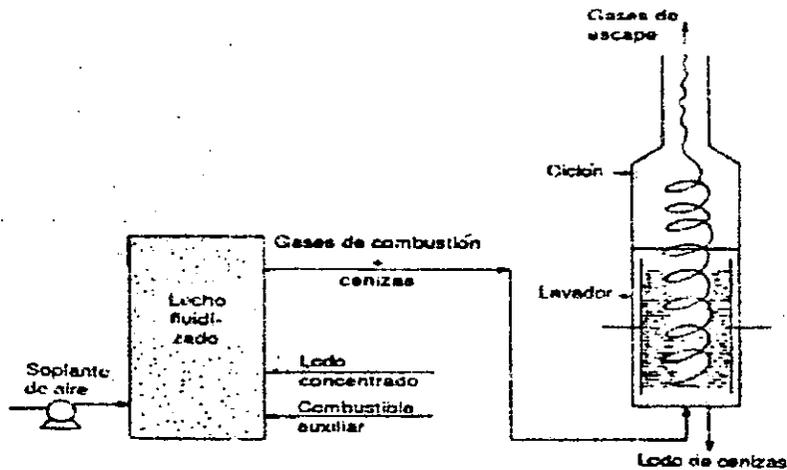


Figura 2.16 Esquema de un sistema de lecho fluidizado

La figura 2.16 muestra el esquema de un sistema de lecho fluidizado. El lodo entra en un lecho de arena fluidizado con aire, siendo su temperatura de 760 a 820°C. Se produce un secado y combustión rápida de lodo, siendo la ceniza arrastrada por los gases de combustión, y recogida en su mayor parte por un sistema separado de lavado de gases. Se requiere combustible auxiliar al menos para el arranque del proceso.

La elección del sistema va a depender de las condiciones que prevalezcan en el lugar en que se ubique la planta, así como del funcionamiento que se pretenda en la misma; y de acuerdo al sistema se tomarán en cuenta las consideraciones adecuadas.

2.2. Diseño del proceso

Las unidades de aireación pueden tratar favorablemente los sólidos en suspensión.

De acuerdo con el principio general de que las operaciones unitarias se llevarán a cabo en mejor forma cuando el diseño acentúe sus capacidades únicas, la gran habilidad de los lodos para remover las materias orgánicas en solución ha persuadido a los ingenieros a relevar las unidades de aireación de la carga sedimentable tanto como sea posible.

Con respecto a las unidades de aireación y separación de los lodos, el esfuerzo del diseño del proceso se aplica a:

- 1) La transferencia de la materia orgánica a las células bacterianas dispersas, así como a los lodos.
- 2) La aglomeración de las células, los flóculos biológicos y los desechos en forma de sólidos sedimentables.
- 3) El acondicionamiento de los flóculos para retornar al proceso como lodos, ya sea en el curso de la aireación o por reaireación separada de los lodos retornados; en algunas ocasiones, mediante la adición del licor de los lodos de los digestores como una fuente de nutrientes, incluyendo los fosfatos y el nitrógeno.
- 4) La estabilización aerobia opcional del exceso de sólidos durante la aireación extendida, una opción que generalmente se ejecuta a través del agrandamiento de las unidades principales de aireación o mediante la construcción de unidades separadas para este propósito específico.

2.3. Diseño hidráulico

La agitación mediante aire difundido y mecánica efectúa tres funciones principales: abastecen el oxígeno necesario, mantienen los lodos en suspensión, y favorecen el contacto entre las aguas residuales y los lodos. Las velocidades en todos los puntos deberán ser, cuando menos de 0.1524 m/s y de preferencia de 0.3048 m/s para que los flóculos no se sedimenten y se vuelvan sépticos. Las velocidades de desplazamiento en canales de recirculación de lodos son generalmente de 0.60 m/s.

La circulación hidráulica es un elemento importante en el diseño de los tanques. Para proporcionarla, se agregan a la velocidad longitudinal de desplazamiento una velocidad vertical ascendente relativamente rápida, una velocidad descendente complementaria y uniones transversales. Se producen velocidades bastante superiores a 0.1524 m/s. Si la unidad de agitación (por aire o mecánica) se coloca a un lado del tanque, los movimientos se combinan para producir una circulación en forma espiral, que se mantiene bien si el ancho del canal que se debe recorrer no es mayor que el triple de su profundidad. Las proporciones comunes se aproximan a 1.5 (ancho) a 1.0 (profundidad).

La circulación se favorece mediante deflectores en la superficie y filetes en el fondo de los canales anchos. En esta forma, se obtiene una aproximación a la sección transversal elíptica en los canales rectangulares y a la sección transversal circular en los canales cuadrados.

Los canales tienen rara vez una longitud menor de 30.48 m o mayor de 121.92 m. Las profundidades son generalmente de 3.048 a 4.55 m con un espacio libre superior hasta de 0.914 m.

Generalmente se especifica la construcción de al menos dos tanques para todas las plantas, excepto las muy pequeñas. La anchura de los tanques de flujo espiral es generalmente de 1.5 a 2 veces su profundidad, y la longitud de los canales individuales es, por lo general, de 10 a 20 veces su profundidad. El área de los difusores es de 2.5 a 15% del área máxima horizontal del tanque.

2.4 Generalidades del estudio de mecánica de suelos para la construcción de las zanjas de oxidación

a) Reconocimiento del subsuelo.

Los estudios se inician con un reconocimiento detallado del lugar donde se localice el predio, así como de las barrancas, cañadas o cortes cercanos al mismo, para investigar la existencia de bocas de antiguas minas o de capas de arena, grava y materiales pumíticos que hubieran podido ser objeto de explotación subterránea en el pasado. El reconocimiento deberá complementarse con los datos que proporcionen habitantes del lugar y la observación del comportamiento del terreno y de las construcciones existentes así como el análisis de fotografías aéreas antiguas.

Se determinará si el predio fue usado en el pasado como depósito de desechos o fue nivelado con rellenos colocados sin compactación. Asimismo se prestará atención a la posibilidad de que el suelo natural esté constituido por depósitos de arena en estado suelto o por materiales finos cuya estructura sea inestable en presencia de agua o bajo carga.

En suelos firmes se buscarán evidencias de grietas que pudieran dar lugar a inestabilidad del suelo de cimentación, principalmente en laderas abruptas. Se prestará también atención a la posibilidad de erosión diferencial en taludes o cortes debido a variaciones del grado de cementación de los materiales que lo constituyen.

En las zonas de derrames basálticos, además de localizar los materiales volcánicos sueltos y las grietas superficiales que suelen estar asociados a estas formaciones, se buscarán evidencias de oquedades subterráneas.

La exploración del subsuelo se planeará tomando en cuenta que suele haber irregularidades en el contacto entre diversas formaciones así como variaciones importantes en el espesor de suelos compresibles.

Se buscarán evidencias de rellenos superficiales recientes o antiguos. Por otra parte, se investigará si existen antecedentes de grietas profundas en el predio o de cimentaciones que hayan sido abandonadas al demoler construcciones anteriores.

b) Exploraciones.

El número mínimo de exploraciones a realizar (pozos a cielo abierto o sondeos) será uno por cada 80 m o de uno por cada 120 m o fracción de dicho perímetro. La profundidad de las exploraciones dependerá del tipo de cimentación y de las condiciones del subsuelo pero no será inferior a dos metros bajo el nivel de desplante, salvo si se encuentra roca sana y libre de accidentes geológicos o irregularidades a profundidad menor. Los sondeos que se realicen con el propósito de explorar el espesor de los materiales compresibles, deberán penetrar el estrato incompresible.

Los sondeos a realizar podrán ser de los siguientes tipos:

- Sondeos con recuperación continua de muestras alteradas mediante la herramienta de penetración estándar. Servirán para evaluar la consistencia o compacidad de los materiales superficiales y de los estratos resistentes. También se emplearán en las arcillas blandas con objeto de obtener un perfil continuo de agua.
- Sondeos mixtos con recuperación alternada de muestras inalteradas y alteradas. Sólo las primeras serán aceptables para determinar propiedades mecánicas.
- Sondeos de verificación estratigráfica, sin recuperación de muestras recurriendo a la penetración de un cono mecánico o eléctrico.
- Sondeos con equipo rotatorio y muestreadores de barril. Se usarán en los materiales firmes a fin de recuperar núcleos para clasificación y para ensayos mecánicos, siempre que el diámetro de los mismos sea suficiente.
- Sondeos de percusión o con equipo tricónico. Serán aceptables para identificar tipos de material o descubrir oquedades.

c) Determinación de propiedades.

El número de ensayos realizados deberá ser suficiente para poder clasificar con precisión el suelo de cada estrato. En materiales arcillosos se harán por lo menos tres determinaciones del contenido de agua por cada metro de exploración y en cada estrato individual identificable.

Las propiedades mecánicas (resistencia y deformabilidad a esfuerzo cortante y compresibilidad) e hidráulicas (permeabilidad) se determinarán mediante procedimientos aceptados de laboratorio o campo. Las muestras de materiales cohesivos ensayadas serán siempre de tipo inalterado. Para determinar la compresibilidad se recurrirá a pruebas de tipo unidimensional y para la resistencia al esfuerzo cortante, a las pruebas que mejor representen las condiciones de drenaje y variación de carga que se desea evaluar.

Se realizarán por lo menos dos series de pruebas de resistencia y consolidación en cada estrato identificado de interés para el análisis de la estabilidad o de los movimientos de la construcción.

Los estudios de amplificación sísmica local y de interacción suelo-estructura deberán basarse en determinaciones de campo y/o de laboratorio de las propiedades dinámicas del subsuelo.

A fin de especificar y controlar la compactación de los materiales cohesivos empleados en rellenos, se recurrirá a la prueba Proctor estándar. En caso de materiales compactados con equipo muy pesado, se recurrirá a la prueba Proctor modificada o a otra prueba equivalente. La especificación y control de compactación de materiales no cohesivos se basarán en el concepto de compacidad relativa.

d) Investigación del hundimiento regional.

Esta investigación deberá hacerse por observación directa mediante piezómetros y bancos de nivel colocados con suficiente anticipación al inicio de la obra, a diferentes profundidades y hasta los estratos profundos, alejados de cargas, estructuras y excavaciones que alteren el proceso de consolidación natural del subsuelo.

Condiciones a considerar para el diseño por sismo.

Respecto a efectos bidireccionales, para la revisión de los estados límites de falla de una cimentación bajo este tipo de sollicitación, se deberán considerar las acciones sísmicas de la siguiente forma: 100% del sismo en una dirección y 30% en la dirección perpendicular a ella, con los signos que para cada concepto resulten favorables y se repetirá este procedimiento en la otra dirección.

Entre las acciones debidas a sismo se incluirá la fuerza de inercia que obra en la masa de suelo potencialmente deslizante que subyace al cimiento de la construcción.

Para una evaluación más precisa de las acciones accidentales por sismo al nivel de la cimentación, será válido apoyarse en un análisis de interacción dinámica suelo - estructura recurriendo a métodos analíticos o numéricos aceptados para este fin.

En el diseño de las cimentaciones se considerarán las cargas muertas, cargas vivas, diseño por sismo, diseño por viento así como el peso propio de los elementos estructurales de la cimentación, las descargas por excavación, los efectos del hundimiento regional sobre la excavación, incluyendo la fricción negativa, los pesos y empujes laterales de los rellenos y lastres que graviten sobre los elementos de la subestructura, la aceleración de la masa del suelo deslizante cuando se incluya sismo, y toda otra acción que se genere sobre la propia cimentación o en su vecindad.

En el análisis de los estados límite de falla o servicio, se tomará en cuenta la subpresión del agua, que debe cuantificarse conservadoramente atendiendo a la evolución de la misma durante la vida útil de la estructura. La acción de dicha subpresión se tomará con un factor de carga unitario.

En el caso de cimentaciones profundas en las zonas II y III se incluirá entre las acciones la fricción negativa que puede desarrollarse sobre el fuste de los pilotes o pilas por consolidación del terreno circundante. Para estimar esta acción se considerará que el máximo esfuerzo cortante que puede desarrollarse en el contacto pilote - suelo es igual a la cohesión del suelo determinada en prueba triaxial no consolidada - no drenada bajo presión de confinamiento representativa de las condiciones del suelo.

Se calcularán y tomarán explícitamente en cuenta en el diseño el cortante en la base de la estructura y los momentos de volteo debidos tanto a excentricidad de cargas verticales respecto al centroide del área de cimentación como a sollicitaciones horizontales.

Ejemplo ilustrativo de una zanja de oxidación.

Datos de diseño

Población: 20000 habitantes
Aportación: 200 l / hab. x día
Gasto de diseño: 46 l / s
DBO₅ influente: 204 mg / l
DBO₅ efluente: 10 mg / l
Eficiencia: 95%
Temperatura (verano): 30°C
(C_{sm} = 7.48 mg O₂ / l)
Temperatura (invierno): 18°C
ASNМ: 610 m (2000 pies)
SSNV: 30 mg / l

Parámetros de tratamiento

Y = 0.65 kg SSVLM prod. / kg DBO₅ total removida
a = 0.52 kg O₂ (energía) / kg DBO₅ total removida
b = 0.08 kg SSVLM oxid. / día x kg SSVLM en el reactor
b' = 0.10 kg O₂ (resp. endógena) / día x kg SSVLM en el reactor

Consideraciones:

- 1) Los sólidos suspendidos volátiles del agua residual se consideraron cero, debido a que los análisis del agua residual indicaron una cantidad muy pequeña.
- 2) Los sólidos suspendidos volátiles en el efluente son cero.
- 3) De los sólidos suspendidos no volátiles en el licor mezclado (SSNVLM) sedimentan 10 mg / l.
- 4) Los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM) del reactor son de 2100 mg / l y el lodo del clarificador se estimó en 12000 mg / l.
- 5) El 77% de los SSVLM producidos es biodegradable.

ASNМ: altura sobre el nivel del mar.
SSNV: Sólidos suspendidos no volátiles.

- Cálculo de la recirculación

$$r = \frac{[X_{v,a} - (1-\phi)Y(S_F - S_e)]}{(X_{v,u} - X_{v,a})}$$

$$r = \frac{[2100 - (1-0.77)(0.65)(204-10)]}{(12000-2100)}$$

$$r = 0.21$$

- Tiempo de residencia

$$t = \frac{\phi Y(S_F - S_e)}{b X_{v,a}(1+r)}$$

$$t = \frac{[0.77(0.65)(204-10)]}{[0.08(2100)(1+0.21)]}$$

$$t = 0.478 \text{ días}$$

- Cálculo de la DBO₅ de la alimentación combinada

$$S_0 = \frac{S_F + r S_e}{1+r}$$

$$S_0 = \frac{[204 + 0.21(10)]}{(1+0.21)}$$

$$S_0 = 170 \text{ mg/l}$$

- Relación F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{X_{v,a} t}$$

$$F/M = 170 / (2100 \times 0.478)$$

$$F/M = 0.17 \text{ d}^{-1}$$

- Gasto de la alimentación combinada

$$Q_0 = Q_F(1+r)$$

$$Q_0 = 46(1+0.21)$$

$$Q_0 = 55.66 \text{ l/s}$$

- Gasto de reciclado

$$Q_R = r Q_F$$

$$Q_R = 0.21 \text{ (46)}$$

$$Q_R = 9.66 \text{ l / s}$$

- Volumen del reactor

$$V = Q_0 t$$

$$V = [55.66 \text{ l / s } (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l})] * [0.478 \text{ día } (86400 \text{ s / 1 día})]$$

$$V = 2298.70 \text{ m}^3$$

- Cálculo de los requerimientos de oxígeno

$$R_r V = a (S_0 - S_e) Q_0 + b' X_{v,a} V$$

$$R_r V = 0.52 ((170 - 10) \times 10^{-6} \text{ kg / l}) (55.66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) (1000 \text{ l / m}^3) (86400 \text{ s / d}) \\ + 0.1(2100 \times 10^{-6} \text{ kg / l}) (1000 \text{ l / m}^3) (2298.7 \text{ m}^3)$$

$$R_r V = 410.11 + 482.73 = 892.83 \text{ kg O}_2 / \text{ día}$$

- Cálculo de la producción de lodo

$$\Delta X_v = Y (S_f - S_e) Q_f - b X_{v,a} V$$

$$Y (S_f - S_e) Q_f =$$

$$0.65 ((204 - 10) \times 10^{-6} \text{ kg / l}) (46 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) (1000 \text{ l / m}^3) (86400 \text{ s / d}) = 501.17$$

$$b X_{v,a} V = 0.08(2100 \times 10^{-6} \text{ kg / l}) (1000 \text{ l / m}^3) (2298.7 \text{ m}^3) = 386.18$$

Como el 77% del lodo producido es biodegradable

$$\Delta X_v = (501.17 \times 0.77) - 386.18 \approx 0$$

Entonces:

$$\Delta X_v = 115 \text{ kg / día que corresponden a cápsulas}$$

- Cálculo de los flujos del efluente, desecho y lodo del clarificador

$$Q_w = (\Delta X_v + Q_F X_{V,F}) / X_{V,u}$$

$$Q_e = Q_F - Q_w$$

$$Q_u = Q_R + Q_w \quad \text{ó} \quad Q_u = Q_Q - Q_e$$

$$Q_F X_{V,F} = 0$$

$$Q_w = (115 \text{ kg/d}) / (12000 \text{ mg/l}) \times (10^6 \text{ mg/1 kg}) \times (1 \text{ d} / 86400 \text{ s})$$

$$Q_w = 0.11 \text{ l/s}$$

$$Q_e = 46 - 0.11 = 45.89 \text{ l/s}$$

$$Q_u = 9.66 + 0.11 = 9.77 \text{ l/s} \quad \text{ó} \quad Q_u = 55.66 - 45.89 = 9.77 \text{ l/s}$$

- Cálculo del incremento de la concentración de sólidos en suspensión no volátiles

$$\Delta X_{NV} = Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q_w X_{NV,e}$$

$$\Delta X_{NV} = 46(30 - 20) \times 0.0864 + 0.11(20) \times 0.0864$$

$$\Delta X_{NV} = 39.93 \approx 40 \text{ kg/día}$$

- Cálculo de la producción total de lodo

$$\Delta X_t = \Delta X_v + \Delta X_{NV}$$

$$\Delta X_t = 115 + 40 = 155 \text{ kg/día}$$

- Balance de materia de los sólidos no volátiles

Entran:

$$Q_F X_{NV,F}$$

$$Q_w X_{NV,u} = \Delta X_{NV}$$

$$Q_F X_{NV,F} = 46 (30) \times 0.0864 = 119.25 \text{ kg/día}$$

$$Q_w X_{NV,u} = \Delta X_{NV} = 40 \text{ kg/día}$$

Salen:

$$Q_c X_{NV,c}$$

$$X_{NV,u} = \frac{\Delta X_{NV}}{Q_u}$$

$$X_{NV,o} = \frac{X_{NV,f} + r X_{NV,u}}{1+r}$$

$$Q_c X_{NV,e} = 45.89 (20) \times 0.0864 = \mathbf{79.30 \text{ kg / día}}$$

$$X_{NV,u} = [(40 \text{ kg/día}) / (9504 \text{ l/día})] \times 10^6 = \mathbf{4208.75 \text{ mg / día}}$$

$$X_{NV,o} = [30 + 0.21(4208.75)] / 1.21 = \mathbf{755.24 \text{ mg / día}}$$

- Aireador

Primer método

$$N = \frac{N_0}{1.5} \left(\frac{C_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) \alpha \times 1.024^{T-20}$$

$$C_L = 1 \text{ mg / l}$$

$$C_{sw} = 7.22 \text{ mg / l (T=30°C)}$$

$$C_{sw} = 9.13 \text{ mg / l (T=18°C)}$$

$$C_{st} = 9.02 \text{ mg / l}$$

$$\alpha = 0.85$$

Verano

$$N = (N_0 / 1.5) [(7.22 - 1) / 9.02] 0.85 \times 1.024^{30-20} = \mathbf{0.5 N_0}$$

Invierno

$$N = (N_0 / 1.5) [(9.13 - 1) / 9.02] 0.85 \times 1.024^{18-20} = \mathbf{0.487 N_0}$$

De los datos de prueba de los fabricantes se escoge el rotor más apropiado.

De las tablas (2.1 a 2.8) se selecciono un **rotor tipo jaula con sumergencia de 15.24 cm** (6 pulgadas).

De la tabla 2.5 para la sumergencia elegida y 90 RPM

Energía consumida = 2.695 HP/ m rotor

De la tabla 2.4

$$\text{Capacidad de oxigenación} = 4.1720 \text{ kg O}_2 / \text{hr} \times \text{m rotor}$$

De la tabla 2.3

$$\text{Eficiencia de la transferencia de oxígeno} = 1.5481 \text{ kg O}_2 / \text{HP} \times \text{hr}$$

Cálculo de la potencia necesaria

$$N = 0.487 N_o = 0.487 \times 1.5481 = 0.7539 \text{ kg O}_2 / \text{HP} \times \text{hr}$$

Como el requerimiento de oxígeno es de **36.78 kg O₂ / hr** entonces:

Potencia

$$HP = \frac{R \cdot V}{N}$$

$$HP = 36.78 / 0.7539 = 48.78 \approx 49$$

Longitud del rotor

$$LR = \frac{HP}{E}$$

$$LR = 49 / 2.695 = 18.20 \text{ m}$$

Segundo método

Para mantener una velocidad de **30.5 cm /seg** (1 pie / seg) en una zanja revertida, el máximo volumen por metro, rotor tipo jaula es de **198.6 m³ / m rotor** (16000 gal / pie rotor).

$$LR = \frac{V}{v}$$

$$\therefore LR = 2298.70 / 198.60 = 11.60 \text{ m}$$

La longitud del rotor será la mayor de los dos métodos.

$$\therefore LR = 18.20 \text{ m}$$

Tomando en cuenta dimensiones de fabricación comercial.

Se utilizarán dos rotores dual de **9.14 m** (30 pies) de longitud, con rotores individuales de **4.57 m** (15 pies) de longitud. Los rotores serán movidos por dos motores de **35 HP** cada uno. Esto permite una inmersión más profunda en caso de que se requiera oxígeno.

- Dimensiones de la zanja

a) Cálculo del área de la sección transversal

El laboratorio de mecánica de suelos recomienda taludes **1:1**, por lo tanto se diseñará una zanja de oxidación con sección **trapezoidal**.

Con base en investigaciones y experiencia se recomienda una profundidad de **0.914 m a 1.5 m** para rotores tipo jaula. Se dará un bordo libre de **30 cm** y una altura de **1 m**.

La longitud del rotor necesaria es de **18.20 m** (59.7 pies), los rotores tipo jaula son fabricados con longitudes máximas de **4.9 m** (16 pies), por lo que se diseño una zanja de oxidación con rotores dual, consistirán de dos rotores de **4.57 m** (15 pies) de longitud, ensamblados mediante una chumacera de soporte. Se tendrá en consideración un soporte de concreto de **30 cm** de ancho y **1 m** de largo, donde se colocará la chumacera.

Ancho interior de la zanja

$$a_i = L + a$$

$$a_i = 2(4.57) + 0.3 = 9.44 \text{ m}$$

Área de la sección transversal

$$A_{st} = d^2 + da_i$$

$$A_{st} = (1)^2 + 1(9.44) = 10.44 \text{ m}^2$$

b) Cálculo de la longitud total de la zanja

$$L_t = \frac{V}{A_{st}}$$

$$L_t = 2298.70 / 10.44 = \mathbf{220.18 \text{ m}}$$

Se recomienda de **6.10 m** (20 pies) para longitudes de rotor hasta de **9.14 m** (30 pies) en la isla central de la zanja. El radio de la isla central es de **3.05 m** (al nivel del agua).

c) Cálculo de la longitud de los extremos de la zanja

Longitud de la circunferencia

$$L = \pi V$$

Donde :

$$V = 2 \left(\frac{E}{2} + r \right)$$

$$E = 11.44 \text{ m} ; r = 3.05 \text{ m}$$

$$L = 2\pi [(11.44 / 2) + 3.05] = \mathbf{55.10 \text{ m}}$$

La longitud de un semicírculo es:

$$l = 55.10 / 2 = \mathbf{27.55 \text{ m}}$$

∴ la parte recta de la zanja tendrá una longitud de:

$$\zeta = L_t - L$$

$$\zeta = 220.20 - 55.10 = \mathbf{165.10 \text{ m}}$$

Cada lado recto

$$\frac{\zeta}{2}$$

$$\zeta / 2 = 165.10 / 2 = \mathbf{82.55 \text{ m}}$$

- Tanque de sedimentación final

En aguas residuales domésticas, se usa una carga superficial de $24.43 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ (600 gal / pie² x día) y un tiempo de retención de **3 hr**.

a) Área superficial

$$A_s = \frac{\text{Gasto de diseño (m}^3 / \text{día)}}{\text{Carga superficial (m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{día)}}$$

$$Q_F = (46 \text{ l / s}) (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) (86400 \text{ s / 1 d}) = 3974.4 \text{ m}^3 / \text{día} \approx 4000 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$A_s = 4000 / 24.43 = 163.73 \text{ m}^2$$

b) Volumen del tanque

$$V = (\text{Gasto de diseño})(\text{Tiempo de retención})$$

$$V = (4000 \text{ m}^3 / \text{día}) (3 \text{ hr}) (1 \text{ día} / 24 \text{ hr}) = 500 \text{ m}^3$$

c) Profundidad efectiva del tanque

$$h_{ef} = \frac{V}{A_s}$$

$$h_{ef} = (500 / 163.73) = 3.05 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{(4 A_s / \pi)} = \sqrt{[(4 \times 163.73) / \pi]} = 14.44 \text{ m}$$

Se usará un clarificador mecánico de **15.24 m** (50 pies) de diámetro (fabricación comercial) Con una profundidad efectiva de **2.74 m** (9 pies).

Bomba de recirculación de lodos

La bomba de recirculación de lodos debe manejar del **20 al 100%** del gasto de diseño.

Máximo lodo que se puede recircular = $1 \times 46 \text{ l / seg} = 46 \text{ l / s}$

Mínimo lodo que se puede recircular = $0.2 \times 46 \text{ l / seg} = 9.2 \text{ l / s}$

Disposición final del exceso de lodo

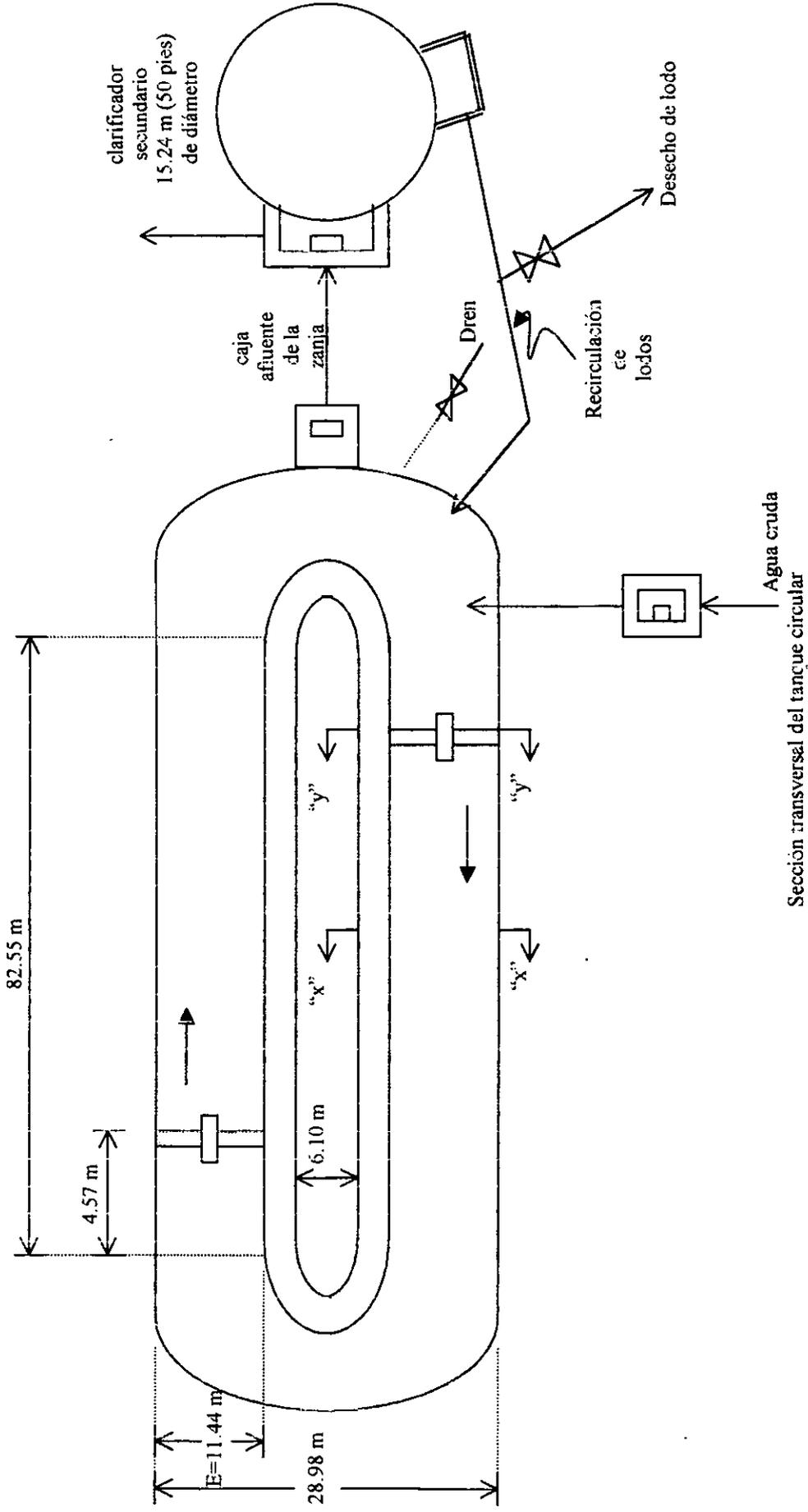
Lechos de arena

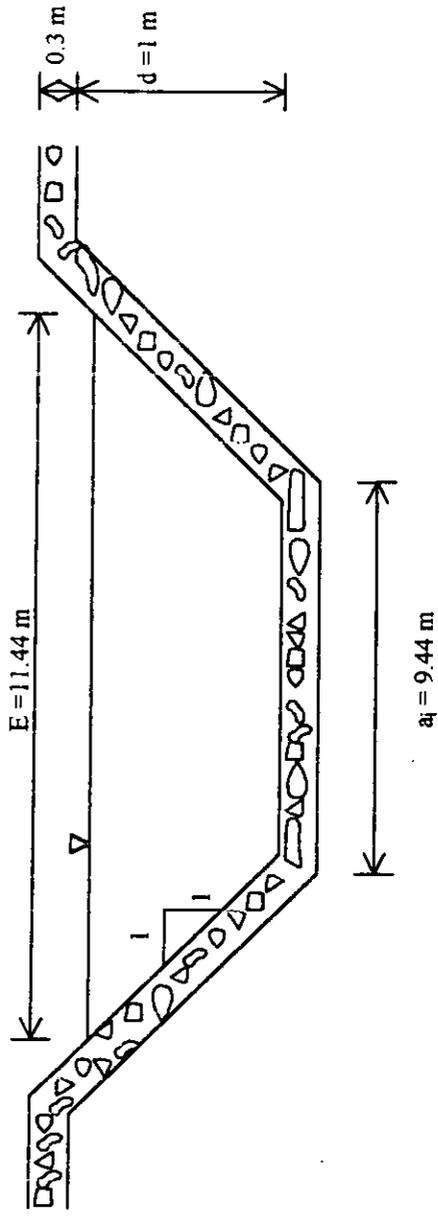
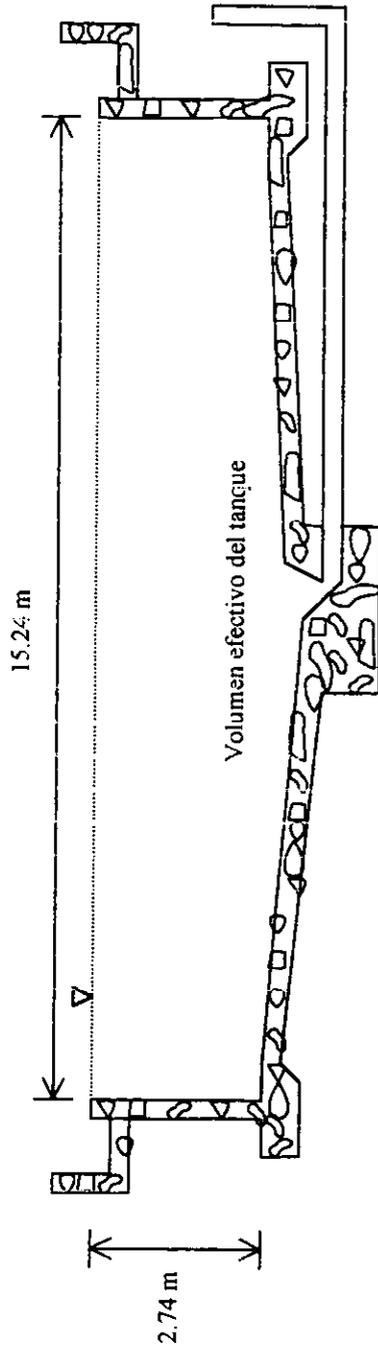
Si se tiene planeado que la disposición final del exceso de lodo sea mediante lechos de arena, es razonable utilizar $0.0929 \text{ m}^2 / \text{hab.}$ (cuadro 2.11) por lo tanto:

$$\text{Área} = (20000 \text{ hab.} \times 0.0929 \text{ m}^2 / \text{hab.}) = 1858 \text{ m}^2 \approx \mathbf{1860 \text{ m}^2}$$

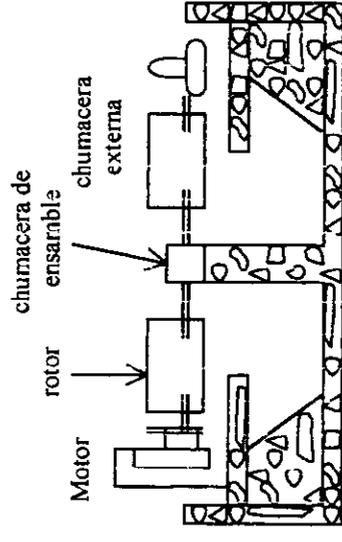
∴ se construirán **26 lechos de 5 m x 15 m**

PLANTA





Sección "x - x"



Sección "y - y"

**CAPÍTULO
3****CONSTRUCCIÓN**

En este capítulo se explican los aspectos generales del proceso constructivo de una planta de tratamiento, tales como las consideraciones que se deben tomar en cuenta para realizar los trabajos preliminares: desmonte, despalme, trazo y nivelación; así como la obra civil: materiales, mano de obra y equipo.

De la aplicación adecuada del proceso constructivo dependerá la operación eficiente del sistema y de esta manera, se evitarán problemas en las estructuras propias de las instalaciones y de la planta en general.

3.1. Trabajos preliminares**3.1.1. Desmonte**

Consiste en limpiar el terreno, quitar toda la vegetación, las hierbas, árboles desde sus raíces, piedras y los montones de tierra; si quedan hoyos, se rellenan con material de buena calidad y se le compacta adecuadamente; en general, se retira todo lo que estorbe las maniobras de construcción. Se deben retirar totalmente los escombros del área.

Estos trabajos se hacen con el fin de que al trazar y nivelar el terreno, no haya estorbo alguno.

3.1.2. Despалme

Ya que se llevó a cabo el desmonte, se procede a extraer la capa de material que contenga materia vegetal. El espesor de esta capa puede variar de 10 a 15 cm y llegar como máximo a un metro, si se tiene un espesor fuerte de material altamente compresible, para asegurar que la construcción sea desplantada sobre terreno firme y evitar posibles problemas en un futuro (hundimientos, flotación, agrietamientos, desplomes, etcétera).

3.1.3. Trazo y nivelación

El trazo consiste en medir perfectamente el terreno, marcar sus límites y cruces. Este trazo señala en donde se colocan los cimientos y muros de la construcción.

En la etapa del trazo es importante medir con precisión, porque se evitarán posibles problemas posteriores. Todos los elementos o muros de la construcción deben estar alineados y ninguno de ellos puede estar fuera del límite, en relación con otras construcciones ubicadas en el mismo sitio.

Además de marcar los límites o líneas del terreno donde se realizará la construcción, se recomienda trazar el lugar donde se instalará la toma de agua y trazar el drenaje de las instalaciones sanitarias de la propia planta.

Para trazar el terreno se necesitan dos líneas que sirvan de referencia, una es la del costado colindante con el terreno vecino y la otra es la que da hacia el frente (figura 3.1).

Una vez que se ha realizado el trazo del terreno, se recomienda que de acuerdo al espacio disponible, se piense en la distribución de los elementos de la construcción, ya que esto ayudara para que la construcción sea más funcional y también se ahorre material.

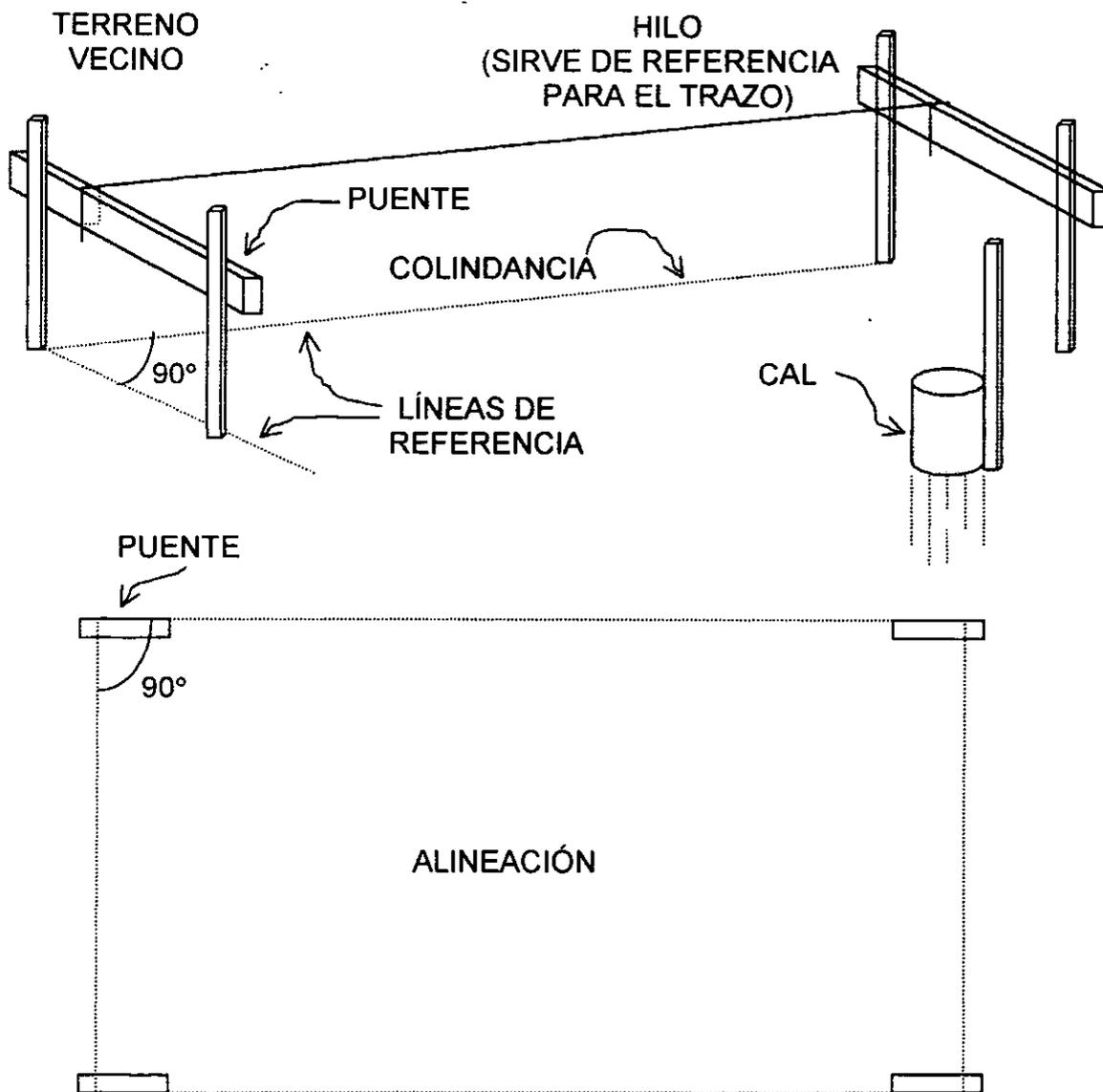


Figura 3.1 Elementos necesarios para el trazo y colocación de los puentes para la alineación

Para la nivelación se debe tomar en cuenta el piso terminado de los diferentes elementos de la construcción, ya que de esta manera se pueden ir compensando las áreas que lo requieran, con el material que va saliendo (material excedente en algunas zonas) producto de la misma nivelación.

La nivelación se realiza a través de estacas con longitud mínima de 1.50 m, marcando un punto fijo, que se tomará como referencia para pasar el nivel a las estacas correspondientes (figura 3.2).

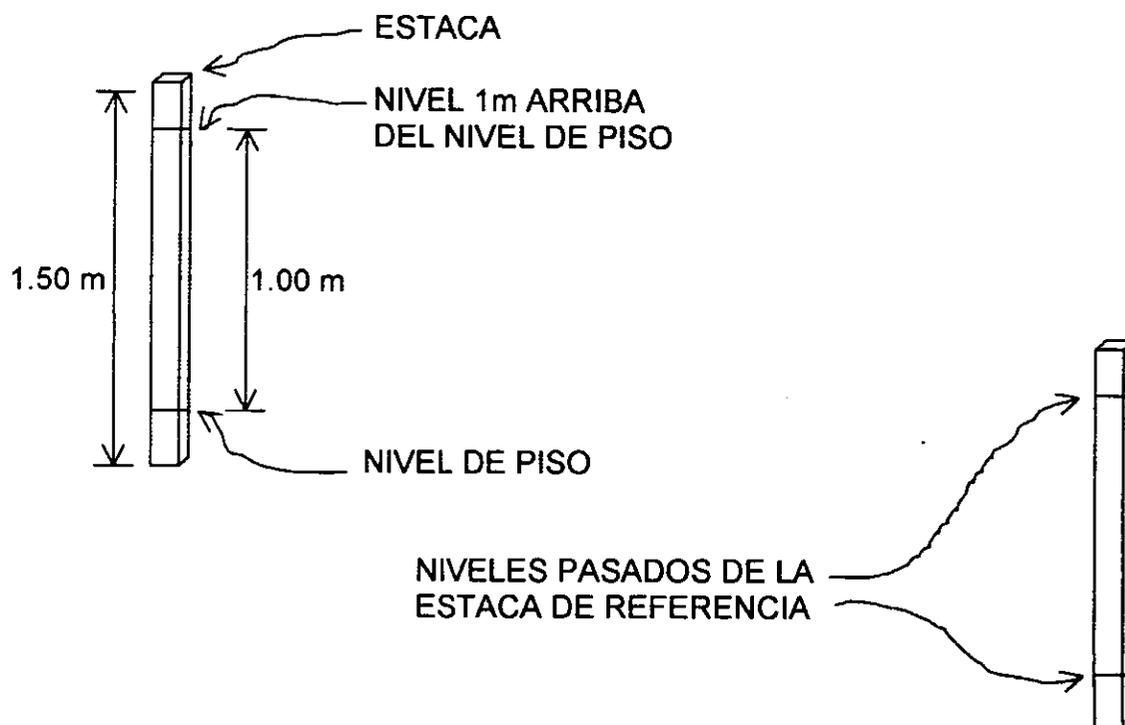


Figura 3.2 Forma de realizar la nivelación

3.2. Obra civil

3.2.1. Materiales

Concreto

Se denomina concreto a la mezcla de cemento, agregados (grava y arena) y el agua, formando un conglomerado que endurece conforme progresa la reacción química del agua sobre el cemento.

Los elementos básicos que componen el concreto se dividen en dos grupos:

- a) Activos (agua y cemento).
- b) Inertes (grava y arena).

I. Cemento

Proviene de la pulverización del producto obtenido mediante una fusión incipiente de materiales arcillosos y piedras calizas con óxidos de calcio (silicio, aluminio y fierro), y con un agregado posterior como yeso (sin calcinar) y agua.

Hay diferentes tipos de cemento:

1. Cemento común y corriente (normal).

Es un cemento de uso general, se usa en construcciones de: pavimentos y banquetas, estructuras de edificios, puentes, grandes claros, tanques, tuberías para agua y en particular en lugares donde no están expuestos a la acción de sulfatos o en que el calor generado por la hidratación del cemento no origina un aumento perjudicial a la temperatura.

2. Cemento modificado.

Contiene menor calor de hidratación y genera poca temperatura, tiene mayor resistencia al ataque de los sulfatos (como en las estructuras de carácter hidráulico o de drenaje donde las concentraciones de sulfatos son mayores pero no máximas). Se utiliza en estructuras y muros de concreto, y es muy factible su utilización en tiempo de calor.

3. Cemento de alta resistencia.

Se usa en obras de corto límite de tiempo, donde se debe aprovechar al máximo la cimbra y se requiere el trabajo del concreto lo más rápido posible, pero la resistencia final es la misma que el tipo 1, es de máxima utilidad en climas fríos. Estos cementos tienen la característica principal de tener a los 6 días resistencias superiores a las que adquieren en 28 días con un cemento de tipo 1.

4. Cemento de bajo calor.

Es un cemento especial para grandes secciones (grandes espesores) y cuando la cantidad de calor deberá ser la mínima, el desarrollo de su resistencia es muy lenta, precisamente por el espesor y el gran volumen a fraguar.

5. Cemento contra sulfatos.

Se usa en cimentaciones (y estructuras en general) donde existen o están expuestas a una acción de sulfatos en gran cantidad, están en contacto con agua o en terrenos que contienen álcalis, teniendo etapas muy lentas de endurecimiento.

6. Cementos especiales.

- a) Cemento blanco. Se elabora con materia prima seleccionada (piedra caliza, caolín y yeso) mediante un proceso que no produce color o manchas.
- b) Cemento impermeable. Se elabora mediante materiales repelentes al agua.
- c) Cemento especial. Para endurecer en altas temperaturas.

De acuerdo a las características de los cementos, el cemento más adecuado para la construcción de las zanjas y los tanques que tengan contacto con el agua residual es el cemento modificado, debido a que presenta resistencia al ataque de los sulfatos (en concentraciones mayores pero no máximas).

II. Agregados

Son muy importantes por ser el elemento que da cuerpo (forma la estructura interna) al concreto, tienen que estar muy bien cuidadas las especificaciones y las proporciones de grava y de arena, su tamaño requerido, limpieza, tipo de cantera (lugar donde se explote) y en general de la calidad de estos agregados dependerán directamente los resultados.

Se tienen agregados:

- a) Finos (arena).
- b) Gruesos (grava).
- c) Livianos.

La clasificación de los agregados se muestra en el cuadro 3.2.

- Arena

Está constituida por granos sueltos y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales, por procesos mecánicos o químicos que, arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en diferentes lugares.

Tipos de arena

- a) De río, generalmente de partículas redondas por el acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras posibles impurezas, o bien pueden ser blandas, dependiendo de su localización.
- b) De mina, son las depositadas en el interior de la tierra, están generalmente formadas por granos más angulosos, conteniendo arcillas y materias orgánicas. Dependiendo de la cantidad y de la calidad de las impurezas que contienen estas arenas, se presentan en color azul, gris pardo, o rosa. En el Distrito Federal se cuenta con grandes montes de arenas de distinta coloración, siendo las más puras las de color azul (provienen de la desintegración del tipo de las andesitas), las de color gris tienen un alto porcentaje de polvo y las rosas contienen óxidos, pero mediante el proceso de cribado y lavado se pueden mejorar lo suficiente para aprovecharlas.

- c) De playa o duna, solamente se pueden emplear mediante un proceso de lavado (en agua dulce) siempre que tengan el tamaño adecuado, pues contienen sales alcalinas que absorben y retienen la humedad, dando con el tiempo origen a eflorescencias que son perjudiciales para los acabados interiores (por esta razón no se utilizarán granos muy pequeños).
- d) Artificiales, son de granos angulosos y superficie rugosa, no contienen polvo suelto por el proceso de cribado y selección a que son sometidas después de ser trituradas y molidas. Son aptas para los morteros y concretos, siempre y cuando provengan de rocas duras y no tengan aristas vivas y ángulos muy agudos, pues esto hace que disminuya la resistencia del conjunto.

Forma de los granos.

Cuando se requiere máxima resistencia e impermeabilidad, es necesario que el agregado presente la máxima compactabilidad (o sea que presente el mínimo de porcentaje de vacíos).

Las arenas de forma esférica, además de presentar una masa más compacta que otras de granos angulosos (como sucede con partículas de mica), proporcionan mayor superficie de contacto entre sí y menos superficie a recubrir (con lechadas); por consiguiente, cuanto más se aproxime la forma de los granos a la esfera, más compactos, resistentes y económicos resultarán los concretos.

Las arenas según el tamaño de sus granos, se clasifican en gruesas, medianas y finas. Son gruesas si pasan por un tamiz (malla metálica) de 5 mm y medianas si pasan por el de 2 mm.

- Grava

Deberán satisfacer las condiciones de estar limpias, ser resistentes y tener una composición química estable.

Tamaño.

Su tamaño varía de acuerdo a la clase o tipo de obra, empleándose desde 30, 50, y 90 mm para concretos simples o ciclópeos, en el cuadro 3.1 se muestran los tamaños nominales. En el concreto armado el tamaño será dado por la separación del refuerzo, se exige un máximo inferior a $\frac{1}{4}$ " que es la mínima separación entre refuerzos, y entre la cimbra o molde y el refuerzo próximo.

Forma.

La masa de los agregados gruesos que presenta mayor compacidad, resistencia y plasticidad es la constituida por partículas de forma aproximadamente esférica.

Preparación.

Los agregados se preparan para su empleo:

- a) Cribándolos, para obtener sus distintos gruesos de acuerdo con el agregado que se requiera.
- b) Lavándolos, para eliminar sales, arcillas y otras sustancias extrañas.
- c) En caso necesario se secarán.

Conocer el peso específico y volumétrico de los agregados es estar en condición de valorar la compacidad del elemento que ha de utilizarse en la elaboración de morteros y de concretos, pues a mayor peso volumétrico y peso específico constante, se obtendrá menor por ciento de vacíos, y por consiguiente menor cantidad de cemento o aglomerante dada una resistencia y compacidad específica.

Cribado y lavado.

Es un trabajo que se considera indispensable, cuando se quieren obtener materiales inertes que garanticen la futura calidad de los morteros y concretos.

De los mantos naturales y de la trituración de las rocas nunca se obtienen agregados con granulometría que satisfaga las normas, cuyo objeto es lograr una selección dependiendo de los tamaños de los granos; esta operación se puede hacer mediante sistemas mecánicos y manuales.

Las cribas manuales son conocidas como simples (o de albañilería).

Las cribas mecánicas se clasifican en:

- Cilíndricas o de tambor.
- Oscilantes.
- Vibratorias.

Cuadro 3.1 Tamaño máximo nominal del agregado

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Abertura nominal de la criba (mm)
50	75
40	50
25	40
20	25
13	20
10	15

- Agregados livianos

Deberán satisfacer las condiciones de estar limpios, resistentes, de forma y tamaño especificados y composición química estable.

Las propiedades de los agregados livianos son muy variables; por ejemplo: la resistencia de los concretos con agregados como arcillas y pizarras expansionadas o perlitas con alto peso volumétrico, es relativamente alta, comparable a la del cemento normal.

La piedra pómez, las escorias volcánicas y las expansionadas producen concretos de resistencias intermedias, en comparación con la diatomita y la vermiculita, que producen concretos de escasa resistencia.

Pero estos concretos de poca resistencia tienen propiedades aislantes mejores que las de los concretos más pesados y resistentes.

Cuadro 3.2 Clasificación de los agregados

Tamaño		Denominación
0.02 mm	a 6 mm (1/4")	Arenas
6 mm (1/4")	a 38 mm (1 1/2")	Confitillo
38 mm (1 1/2")	a 89 mm (3 1/2")	Grava
89 mm (3 1/2")	a 152 mm (6")	Matatena

III. Agua

La relación agua - cemento es muy importante porque el aumento de agua requerida da por resultado la disminución de la fatiga del concreto a los 28 días; por lo regular, cuando la mezcla no puede ser muy manejable, los operarios, sin la autorización del supervisor de obra, aumentan agua a las revolturas.

El agua para mezclar el concreto deberá de estar libre de ácidos, álcalis y grasa (limos, sales y otras impurezas), evitando principalmente el agua que contenga cuerpos orgánicos, porque pueden interferir con el fraguado del cemento.

En todas las especificaciones se pedirá que el agua (no contenga sulfatos) sea potable.

El curado

Cuando cesa el curado aumenta la resistencia, pero sólo por un corto período de tiempo; sin embargo, si se renueva la cura por humedad aún después de un prolongado período de secado, la resistencia volverá a aumentar. Por esta razón se recomienda una curación húmeda continua del concreto, desde el vaciado hasta que ha logrado la calidad deseada.

El tiempo de fraguado inicial es igual para todo tipo de concreto, aproximadamente de 45 minutos (el cual ya no es manejable).

Aditivos

Los aditivos se usan algunas veces en mezclas de concreto para mejorar la manejabilidad, reducir la segregación del aire (burbujas), acelerar el fraguado y el endurecimiento.

Materiales en polvo como piedra pómez, cenizas muy finas y cal hidratada, son aditivos muy finos; también sirven para evitar asperezas y evitar dificultades en el vaciado y acabado.

El cloruro de calcio se usa como acelerante para concretos y la máxima cantidad es el 2% del peso del cemento. Se agrega como parte del agua de la mezcla o se añade en forma seca en los agregados (arena, grava).

Proporcionamiento adecuado

El proporcionamiento de una mezcla para un concreto consiste en la elección de una relación apropiada de agua - cemento, definir la granulometría de los agregados inertes y que el volumen de vacíos (burbujas de aire o huecos) entre los agregados sea el menor posible, para hacer el conglomerado de acuerdo a la compacidad necesaria, en el cuadro 3.3 se muestra el proporcionamiento para mezclas de concreto.

Cuadro 3.3 Proporcionamiento para mezcla de concreto

Cemento (un saco)	Agua (botes)	Arena (botes)	Grava (botes)	Aplicación	f'c kg /cm ²
1	1	2 1/3	4 3/4	Alta resistencia Grava 1-1/2"	300
1	1	2 1/3	3 1/2	Grava 3/4"	
1	1 1/3	3 1/2	5 1/2	Columnas y techos Grava 1-1/2"	250
1	1 1/3	3	4	Grava 3/4"	
1	1 1/2	4	6 1/2	Losas y zapatas Grava 1-1/2"	200
1	1 1/2	4	5	Grava 3/4"	
1	1 3/4	5	7 3/4	Trabes y dalas Grava 1-1/2"	150
1	2	5	5 3/4	Grava 3/4"	
1	2 1/4	6 1/3	9	Muros y pisos Grava 1-1/2"	100
1	2 1/4	6 1/2	7	Grava 3/4"	

Elaboración mecánica

Se efectúa mediante mezcladoras rotatorias (o de tambor), se carga por medio de cucharones móviles o con tolvas si es necesario mayor capacidad, en el tambor de acero se mezclan los materiales en seco. Los agregados deben ser mezclados completamente hasta lograr una apariencia uniforme con los ingredientes perfectamente distribuidos.

El tiempo requerido para un mezclado completo depende de muchos factores; las especificaciones usualmente exigen un mínimo de un minuto para mezcladoras de hasta $3/4$ m³ de capacidad con aumento de 15 segundos por cada $1/3$ m³ de capacidad adicional.

Se añadirá el agua requerida antes de haber transcurrido la tercera parte del tiempo de mezclado; el proporcionamiento del agua se hace mediante un tanque debidamente calibrado, el cual se llena automáticamente hasta la capacidad que se fija en un indicador especial, y la descarga del agua al tambor de la revolovedora se hace después de haber mezclado los materiales en seco.

En el interior del cilindro se revuelve la mezcla por medio de espas y haciendo que avance hacia la salida, descargándose con un cucharón basculante en el otro lado de la tolva de entrada. Debido al movimiento rotatorio del tambor y a la forma de las espas, la mezcla es dirigida hasta el cucharón que, al ser bajado, permite la salida de la revoltura.

Los sistemas motrices pueden ser de gasolina o eléctricos, pudiendo estar montada la revolovedora sobre un cono de ruedas o bien sobre un camión (automotor); el tambor se mueve entre guías, una de las cuales es la guía motora, pudiendo hacerse por engrane o piñón.

Hay mezcladoras dosificadoras desde 0.8 m³ hasta 3 m³.

Las mezcladoras pueden ser de tipo basculante o no basculante; el tipo basculante tiene la ventaja de rápida descarga y fácil limpieza. Los dos tipos pueden tener cucharones para cargar, las no basculantes tienen un canal oscilante para descarga.

Vibrado

El vibrado del concreto es de mucha importancia para un colado efectivo y su aplicación correcta es factor esencial en todo tipo de obra; el procedimiento para un útil vibrado varía de acuerdo al tipo de trabajo, al tipo de vibrador utilizado y a la calidad del concreto.

En un colado el vibrado favorece la resistencia del concreto, ya que es posible utilizar menor cantidad de agua en la revoltura, logrando que las partículas del concreto se pongan en movimiento, reduciendo de este modo la fricción entre ellas, haciendo que la mezcla sea más fluida, facilitando el colado y mejorando el acabado por la misma uniformidad lograda por este medio.

El vibrado se hace cuando los concretos son relativamente secos, debido a que la resistencia del concreto está en relación directa con la proporción de agua - cemento.

La energía de los vibradores se utiliza para mover el concreto horizontalmente en lugar de consolidarlo verticalmente; es probable que la segregación se produzca por un mal vibrado; si se usa en exceso se estanca el agregado grueso en el fondo, mientras que el cemento queda en la parte superior.

Será preciso tener cuidado de colocar los vibradores a suficiente profundidad para agitar efectivamente el fondo de cada capa de concreto; los vibradores se introducirán y retirarán lentamente, y deberán operarse continuamente mientras se extraen.

Revenimiento

Éste consiste en medir el hundimiento que sufre un tronco de cono de concreto fresco al retirarle el apoyo; para hacer esta prueba se usa un molde metálico, cuyas medidas son 30 cm de altura, 10 cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo (llamado cono de Abrams) figura 3.3.

La prueba se lleva a cabo colocando el molde sobre una superficie horizontal y se vacía concreto en él hasta llenarlo, tres capas de igual espesor con la revoltura, picando cada una de las capas de 20 a 25 veces con una varilla (lisa con diámetro de 5/8" y 60 cm de largo) para apisonar el material. Se enrasa el concreto al nivel de la base superior del molde, el cual se saca cuidadosamente hacia arriba. Sobre la superficie horizontal donde descansa el cono queda la revoltura, que por falta de apoyo de las paredes laterales se remueven más, o menos, según su fluidez.

La diferencia en centímetros entre la altura del molde y el final de la revoltura se denomina revenimiento, y es mayor cuanto más fluida es la revoltura.

En los cuadros 3.4 y 3.5 se muestran el revenimiento más usual según el tipo de obra y las tolerancias correspondientes.

Características del concreto recién preparado:

- a) Consistencia.
- b) Fluidez.
- c) Manejabilidad.

Cuadro 3.4 Revenimientos usuales según la clase de obra a que se destina el concreto

Tipo de estructura	Fluidez de la mezcla	Revenimiento centímetros		
		Mínimo	Máximo	Promedio
Presas, puentes, cimentaciones, muros de contención, pavimentos, etc. Losas, trabes, muros de gran sección, piezas de pequeñas dimensiones con bastante armado.	Mezcla seca	0	8	4
	Mezcla plástica	8	12	10
Formas chicas y difíciles (muros y columnas).	Mezcla fluída	10	20	15

Cuadro 3.5 Tolerancias indicadas para el revenimiento

Revenimiento especificado (cm)	Tolerancia (cm)
menos de 5	± 1.5
de 6 a 10	± 2.5
más de 10	± 3.5

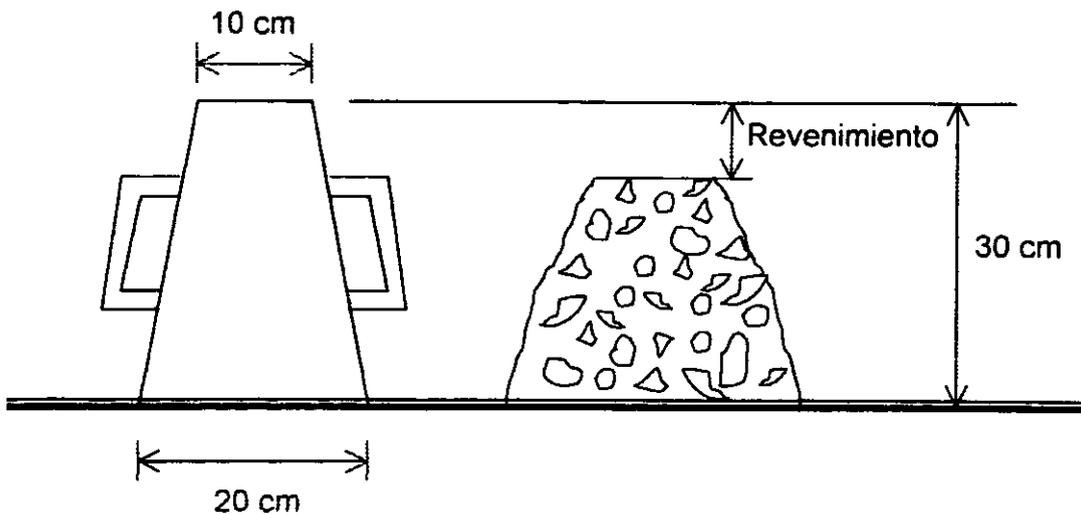


Figura 3.3 Molde para determinar el revenimiento del concreto en la obra

Resistencias del concreto

Resistencia a la compresión. Dependiendo de la mezcla (con relación de agua - cemento), del tiempo y calidad del curado, la resistencia del concreto a la compresión puede ser de 560 a 700 kg/cm².

En los lugares donde una mezcla produce concretos de una resistencia mucho menor a la requerida, deberá disminuirse la relación agua - cemento. La resistencia de la mezcla debe calcularse por encima de la resistencia supuesta en los cálculos; es bueno un aumento del 15%.

La determinación de la fatiga de ruptura del concreto, está basada en los resultados de pruebas sobre cilindros de 15 x 30 cm curados en el laboratorio y probando su resistencia a los 28 días.

Resistencia a la tracción. Es relativamente baja (aproximadamente del 10 al 15% de su resistencia a la compresión, pero puede ser hasta del 20%), siendo la resistencia del concreto a la tracción más difícil de determinar que su resistencia a la compresión.

Resistencia al corte. Es bastante grande, pudiendo variar del 35 al 80% de su resistencia a la compresión.

La fatiga admisible al corte debe ser limitada a valores más bajos, para proteger el concreto de otros esfuerzos diagonales de tracción. La resistencia del concreto a esfuerzos cortantes no es importante, y el término esfuerzo cortante se refiere generalmente a esfuerzos diagonales de tracción.

Adherencia

Es la resistencia a deslizarse entre el concreto y las varillas. El lograr evitar el deslizamiento entre las barras de refuerzo (varillas) y el concreto es de gran importancia, para lo cual se emplean anclajes en los extremos, extensiones y varillas dobladas (ganchos).

La resistencia a la adherencia varía considerablemente según el tipo de cemento, de los aditivos y la relación agua - cemento.

La adherencia es mayor para concreto seco que para concreto húmedo; es menor para varillas horizontales que para varillas verticales debido a la acumulación de agua debajo de las varillas horizontales.

Acero de refuerzo

El acero de las varillas proviene de la laminación en caliente, y en algunos casos se determina mediante un proceso en frío de lingotes de acero (obtenidos en distintos tipos de hornos: de hogar abierto, horno eléctrico, etc.), partiendo de minerales de hierro o desperdicio de metales (chatarra).

En el cuadro 3.6 se muestran los valores considerados dependiendo del grado de dureza.

Límite de proporcionalidad. Es el mayor esfuerzo que puede soportar el material, de acuerdo con la ley de Hooke:

“La variación de la longitud de un cuerpo, que es estirado o comprimido, es directamente proporcional a la fuerza que causa la deformación, si no se ha excedido el límite elástico”. O sea, proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones.

Límite elástico. Es el máximo esfuerzo que puede soportar un material sin sufrir deformaciones permanentes una vez que se ha dejado de ejercer la fuerza.

Módulo de elasticidad. Es el coeficiente entre el esfuerzo y la deformación unitaria correspondiente. (Dentro de los límites de proporcionalidad).

Siendo el módulo de elasticidad igual para los tres grados de dureza (estructural, intermedio y duro).

Cuadro 3.6 Valores a considerar para el grado de dureza del acero

Valores mínimos	Grado estructural	Grado duro
Límite elástico (kg /cm ²)	2300 mínimo	3500 mínimo
Fátiga permisible de trabajo (kg /cm ²)	1265	1400
Resistencia máxima a la tensión (kg /cm ²)	3800 a 5300	5600 mínimo

Especificaciones. Los aceros normales utilizados en la laminación de las varillas para el armado de refuerzo en el concreto, corresponden a tres grados de dureza, estructural, intermedio y duro.

Las varillas para concreto armado se fabrican lisas y corrugadas en doce diámetros; estas corrugaciones deben tener una altura mínima de 4 a 5% del diámetro de la propia varilla.

Las varillas para el armado se fabrican con diámetros nominales de fracción de pulgada, designándolas por un número que expresa los octavos de pulgada de su diámetro nominal, como se observa en el cuadro 3.7.

Cuadro 3.7 Varilla corrugada

Número varilla	Diámetro nominal		Perímetro cm	Área cm ²	Peso x m kg	Peso por varilla kg	Número de varillas por ton.
	mm	pulg					
2.5	7.9	5/16	2.48	0.49	0.384	4.60	217
3	9.5	3/8	2.98	0.71	0.557	6.68	150
4	12.7	1/2	3.99	1.27	0.996	11.95	84
5	15.9	5/8	5.00	1.99	1.560	18.72	53
6	19.1	3/4	6.00	2.87	2.250	27.00	37
7	22.2	7/8	6.87	3.87	3.034	36.40	27
8	25.4	1	7.98	5.07	3.975	47.70	21
10	31.8	1 1/4	9.99	7.94	6.225	74.70	12
12	38.1	1 1/2	11.97	11.40	8.938	107.25	10

Acero especial (o de alta resistencia)

Son minerales (o metales de desperdicio) con un cierto porcentaje de carbono, que los coloca en el grado duro. Generalmente, este acero tiene un límite elástico aparente superior a los 4000 kg /cm², usándose con una fatiga de trabajo de 2000 kg /cm², lo que equivale a un coeficiente de seguridad de dos.

Cimbra

Es un sistema integrado por formas de madera o metal y sus soportes; su función principal es la de contener al concreto hasta que éste haya alcanzado su fraguado final, y consecuentemente la resistencia necesaria para autosoportarse.

En términos generales, una cimbra se integra fundamentalmente por dos estructuras:

- Cimbra de contacto.
- Obra falsa.

La cimbra de contacto se encuentra directamente en contacto con el concreto, su función primordial es la de contener y confinar al concreto de acuerdo con el diseño de la estructura. Se compone principalmente por paneles, tarimas, moldes prefabricados, etcétera.

La obra falsa es aquella constituida por elementos que trabajan estructuralmente soportando la cimbra de contacto, es decir, es la que soporta a la cimbra de contacto para que ésta no se mueva ni produzca variaciones en el acabado del concreto; los elementos comúnmente utilizados son vigas mdrinas, pies derechos, contravientos, puntales, etcétera.

Cimbrado:

- La cimbra se diseñará y construirá de acuerdo a planos y especificaciones.
- La cimbra se instalará en tal forma que se proporcione seguridad cuando se les someta a cargas previsible durante el proceso constructivo.
- Las cimbras serán limpiadas completamente de óxidos, aserrín y otros materiales antes de verter el concreto. Para conseguir una limpieza óptima se usará aire comprimido o agua a presión.
- La cimbra será construida de manera que los elementos (columnas, vigas, muros, etc.) queden de su dimensión correcta, perfectamente alineada y a la elevación indicada por los planos.
- Las cimbras deberán ser estancas y calafateadas por fuera para evitar pérdida de concreto.
- Las caras interiores de la cimbra serán uniformes y lisas.
- Se deberán colocar entarimados o pasillos debidamente apoyados, de manera que se evite mover el armado, cimbra o cualquier elemento ahogado dentro del concreto. Estos entarimados servirán para permitir el paso del personal y equipo que esté transportando el concreto o intervenga en las maniobras de colado, vibrado y terminado del mismo.
- Se deberá suministrar un panelón (canalón de conducción) si es que la altura de caída desde la parte inferior del canalón es mayor de 1.5 m, evitando así con éste, la inadecuada caída y segregación del concreto. Nunca deberá caer el concreto directamente sobre elementos ahogados, emparrillados cerrados, o cualquier objeto que propicie dicha segregación.

Tipos de madera**Paneles para cimbra.**

Los paneles utilizados son modulares y pueden estar forrados con acero o con triplay. Las hojas de triplay suelen estar cubiertas con un laminado plástico que proporciona una superficie impermeable y uniforme al concreto. Estos paneles están diseñados para que se manejen manualmente entre diferentes aplicaciones, mientras que la unión con otros paneles adyacentes, con los largueros y madrinas que sean necesarios se realiza mediante diversos tipos de sujetadores, existen algunos sistemas que soportan y confinan muros de sección curva.

Las líneas y las marcas que resultan de las juntas de los paneles se deben resanar en las áreas de los muros.

Una de las ventajas de los paneles es que pueden utilizarse individualmente como elementos de manejo manual, combinados con largueros o madrinas manejados con grúa entre uno y otro uso.

Para obtener el mayor uso de los paneles, se debe limpiar las superficies y aplicar el agente desmoldante adecuado antes de volver a usarlos.

Polín.

Es un tipo específico de madera que generalmente se corta de 4" X 4" por la longitud que se desee y se utiliza como puntal cargador (apoyo) para la cimbra de contacto.

Triplay.

La madera contrachapeada (triplay) en su forma más simple consiste en tres capas pegadas entre sí, en tal forma que las fibras de la capa intermedia quedan perpendiculares a las fibras de las capas exteriores.

Una tabla de madera contrachapeada tiende a igualar las resistencias en ambas direcciones y ofrece gran resistencia contra rajaduras que pudieran provocarse por clavos, tornillos u otros elementos de unión.

Los tamaños estándar de las hojas: 4' x 8' (1.22 x 2.44 m) y su espesor comercial que va de ¼" a ¾" reducen las juntas en las superficies de recubrimiento, por esto al triplay se le asigna como principal uso el de cimbra de contacto.

Viga.

Sus dimensiones son de 4" x 6" x la longitud deseada y se utiliza principalmente como viga madrina para transmitir cargas en las losas.

Tablas.

Sus dimensiones son de (4",6",8",10",12") x 1" x 98 ½" se utilizan principalmente para detalles en losas y elementos en los cuales se requiere cimbra de estas características.

Pie derecho de acero ajustable.

Se usan para sostener y contraventear la cimbra de diferentes maneras. Los pies derechos deben fijarse siempre con clavos en su sitio, lo cual impide que se inclinen hacia los lados cuando se lleva a cabo un colado progresivo.

Sujetadores.

Existe una serie de elementos, grapas, y arreglos que pueden utilizarse; muchos de ellos dependen del uso de trozos de refuerzo o bien las varillas con rosca y su correspondiente arandela plana con tuerca que proporciona un amarre excelente para muros, contratraveses y secciones delgadas. De preferencia se deben usar las roscas cuadradas, roladas o similares, ya que resultan económicas y de fácil instalación y mantenimiento.

El elemento más versátil para la sujeción de elementos delgados debido a la agilidad con que confinan, es el comúnmente llamado moño. Los moños con longitudes ya específicas para secciones convencionales, están diseñados para soportar tanto la presión hidrostática ejercida durante el vaciado del concreto hacia fuera de la cimbra en la parte inferior, como la fuerza de sentido contrario al tratar de cerrarse la parte superior de la cimbra del elemento.

Después de la utilización de dichos moños o pernos hembra (truncónicos), se deberá resanar o taponear con mortero seco de cemento el orificio que resulta del cono de sujeción.

Los elementos que no soportan cargas podrán descimbrarse 12 horas después de terminada la colocación del concreto.

Tubular de acero

Se utilizara tubular de acero de 2 pulgadas de diámetro para el barandal de protección.

Soldadura

Impermeabilizante

Un sistema sencillo y económico para impermeabilizar el concreto, requiere de hidroprimer (sellador), vaportait y arena silica.

Se aplica primero el sellador, después una capa de vaportait y en la segunda capa de vaportait se aplica también riego de arena silica.

Pintura

Pintura epoxin 500 se aplica en dos capas.
Esmalte anticorrosivo alquidálico.

3.2.2. Mano de obra

Para poder determinar el número de obreros y equipo que se va a utilizar se requiere elaborar un programa de obra, como el mostrado en el cuadro 3.8, para lo cual se debe dividir el proyecto en sus respectivas operaciones. Determinar la cantidad de trabajo que tenga que llevarse a cabo y estimar para cada operación el tiempo requerido. Se descuenta una cantidad de tiempo apropiada debido a lluvias y mal tiempo. Al estimar el tiempo requerido para llevar a cabo el trabajo deberá tomarse en consideración la economía de la construcción; seleccionar el número de obreros y unidades de equipo (observar cuadros 3.9 y 3.10) que resulten en la construcción más económica consistentes con la operación en particular y con toda la obra en general.

Considerando el ejemplo presentado en el capítulo 2, a continuación se presentan las actividades necesarias y el programa de obra, con lo cual se podrá determinar el número de obreros y equipo requeridos para la construcción de las zanjas de oxidación.

Llegada a la obra. Consiste en transportar y erigir en la obra una tolva de dos compartimientos para la revoltura de agregados, una tolva de almacenamiento de cemento en bruto, un almacén de herramientas, oficinas, laboratorio de pruebas, taller para la reparación y mantenimiento del equipo, y la maquinaria de construcción que se requiera para la obra.

Por lo que se requiere de 2 choferes, 2 mecánicos, un operador de grúa, un ayudante, 4 peones y un sobrestante.

El tiempo estimado para transportes y erección de la planta (zanjas de oxidación) es de una semana.

Limpieza y desenraice. Se requiere de 2 operadores de tractor y 2 peones.

El tiempo estimado es de 3 días.

Zanjas de oxidación. Las operaciones consistirán en la excavación al nivel requerido y en la construcción de las zanjas.

- Excavación. Se requiere de 2 operadores de tractor, 8 choferes de camión de volteo.
- Construcción (cimentación, losa, elemento central, muro). Habilitado y armado del acero de refuerzo, cimbrado, colado y descimbrado de las estructuras. Se requiere de un topógrafo, 2 ayudantes, 10 armadores, 12 carpinteros, un revolvedor, un operador de clamshell, un ayudante de clamshell, un revolvedor de agregado, 6 choferes para acarrear el agregado, un operador de revolvedora, 2 operadores de vibrador, 4 choferes para acarrear agua, 24 peones y un sobrestante.
- Acabados. Se requiere de 3 albañiles, 3 pintores, 3 herreros, 9 peones.

Por lo que el tiempo estimado es de 19 semanas.

Relleno. Se requiere de 2 operadores de tractor, un operador de conformadora, 3 operadores de rodillo pata de cabra, 5 choferes para acarreo de tierra, 5 choferes para acarreo de agua, 2 peones.

El tiempo estimado es de 2 semanas.

Limpieza y salida de la obra. Se requiere de 2 choferes, 2 mecánicos, un operador de grúa, un ayudante, un operador de conformadora, 4 peones y un sobrestante.

El tiempo estimado es de dos semanas.

	Carpinteros	12
	Revolvedor	1
	Operador clamshell	1
	Ayudante de operador clamshell	1
	Revolvedor de agregado	1
	Choferes de agregado	6
	Operador para revolvedora	1
	Operador para vibrador	2
	Choferes para agua	4
	Albañil para acabados	3
	Pintores	3
	Herreros	3
	Peones	33
Relleno	Sobrestante	1
	Operador de tractor	2
	Operador de conformadora	1
	Operadores rodillo pata de cabra	3
	Choferes para tierra	5
	Choferes para agua	5
	Peones	2
Limpieza general	Sobrestante	1
	Operador de conformadora	1
	Mecánicos	2
	Choferes	2
	Operador de grúa	1
	Ayudante de operador de grúa	1
	Peones	4

3.2.3. Equipo

Llegada a la obra. Se utilizará una grúa y 2 camiones trailers para transportar el equipo y elementos necesarios al lugar de la obra para establecer la infraestructura de trabajo (oficina, almacén, laboratorio, planta de dosificación, taller de mantenimiento, etcétera).

Limpieza y desenraice. Se utilizaran dos tractores bulldozer con cuchilla de dientes.

Zanjas de oxidación. Las operaciones consistirán en la excavación al nivel requerido y en la construcción de las zanjas.

- Excavación. Se utilizaran dos tractores con cuchilla de dientes, 8 camiones de volteo con capacidad para 6 m³.

- Construcción (cimentación, losa, elemento central, muro). Una revolvedora con capacidad para 1.20 m³, 6 camiones de volteo con capacidad para 6 m³ con división removible para separar el agregado y la mezcla que se va a transportar de la planta de dosificación a la revolvedora, dos vibradores de escantillón para el vibrado de la revoltura, 2 camiones de agua con capacidad para 6000 litros, dos camiones con tanque para agua con capacidad para 2000 galones (7570 litros), tolva de dos compartimientos para agregado y revolvedora con capacidad para 40 toneladas, silo para almacenar cemento con capacidad para 750 bbl, cimbra 1000 m².

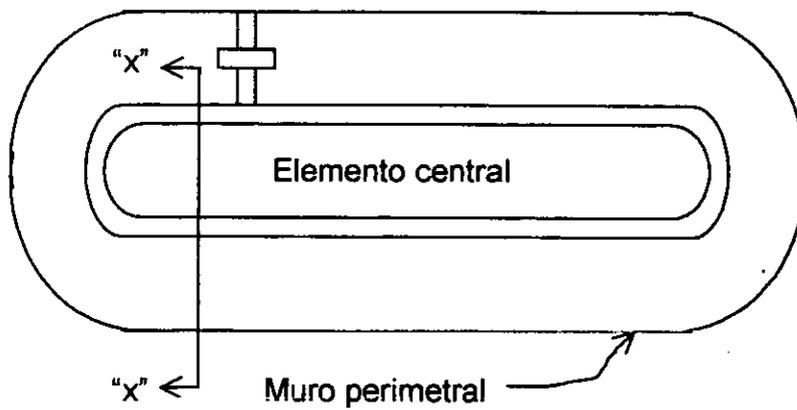
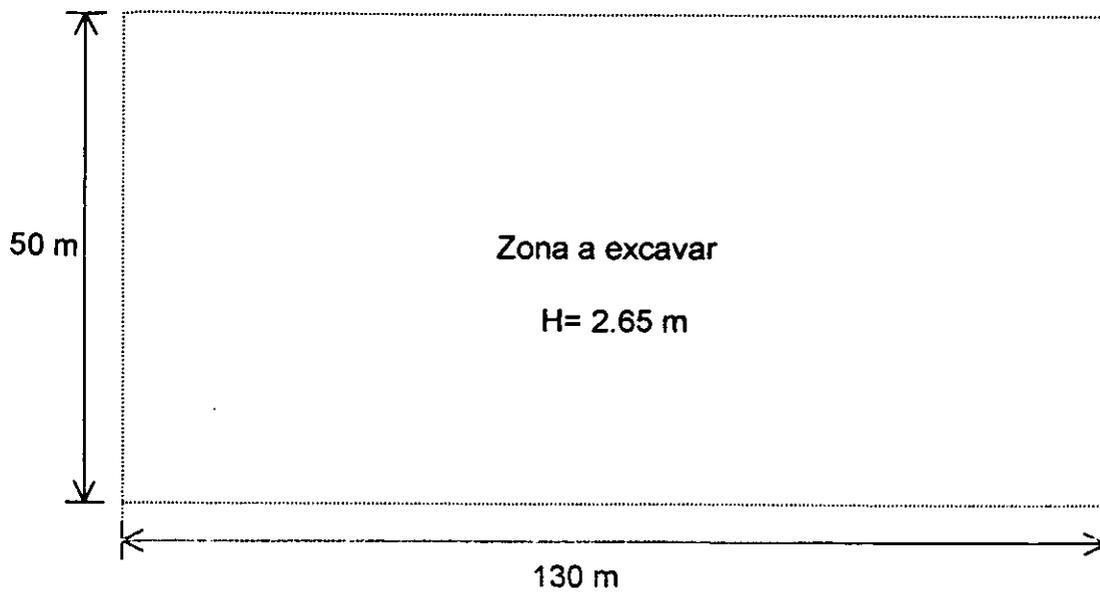
Relleno. Se utilizará un tractor, 5 camiones de volteo con capacidad para 6 m³, un tractor oruga, 3 rodillos pata de cabra, una conformadora, un camión con tanque para agua con capacidad para 2000 galones (7570 litros), 4 camiones de agua con capacidad para 6000 litros.

Limpieza y salida de la obra. Se utilizará una conformadora, una grúa y 2 camiones trailers para transportar el equipo y elementos utilizados.

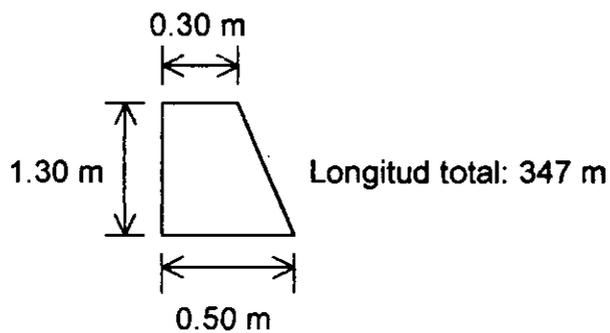
Cuadro 3.10 Número de unidades de equipo necesarias

Equipo	No. de unidades
Grúa	1
Camión trailer (plataforma)	2
Tractor bulldozer	2
Camión de volteo, 6 m ³	10
Camión de volteo con división removible, 6 m ³	7
Revolvedora, 1.20 m ³	1
Vibrador de escantillón	2
Camiones de agua, 6000 litros	5
Camiones con tanque de agua, 7570 litros	3
Toiva de dos compartimientos, 40 toneladas	1
Silo para cemento, 750 bbl.	1
Cimbra, 1000 m ²	1
Tractor oruga	1
Rodillo pata de cabra	3
Conformadora	1

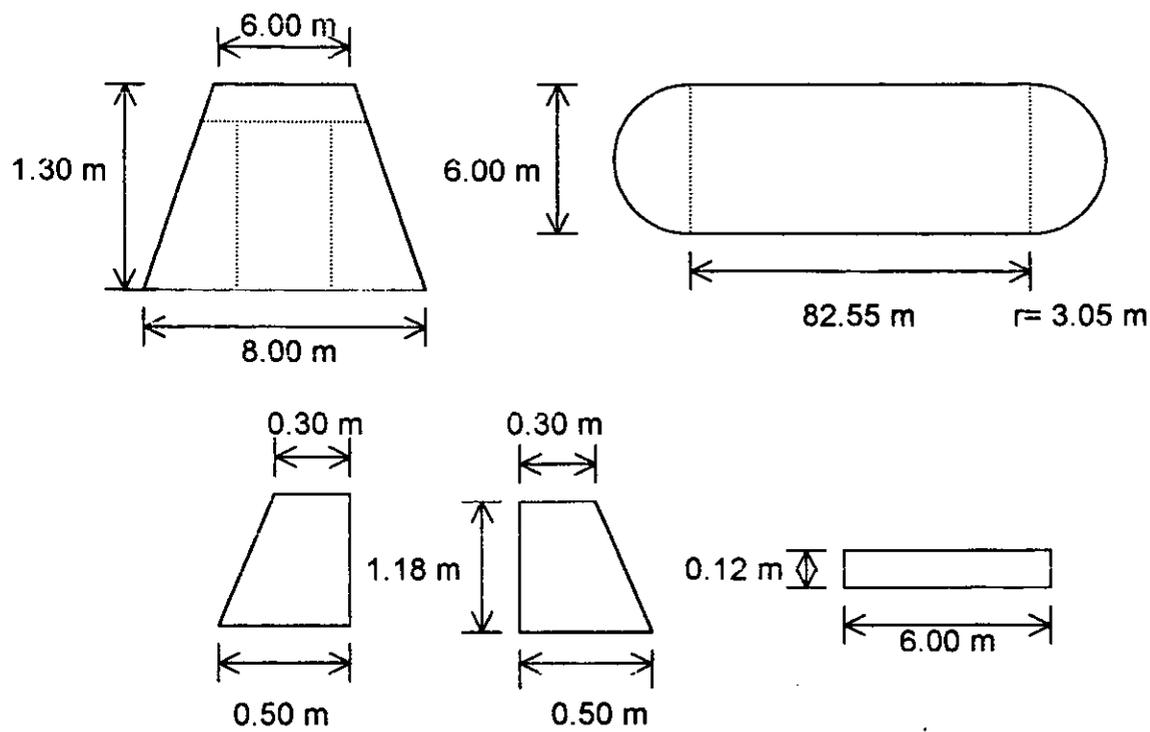
Para determinar el equipo y número de trabajadores se hicieron las siguientes consideraciones:



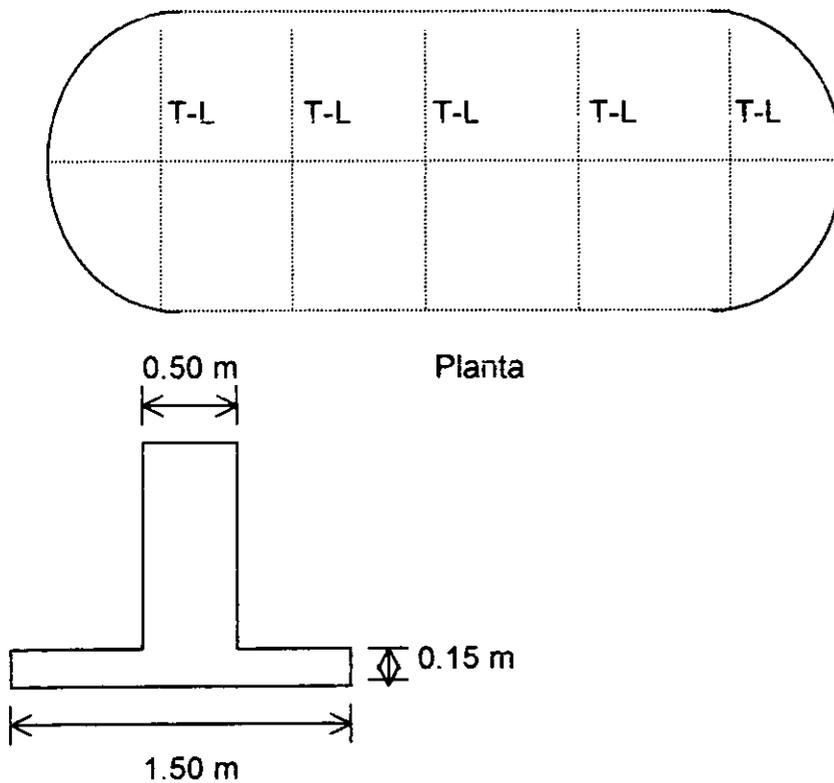
Vista en planta de la zanja.



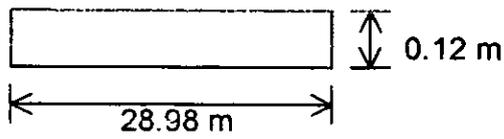
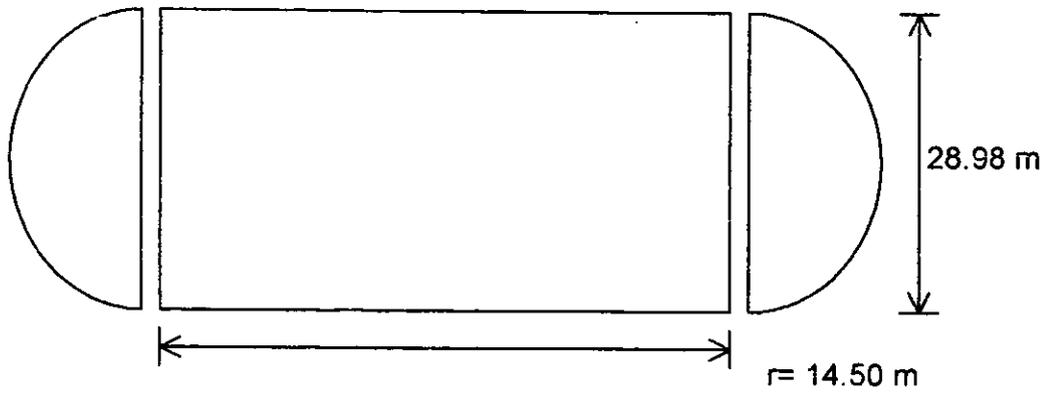
Sección "x - x" (muro perimetral).



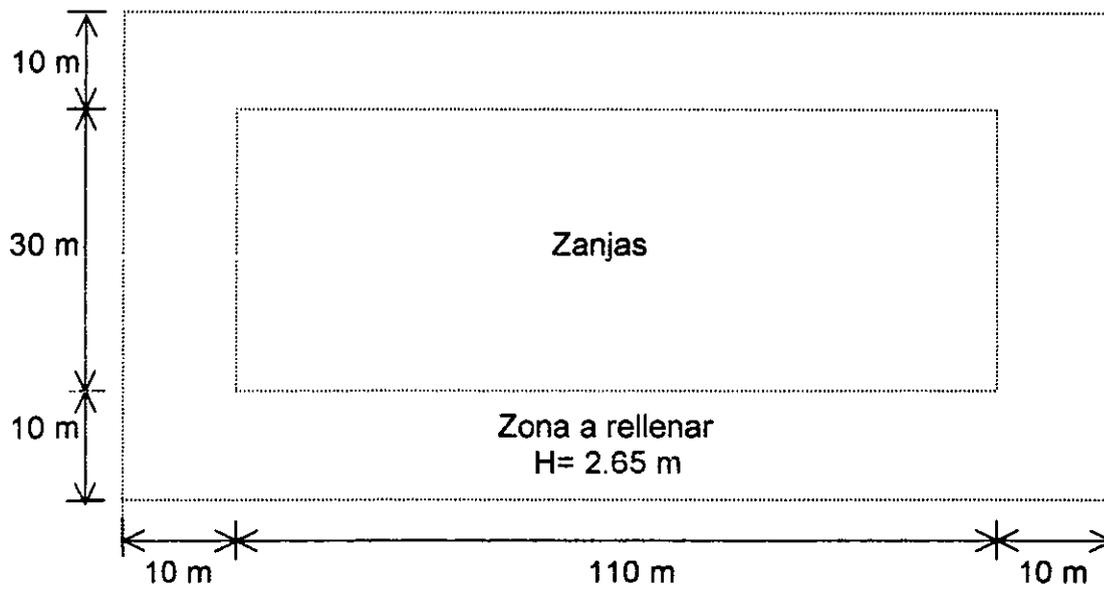
Sección "x - x" elemento central (desglosado en las secciones correspondientes).



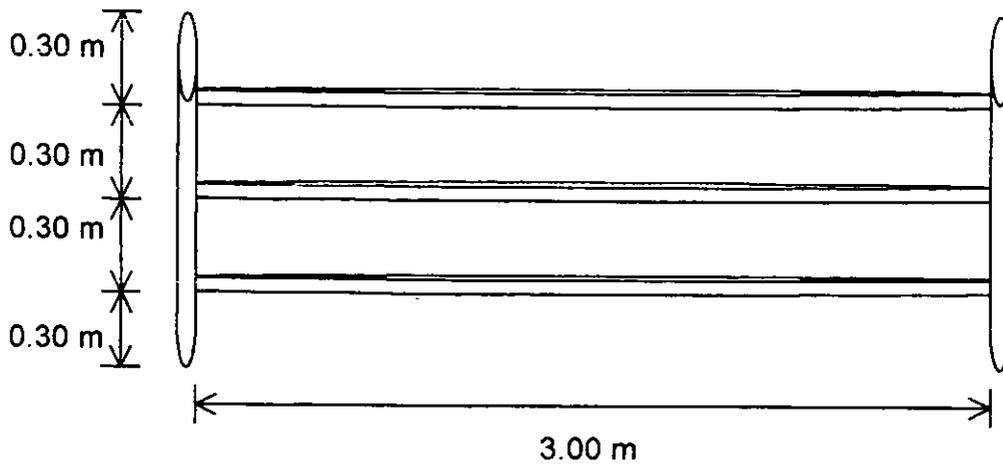
Cimentación a base de zapatas corridas con traves de liga.



Dimensiones de las secciones consideradas para la losa.



Zona que requiere rellenarse.



Sección de barandal de protección en todo el perímetro de las zanjas.

Rendimientos que se tomaron en cuenta:

Cimbrado

- Cimentación. 11 m²/jor.
- Elemento central. 14 m²/jor.
- Losa. 14 m²/jor.
- Muro perimetral. 9 m²/jor.

Armado

- Cimentación. 40 m²/jor.
- Elemento central. 40 m²/jor.
- Losa. 30 m²/jor.
- Muro perimetral. 30 m²/jor.

Equipo

- Revolvedora. 57.8 m³/hr.
- Camión (6 m³). 25 m³/hr.
- Tractor.
 - 115 m³ colocados/hr.
 - 80 m³ excavados/hr.
 - 506 m² de limpieza/hr.
- Conformadora. 553 m²/hr.
- Rodillo pata de cabra. 553 m²/hr.

Volumenes

- Excavación: 17225 m³
- Elemento central: 155 m³
- Muro perimetral: 181 m³
- Cimentación: 306 m³
- Losa: 446 m³
- Relleno: 9540 m³

**CAPÍTULO
4****OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

En este capítulo se incluyen algunos de los problemas operativos que se presentan con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de aguas residuales que funcionan con el sistema de lodos activados, así como algunas recomendaciones para corregirlos.

También se describen los tipos de mantenimiento (preventivo y correctivo) que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales en general; se explican algunos procedimientos a seguir y sugerencias para la conservación de las obras, en la cual se deben de llevar a cabo los programas ante situaciones de emergencia y de mantenimiento.

4.1. Problemas operativos

Cuando ocurre una falla de consideración en una planta, más de una unidad del proceso se ve afectada, por lo que es necesario establecer prioridades en los modos de operación alternativos o emergentes, ya que ciertos componentes son más importantes que otros.

La prioridad de cada unidad se define en función de un análisis de vulnerabilidad del proceso de tratamiento, que consiste en seleccionar situaciones de alto riesgo y estimar el efecto que cada una tiene en los componentes individuales y en el sistema global.

Los elementos que pueden quedar fuera de servicio durante las emergencias y que son vitales para la correcta operación del sistema se consideran como vulnerables y deberán ser reparados primero.

A continuación se presenta una lista de unidades del proceso, en función de la importancia que tienen en el tratamiento del agua residual; sin embargo, se recomienda que para cada planta de tratamiento se realice un análisis de vulnerabilidad particular.

1. Tratamiento primario.
2. Tratamiento secundario.
3. Recirculación de lodos.
4. Desinfección.
5. Tratamiento de subproductos.

Los problemas pueden ser detectados por el operador como condiciones anormales en el equipo.

➤ Fuga de flóculos pequeños por el vertedor del clarificador secundario

La aparición de pequeños flóculos en la superficie del clarificador, es un problema común en plantas que operan con el sistema de aireación extendida. Este problema está relacionado con un lodo viejo que sedimenta rápidamente, debido a que le faltan buenas características de sedimentación, es decir, al sedimentar deja flóculos densos, pequeños, suspendidos, que llegan a la superficie en los clarificadores secundarios.

Algunas causas de este problema son:

- a) La planta está siendo operada con una relación sustrato a microorganismos (F/M) pequeña, produciendo un lodo viejo, con malas características de formación del flóculo.
- b) Existe una sobreaireación o mucho mezclado en las zanjas, por lo cual se deben implantar las siguientes medidas para corregir el problema:
 - Si el lodo tiene una sedimentación muy rápida en la prueba de sedimentación de 30 minutos, con una formación pobre de lodo, se requiere de nitrificación.
 - Si se obtiene buena sedimentación y es claro en la prueba de sedimentación, entonces, se requiere revisar que la aireación y la mezcla sean adecuadas.
- c) Si se tiene una relación F/M demasiado alta y el sistema está sobrecargado. Se recomienda efectuar lo siguiente:
 - Comparar la relación F/M con la F/M para la cuál la planta opera bien.
- d) Si la relación F/M es mayor que la F/M con la cuál trabaja bien la planta:
 - Se debe disminuir el desecho de lodo.
 - Aumentar el flujo del retorno de lodo activado (RLA).
- e) Si la relación F/M es menor que la F/M con la cuál trabaja bien la planta:
 - Disminuir la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) en las zanjas. Si el promedio es menor de 0.5 mg/l, aumentarlo entre 1 y 3 mg/l.
- f) Si una sustancia tóxica ha entrado a la planta y destruyó el lodo, identificar la sustancia y la industria.
 - Una turbulencia excesiva rompe el flóculo y produce transporte de sólidos en los vertedores del clarificador secundario.

➤ Elevación de lodo en bolas

Cuando el lodo sedimenta inicialmente en la prueba de sedimentación de 30 minutos y después de 2 horas flota a la superficie, el problema que está ocurriendo es una desnitrificación en el clarificador. Los iones de nitrato son reducidos a nitrógeno gas y, las burbujas se forman en el flóculo de lodo y lo hacen elevarse a la superficie en bolas de 20 a 30 cm de tamaño aproximadamente.

Algunas causas de la elevación de lodo en bolas son las siguientes:

- a) Operación de la planta con una relación F/M baja, que produce nitrificación.
- b) El lodo permanece mucho tiempo en el clarificador secundario, y los microorganismos usan todo el oxígeno disponible, por lo tanto produce desnitrificación.
- c) Elevación de temperatura más alta que la normal, produce más actividad, más crecimiento de microorganismos y por lo tanto desnitrificación; debido a que la cantidad de O.D. disminuye y los microorganismos toman los nitratos y los convierten a nitrógeno gas.

Las medidas para corregir la elevación de lodo que deben ser implantadas son:

- Aumentar el flujo de RLA, para reducir el tiempo de retención en el clarificador secundario.
- Aumentar un poco la velocidad de los rotores, para disminuir el problema.
- Revisar el tubo de succión del clarificador, en ocasiones puede estar mal ajustado o tapado, produciendo el efecto de cono en la succión.
- Si no se requiere nitrificación, aumentar gradualmente el flujo de desecho. Un 10% de disminución gradual en una semana será suficiente, observar durante dos semanas para verificar su solución.

➤ Efluente turbio

Durante periodos de alta concentración de sólidos en el efluente deben desarrollarse pruebas de sedimentación en el licor mezclado. Si después de una prueba, ésta es pobre y el sobrante es turbio, la siguiente etapa es realizar un examen microscópico para determinar si existen protozoarios.

a) Presencia de protozoarios.

Cuando los protozoarios encontrados se ven inactivos, indica que una carga repentina de material tóxico está presente, ha entrado recientemente a la planta. El operador debe suspender el flujo de desecho de lodo hasta que pase la sustancia tóxica a través de la plantilla. Si el protozoario se encuentra activo y la turbiedad del efluente continúa, es indicio de que existe una sobreaireación en las zanjas y el flóculo se dispersa.

➤ Abultamiento de lodo

En este tipo de problema el lodo ocupa mucho volumen después de que el licor ha sedimentado.

En un período normal de tiempo, el abultamiento de lodo se debe a microorganismos filamentosos o a un flóculo disperso. El abultamiento se ha asociado con microorganismos que parecen cabellos.

Algunas causas del abultamiento de lodo son las siguientes:

a) Presencia de microorganismos filamentosos.

- Bajo nivel de O.D. en las zanjas.
- Insuficiencia de nutrientes.
- Bajo pH.
- Temperatura alta.
- Afectación por desechos industriales.

b) Ausencia de microorganismos filamentosos.

- Clarificador sobrecargado (alta relación F/M).
- Sobreaireación.

Lo primero que se debe hacer es llevar a cabo un examen microscópico de los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM), para determinar si existen microorganismos.

Cuando existe presencia de microorganismos filamentosos, se recomienda:

- Determinar el nivel de O.D. en las zanjas, si el nivel es menor a 0.5 mg/l de O.D. aumentarlo entre 1 a 3 mg/l. Si en algunas partes el O.D. es alto y en otras bajo, realizar las acciones necesarias para distribuir bien el aire.
- Calcular la aireación de DBO_5 . En general se agrega nitrato de amonio, superfosfato, y cloruro férrico, para adicionar nutrientes de nitrógeno, fósforo y hierro. En el cuadro 4.1 se indican las necesidades aproximadas de nutrientes del lodo activado, los valores de la tabla no constituyen las necesidades mínimas sino las cantidades que se sabe son adecuadas.

Cuadro 4.1. Necesidades aproximadas de nutrientes para lodos activados (mg/mg de DBO)

Elemento	Concentración
Nitrógeno	0.050
Fósforo	0.016
Azufre	0.004
Sodio	0.004
Potasio	0.003
Calcio	0.004
Magnesio	0.003
Hierro	0.001
Molibdeno	Rastro
Cobalto	Rastro
Cinc	Rastro
Cobre	Rastro

- Si el pH en las zanjas es menor de 6.5, se requiere elevarlo a 7 aproximadamente con sosa cáustica, aunque la mejor manera es identificar la causa del bajo pH. Lo más probable es que haya sido afectado por alguna descarga industrial o el proceso de lodo está nitrificado (destruye la alcalinidad).

Si la presencia de microorganismos es muy frecuente, el operador debe pedir la asistencia de un Microbiólogo para que identifique el tipo de microorganismo filamentosos, la fuente de desecho que favorece su crecimiento y la manera de eliminarlo.

Cuando existe ausencia de microorganismos filamentosos, se recomienda:

- Revisar si la relación F/M es alta en comparación con la que se usa normalmente. Una relación F/M alta produce flóculos dispersos. Aumentar 10% el flujo de desecho; el flóculo disperso debe desaparecer aproximadamente en una semana.
- Revisar el nivel de O.D. en las zanjas, concentraciones arriba de 3 mg/l indican exceso de aire.

➤ Arrastre de sólidos

En algunas ocasiones, esta condición puede detectarse rápidamente cuando la sedimentación es buena, con una prueba de sedimentación de 30 minutos, pero una cantidad homogénea de lodo en forma de ondas se eleva a la superficie, aún cuando el colchón de lodo está debajo de la segunda mitad del clarificador o a un tercio del fondo.

Algunas causas del arrastre de sólidos son las siguientes:

- a) El equipo está operando mal.
- b) El clarificador está sobrecargado hidráulicamente.
- c) El clarificador está sobrecargado de sólidos.
- d) Corrientes de temperatura.

Medidas que deben ser implantadas para corregir el arrastre de sólidos:

- a) Equipo operando mal.

El operador debe revisar lo siguiente:

- Sistema de recolección de lodo.
- Bafles de distribución.
- Nivelación de vertedores.

- b) Clarificador sobrecargado hidráulicamente.

El operador debe revisar la carga hidráulica para cada clarificador secundario y tratar de distribuir el flujo uniformemente.

- c) Clarificador sobrecargado de sólidos.

La sobrecarga de sólidos se relaciona con el flujo del influente al clarificador, el flujo de RLA y la concentración de SSLM. Reduciendo la concentración de SSLM o el flujo de RLA, se puede eliminar la sedimentación en el clarificador secundario. Para reducir la concentración de SSLM en las zanjas, la mejor manera es aumentar la relación F/M. Una experiencia práctica es aumentar el 10% de desecho de lodo, en forma gradual en una semana.

- d) Corrientes de temperatura.

El arrastre de sólidos también se debe a corrientes de temperatura de arriba hacia abajo, y viceversa, del clarificador secundario, esto se debe a la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo del clarificador. Si la temperatura del fondo es 1.2 °C más fría, habrá corrientes de temperatura, lo anterior puede ser mejorado con la instalación de bafles para romper las corrientes y para la turbulencia. Los bafles deben colocarse de tal manera que se distribuya el influente lo más uniforme posible.

➤ Flóculos pequeños en la superficie del clarificador secundario

- a) Exceso de espuma color café, espesa y de consistencia grasosa.

Este tipo de espuma es asociada con plantas que están operando entre los rangos convencionales y de aireación extendida en cuanto a carga orgánica. La nitrificación y los microorganismos filamentosos, son con frecuencia asociados con este tipo de espuma.

Algunas causas de este tipo de problema son las siguientes:

- Las zanjas están operando con una relación F/M baja, pues requiere desnitrificación para eliminar nitrógeno en el efluente, para cumplir con las condiciones particulares de descarga.
- Formación de una alta concentración de SSLM, debido a un insuficiente desecho de lodo. Esto puede ocurrir en los cambios de estación por cambio de temperatura, resultando de invierno a verano mayor temperatura, por lo tanto más actividad microbiana y consecuentemente mayor cantidad de lodo.
- Operación de la planta en aireación de lodo.
- Desecho de lodo inapropiado.

Medidas consideradas para corregir el problema:

- Cuando hay presencia de microorganismos filamentosos en el lodo, estos pueden ser eliminados con la adición de cloro a la recirculación de lodo.
- La adición en el lodo debe ser de 2 a 3 kg de cloro por cada 1000 kg de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM) por día.
- Debe tenerse mucho cuidado en la dosis de cloro, ya que se puede eliminar los microorganismos deseables.
- Aplicar un programa de desecho de lodo.

b) Espuma blanca.

La espuma blanca es indicativo de una planta sobrecargada, o cuando se arranca por primera vez una planta (o arranque después de un paro largo). Lo anterior significa que la concentración de SSLM es muy baja y que la relación F/M es muy alta. La espuma puede ser por detergentes o proteínas, las cuales no pueden ser convertidas a comida por los microorganismos jóvenes que crecen en los SSLM con una relación F/M alta.

Algunas causas de esta espuma son:

- Bajos SSLM debido a inicio de arranque.
- Exceso de desecho de lodos ocasionado una disminución de los SSLM y una relación F/M alta.
- Presencia de condiciones desfavorables como:

Sustancias tóxicas o material inhibidor.
pH bajo o alto (rango normal 6.5 – 8.5).
Bajo nivel de O.D.
Deficiencias de nutrientes.
Temperatura muy baja y alta.

- Desecho de lodo (no intencional) causado por:
 - Cargas repentinas de materia orgánica.
 - Perturbación biológica.
 - Colchón de lodos altos en el clarificador secundario.
 - Deficiencias mecánicas en el clarificador secundario.
 - Desnitrificación en el clarificador secundario.
 - Distribución impropia de flujo o sólidos en el clarificador secundario.
- Distribución inadecuada de flujo y/o flujo de RLA a las zanjas.

Medidas que deben ser consideradas para corregir el problema:

- Reducir el desecho de lodo para aumentar la concentración de SSLM. La disminución del flujo de RLA debe ser lenta y gradual.
- Mantener una circulación suficiente para mantener el colchón de lodo a 1/3 de la altura del clarificador.
- Controlar la tasa de aire para mantener de 1 a 3 mg/l de O.D. en las zanjas.
- Vigilar que las descargas de tóxico no se repitan o ponerse de acuerdo con los industriales para prever y preparar la planta a tales desechos.
- Modificar tuberías o estructuras que permitan mantener una distribución adecuada de flujos en las zanjas y clarificadores secundarios.

En los cuadros 4.2, 4.3 y 4.4, se muestran los requerimientos, las condiciones de funcionamiento y la confianza de operación para las plantas de zanjas de oxidación.

Cuadro 4.2 Requerimientos para plantas de zanjas de oxidación

Tipo y Flujo (mgd)	Trabajo (hombre- días/hr)	Potencia eléctrica (1000 kwh/año)
Remoción y nitrificación		
0.05	226	46
0.10	257	72
1.00	388	280
5.00	1911	2000
10.00	3818	3700
Desnitrificación		
0.05	310	37
0.10	340	58
0.50	490	224
1.00	630	400
5.00	2030	1600
10.00	3930	2960

Cuadro 4.3 Condiciones de funcionamiento en plantas de zanjas de oxidación

	Efluente (mg/l)			Remoción (%)		
	Invierno	Verano	Total	Invierno	Verano	Total
DBO₅						
Alto	55	34	41	87	86	87
Medio	15.2	1.2	12.3	92	94	93
Bajo	1.9	1.0	1.5	99	99	99
Sólidos suspendidos						
Alto	26.6	19.4	22.4	81	82	82
Medio	13.6	9.3	10.5	93	94	94
Bajo	3.1	1.9	2.4	98	98	98
Nitrógeno total						
Alto	10	6.6	8.1	55	61	57
Bajo			3.0			72
Nitrógeno amoniaco						
Alto	7.2	1.03	3.3	81	97	91
Medio	3.8	0.6	1.8	90	98	99
Bajo	0.4	0.1	0.3	98	99	99
Nitrógeno en nitratos						
Alto	29	33	31			
Medio	12.5	15.1	14.1			
Bajo	5.6	4.5	5.0			

Cuadro 4.4 Confianza de operación en las plantas de zanjas de oxidación

Porcentaje de tiempo que se requiere para menor concentración en el efluente

	10 mg/l			20 mg/l			30 mg/l		
	SST	DBO ₅	Nitrógeno total	SST	DBO ₅	Nitrógeno total	SST	DBO ₅	Nitrógeno total
Mejor	99	99		99	99		99	99	
Regular	65	65	40	85	90	69	94	96	88
Peor	25	25		55	55		80	72	

4.2. Mantenimiento preventivo

Los programas de mantenimiento preventivo ayudan al personal de operación a tener el equipo en condiciones satisfactorias de operación, y ayudan a detectar detalles operativos antes de que se conviertan en problemas de operación.

En general se cree que las obras civiles no requieren de atención después de su construcción, olvidando que para alcanzar la vida útil propuesta de las estructuras, se les debe dar un mantenimiento constante, sobretodo cuando están expuestas a condiciones ambientales adversas como las que caracterizan a una planta de tratamiento de agua residual.

Debido a la importancia que tienen las estructuras, es conveniente que se conserven en las instalaciones un juego de planos y especificaciones de construcción y equipamiento, con el fin de realizar el mantenimiento preventivo conforme a las normas originales; y que en el manual de operación y mantenimiento se incluyan aspectos relativos a su obra física como:

- ◆ Procedimiento para renivelar tanques de concreto y estructuras vertedoras.
- ◆ Procedimiento para vaciar y llenar tanques, incluyendo la operación de sistemas de subdrenaje, cuando existan.
- ◆ Control de la subpresión.
- ◆ Reposición de recubrimientos para protección de concreto y elementos mecánicos.
- ◆ Reparación de fugas en tuberías y estructuras de concreto.
- ◆ Reparación de geomembranas, y grietas en concreto hidráulico y asfáltico.
- ◆ Procedimiento de operación de cimentaciones.

El programa de mantenimiento, puede hacerse usando un pequeño pizarrón. Este pizarrón tiene en el lado izquierdo compartimientos de mica, donde se coloca una tarjeta con el equipo mayor y todo el equipo que éste contiene viene en tarjetas debajo de la tarjeta de tipo mayor. A cada equipo le corresponde un renglón, cada equipo de la planta de tratamiento se coloca del lado izquierdo en tarjetas.

El lado derecho del pizarrón es un calendario anual y viene presentado en meses, semanas y días, con el fin de programar mantenimiento diario, semanal, mensual, trimestral, semestral y anual o como marque el equipo. La manera de saber cuándo hay que efectuar un mantenimiento, se marca con alfileres con cabezas de color o algo similar (pueden ser imanes pintados, fichas, etc.) cada color debe presentar cierto periodo de mantenimiento, por ejemplo: el color azul puede ser mantenimiento mensual, el rojo semanal, el negro anual, y así sucesivamente se marca todo el pizarrón con estos colores y se van llenando tarjetas de registro para saber cuándo se hizo el último mantenimiento o reparación.

Cuando en el pizarrón de mantenimiento hay un color para una fecha dada que indica que hay que dar mantenimiento a un equipo determinado, entonces se toma la tarjeta y se lee en ella donde se encuentra el manual de instrucciones de servicio, el volumen, y libro o carpeta.

El jefe de mantenimiento, entonces da las instrucciones a su gente acerca del manual, para que ellos sigan las instrucciones de servicio del manual del fabricante.

En la actualidad, toda la información del equipo es introducida a computadoras y consultando éstas diariamente, nos indican a cuál equipo se le dará mantenimiento y a cuál ya se le dio. Qué se requiere hacer, tipo de aceite, cambio de piezas, etcétera.

Registro de mantenimiento

Una falla que ocurre con frecuencia en los programas de mantenimiento, es el olvido a registrar el trabajo o reparación después de realizado. Conforme pasan los días, semanas y meses, el programa de mantenimiento preventivo se pierde en el tumulto de actividades de reparaciones diarias, y se pierde el control.

La única manera de mantener el control de mantenimiento es llevando registros, cualquiera que sea el sistema de registro usado, se debe llevar al día todas las actividades efectuadas.

También se debe tener a la mano la dirección y el teléfono del fabricante del equipo.

Actividades importantes a considerar en el mantenimiento del equipo:

- Siempre lubricar el equipo en los intervalos recomendados por el fabricante, usando los lubricantes indicados, cerciorarse de no lubricar en exceso.
- Limpiar todo el equipo y estructuras regularmente. Remover el material flotante y espuma.
- Inspeccionar y corregir cualquier ruido, fugas, manómetros, bandas y dispositivos de seguridad.
- Drenar el clarificador cada año, si hay indicios de partes oxidadas cepillarlas y pintarlas con pintura epóxica. Revisar que el tanque no tenga cuarteaduras.
- Mantener los vertedores nivelados para prevenir corto circuito.

Aireadores superficiales.

El mantenimiento que se requiere para los aireadores mecánicos superficiales es mínimo. La simplicidad de diseño de la unidad elimina la necesidad de programas extensivos de mantenimiento preventivo.

Los diferentes tipos y tamaños de los motores que se usan para los aireadores mecánicos superficiales no se lubrican de la misma manera, debido a que los moldes y técnicas de producción usadas por los diferentes fabricantes de motores no son las mismas.

Los motores de 1 H.P hasta 2.5 H.P deben lubricarse cada 6 meses.

Válvulas.

a) Válvula de compuerta.

El mantenimiento más común requerido en las válvulas de compuerta, es su lubricación periódica, pintarlas para protegerlas contra corrosión y cambiarles el empaque de vástago en la caja. Las siguientes actividades son las principales en el mantenimiento de válvulas:

- Cambiar empaques.
- Operar la válvula frecuentemente (abrir y cerrar completamente por lo menos cada mes para evitar que se peguen).
- Limpiar la rosca del vástago y lubricar con grasa, tanto como sea necesario.
- Fugas en válvulas.

b) Válvula check

El mantenimiento es mínimo y se resume a las siguientes actividades:

- Inspección de la cara del disco de vaivén, abrir la válvula y observar la condición de la cara del disco del vaivén, el cual puede estar recubierto con hules, piel o sin recubrimiento. Si el metal es el anillo del asiento, está escoriado, pulir el disco con lija fina para metal.
- Revisar el uso del perno que sostiene al disco del vaivén, ya que el disco debe ser sostenido por este perno para evitar fugas.

Vertedores

En realidad el mantenimiento de vertedores es muy simple, consiste en revisar que el mecanismo se encuentre lubricado (su lubricación es idéntica a la de una válvula de compuerta). También requiere limpieza y pintura para protegerlo contra la corrosión del ambiente.

Clarificadores

El siguiente punto ayudará al operador a mantener una operación apropiada:

Elaborar un archivo de todo el mantenimiento del clarificador para referencias futuras. El archivo debe tener las tarjetas de reparación con la fecha y con la descripción del trabajo realizado y las fechas de lubricación.

Mantenimiento

El operador de una planta de tratamiento tiene muchas actividades, la mayoría tiene que ver con la operación eficiente de la planta. Un operador tiene la responsabilidad de descargar un efluente que cumpla con los requerimientos establecidos por las condiciones particulares de descarga.

Otra actividad que tiene el operador es el mantenimiento de la planta tal que se encuentre en óptimas condiciones de operación, para lo cual se requiere de un buen programa de mantenimiento. El programa de mantenimiento cubrirá todo, desde el equipo mecánico, hasta el cuidado de las estructuras, edificios y jardines.

El mantenimiento mecánico es de primera importancia. El equipo tiene que ser mantenido en buenas condiciones de operación para poder alcanzar su óptima eficiencia. Los fabricantes de equipo proporcionan información sobre el mantenimiento mecánico de sus equipos. El operador debe ponerse en contacto con el fabricante o el representante local para cualquier duda o aclaración. Deben seguirse cuidadosamente las instrucciones cuando se realiza el mantenimiento de un equipo. Reconocer cuando no pueda efectuarse algún mantenimiento o reparación y solicitar ayuda.

Para llevar a cabo con éxito un programa de mantenimiento, los supervisores tienen que saber la necesidad y los beneficios que proporciona el equipo que está en operación continua. Cualquier equipo que trabaje mal va a afectar la calidad del efluente y los costos de reparación serán muy altos debido a un mantenimiento deficiente.

Equipo sujeto a mantenimiento.

Un programa bien claro y definido sobre mantenimiento preventivo es una parte esencial en las operaciones de la planta. **Un mantenimiento preventivo asegurará y alargará la vida del equipo**, y además dicho equipo operará mejor que aquel que tiene poco mantenimiento.

4.3. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento es muy común como consecuencia de no llevar a cabo programa alguno, y es muy costoso.

Consiste en olvidarse del equipo por completo una vez que ha sido comprado o reparado. Cuando ha sido comprado es muy difícil que llegue a fallar en corto tiempo, no se le da la atención que requiere (revisiones constantes, pruebas fuera de servicio normal de operación, etc.); cuando se efectúa alguna reparación, con mayor razón se desatiende debido a que se cree que como ya funciona aparentemente bien no requiere de revisiones constantes.

En algunas ocasiones se llega hasta condiciones de realizar un mantenimiento correctivo de emergencia. Estas circunstancias se presentan cuando se trabaja con el equipo justo sin contar con equipo de reserva para casos extremos, por lo cual la planta tendría que dejar de operar durante el tiempo en que se repare el equipo, lo cual no sería adecuado ni funcional.

Reparación de las estructuras

Para realizar la evaluación sobre los daños de una estructura se requiere determinar la causa que los originó, ya que si el deterioro es provocado por un fenómeno continuo, deben tomarse las medidas necesarias para tratar esta acción.

Los daños pueden ser resultado de mal diseño, mano de obra deficiente, juntas mal tratadas, acción mecánica abrasiva, cavitación o erosión por efectos hidráulicos, ataque químico, corrosión de elementos metálicos ahogados en el concreto o exposición prolongada a un medio ambiente desfavorable.

Después de conocer las causas, se debe retirar todo el concreto deteriorado hasta llegar a concreto sano para poder evaluar la magnitud del daño en función de la siguiente clasificación:

- a) **Tipo I.** Sólo llega al recubrimiento del acero de refuerzo y es reparado por razones de acabado.
- b) **Tipo II.** Este defecto va más allá del recubrimiento del acero de refuerzo, pero no excede de un tercio del peralte o espesor de la estructura de concreto.
- c) **Tipo III.** La profundidad del defecto va más allá del tercio del espesor mínimo del elemento.

Los defectos tipo I y II no requieren ser registrados en bitácora si existen menos de dos defectos en 9 m^2 , por lo que sólo se verifica su reparación. Los defectos tipo III deben registrarse en bitácora para tener un seguimiento de su comportamiento.

Una vez que se conoce la causa y magnitud del daño, se escoge el tipo y extensión de la reparación. Este paso es el más difícil, debido a que está en función del criterio del ingeniero y del conocimiento de las condiciones de la estructura.

La selección de la técnica y el material para una reparación dependen de la extensión del daño, de la función de la estructura, de la disponibilidad del equipo, de la mano de obra especializada, de la adversidad del medio ambiente, de la importancia de la apariencia y de los recursos económicos disponibles para su realización.

Si el daño fue ocasionado por la exposición moderada de lo que desde un principio era de mala calidad, entonces su reemplazo por material de buena calidad debe proporcionar resultados satisfactorios.

Por el contrario, si el material dañado era de buena calidad, el problema es más complejo y para la reparación se requiere un material con excelentes características o modificar las condiciones de exposición.

Medidas preliminares para efectuar reparaciones

Todo concreto defectuoso se debe quitar hasta que exista certeza absoluta de haber llegado a concreto sano, e incluso puede ser necesario extraer más concreto para dar forma adecuada a la cavidad.

Es recomendable realizar cortes con sierra alrededor del área por reparar, ya que de esta manera se eliminan los bordes irregulares y, si es posible, los cortes deben hacerse con una ligera inclinación de manera que el área de la base de reparación sea mayor que su superficie, para producir una acción de cuña.

Después se debe limpiar la superficie del concreto, removiendo todas las partículas sueltas, compuestos de curado y cualquier otro material ajeno.

Los métodos de limpieza dependen del tamaño de la reparación y de la naturaleza de los materiales extraños. Los más empleados son los siguientes:

Aire comprimido, cepillo de alambre, chorro de arena y pulido. El área a reparar y una área de al menos 15 cm alrededor de la misma deben humedecerse a fin de evitar la absorción del agua del mortero de reparación. Una vez que el agua de la superficie se ha evaporado, se debe cepillar la superficie y cubrir con una capa de agente adhesivo que establezca la unión entre el concreto o mortero fresco y el concreto base.

El agente adhesivo puede ser:

- a) Mortero. Formado por una parte de cemento por cada parte de arena fina que pase por la malla No. 30 y agua hasta que tenga una consistencia espesa, es importante que se sigan procedimientos constructivos adecuados para obtener una buena adherencia. No es aconsejable utilizar morteros expansivos ni morteros que contengan hierro en sus agregados, ya que pueden provocar agrietamientos.
- b) Compuesto hecho a base de resina epóxica. En la actualidad se usa mucho este producto, ya que desarrolla una unión más resistente a la compresión, tensión y esfuerzos cortantes que el concreto. Este material es impermeable y tiene gran resistencia a los productos químicos y solventes. Sin embargo, las resinas epóxicas presentan algunas desventajas que incluyen: alto costo, toxicidad y corta vida una vez preparadas.
- c) Productos a base de látex que no sean reemulsificables al exponerse a humedad. Entre ellos se encuentran los acetatos de polivinilo, el estirenobutadieno y los acrílicos. Estos compuestos presentan buena adherencia y resistencia al agrietamiento, se aplican como una capa de adherencia o añadidos a la mezcla del concreto.

Al terminar la colocación del agente adhesivo se debe efectuar la reparación propiamente dicha, dejando que la superficie reparada seque por una hora para permitir la contracción del concreto antes de darle el acabado final e iniciar el curado de la misma.

Tipos de reparaciones

La reparación de daños en las superficies del concreto (cuadro 4.5) deben hacerse por alguno de los siguientes métodos:

a) **Reemplazo del concreto.** Consiste en sustituir el concreto defectuoso por otro con el mismo proporcionamiento y con la consistencia adecuada para que se convierta en una pieza integral del concreto base, siendo común el uso de cimbras para reparaciones extensas en superficies verticales. La sustitución del concreto es aconsejable cuando: la separación del mismo exceda su costo de sustitución, no se pueda alcanzar una reparación satisfactoria y durable, o en caso de fuego severo. Determinar primero el costo de sustitución del concreto sirve como guía para evaluar todas las técnicas posibles de reparación.

b) **Superficie abierta.** Se utiliza para reparar superficies horizontales, consiste en colocar mortero directamente sobre la cavidad. El material debe ser vibrado, distribuido y enrasado de tal manera que el mortero se mantenga plano y nivelado respecto al resto del concreto. Este es el método más sencillo y económico que existe.

c) **Concreto lanzado.** Se utiliza ampliamente en reparaciones de superficies horizontales y verticales que no tengan mucho refuerzo, y es uno de los métodos más aceptados y económicos, ya que tiene excelente adherencia con concreto viejo y nuevo, no requiere cimbra y no desarrolla deflexiones. En esta técnica el concreto es rociado por medio de aire comprimido de dos maneras: por vía seca o por vía húmeda. En la técnica por vía seca, se agrega el agua a la mezcla seca en la misma boquilla donde sale el concreto; mientras que en la técnica por vía húmeda, los materiales se colocan en la manguera por donde llegan hasta la boquilla de salida ya mezclados con agua.

d) **Compactación en seco.** Consiste en compactar en el lugar varias capas delgadas de una mezcla muy rígida, con una resistencia igual o mayor a la del concreto base y que no presente contracciones. El método no requiere de ningún equipo especial, pero el personal que aplique las capas debe estar bien entrenado en realizar este tipo de reparaciones, para obtener buenos resultados. Se emplea para rellenar cavidades que tengan una relación alta de profundidad con respecto a su área, como los huecos dejados por los separadores de cimbras.

e) **Concreto de agregado precolocado.** Aquí se llena el área por reparar con agregados de granulometría discontinua, y los vacíos entre las partículas de los agregados se inundan con agua, después el agua es desplazada por mortero bombeado en el sitio. Este método tiene la ventaja de que se adhiere bien al concreto existente, tiene baja contracción y buen funcionamiento en reparaciones bajo el agua.

- f) **Relleno de agujeros desde la superficie.** Se utiliza para reparar miembros delgados de las estructuras de concreto, y consiste en taladrar algunos agujeros desde la superficie hasta el vacío que se encontró en la parte inferior del elemento. Luego se pone una cimbra y se coloca el concreto vaciándolo a través de los agujeros. Se recomienda el empleo de una especie de embudo para poner el concreto y lograr una presión de bombeo por gravedad que facilite rellenar la cavidad.
- g) **Pico de pájaro.** Se utiliza para rellenar cavidades con longitud vertical pequeña en miembros verticales que no pueden rellenarse desde la cara superior. Consiste en cimbrar la cavidad desde el fondo hasta unos 5 cm debajo de su borde superior, y agregar una sección en cuña (pico de pájaro) desde la parte superior de la cimbra hacia fuera de la superficie terminada, en ángulo de 45°. Esto forma un depósito donde se coloca el mortero para que entre y rellene la cavidad.
- h) **Encamisado de elementos.** Consiste en aplicar y sujetar un material sobre el concreto, para que le proporcione las características necesarias de funcionamiento y restablezca la estabilidad estructural. Los materiales usados son metal, plástico y concreto; y los elementos de envoltura se pueden sujetar al concreto por medio de pernos, tornillos, clavos o adhesivos; por adherencia con el concreto existente, o por gravedad.
- i) **Calafateado.** Consiste en rellenar cavidades comparativamente estrechas con un compuesto plástico que sella las discontinuidades. El calafateado es la mejor solución cuando se desarrollan grietas activas en un elemento de concreto y su sustitución no es posible.
- j) **Punteado.** Es muy usado en la reparación de grietas grandes para restablecer la continuidad estructural a través de ellas. En este tipo de reparación, "los perros de punto" (ligaduras de metal en forma de U con piernas cortas) se instalan a través de la grieta en agujeros taladrados a ambos lados de la misma, por lo que la grieta se sella colocando las piernas de los perros dentro de los agujeros, anclándolos con una lechada que no se contraiga. Los perros tienen longitudes variables y se colocan a lo largo de diferentes planos para distribuir la tensión en un área mayor.
- k) **Tensado.** Se emplea para reforzar un área de concreto y para cerrar grietas formadas por tensión. La técnica emplea cables o barras convencionales tensados para aplicar una fuerza de compresión que cierra las grietas e incrementa la capacidad estructural. Este método tiene la desventaja de que requiere ser diseñado y ejecutado por un ingeniero experimentado.
- l) **Agua fuertemente ácida.** Se emplea para quitar manchas y eflorescencia al usar una solución al 10 % de ácido clorhídrico. La aplicación de la solución ácida debe acompañarse por un cepillado vigoroso, y una vez alcanzado el grado de limpieza deseado, la solución debe quitarse con chorro de agua aplicado sobre la superficie. Los operadores deben poseer ropa protectora, botas y guantes de seguridad durante este trabajo. Con frecuencia la aplicación más común de éste método es junto con otras técnicas de reparación para alcanzar una adherencia duradera, ya que retira los materiales extraños que podrían impedir la adherencia del material de reparación con el concreto.

m) **Recubrimiento.** Son materiales de consistencia líquida o plástica que se aplican sobre el concreto para: reparar problemas superficiales (astillamiento, intemperismo, escamas), evitar filtraciones de agua, proteger al concreto de ambientes hostiles, o añadir características que no se tienen en el concreto existente, ya sea de forma permanente o temporal, requiriéndose en éste caso aplicaciones periódicas. Los recubrimientos más utilizados son: resinas epóxicas, látex, compuestos bituminosos, aceite de linaza, compuestos de fluosilicato y preparaciones de silicio. Estos materiales penetran parcialmente en el concreto y proporcionan una película delgada sobre su superficie, por lo que tiene ventaja de no elevar apreciablemente el nivel del elemento al cual se aplica.

n) **Frotación con sacos.** Sirve para mejorar la apariencia de la superficie del concreto que está manchada o tiene agujeros pequeños. Consiste en rociar el concreto, después se aplica el mortero húmedo con un frotador de hule o una pieza de yute en la superficie y dentro de los vacíos. Se añade cemento blanco al mortero para igualar el color del concreto.

Cuadro 4.5 Daños que se presentan en las estructuras de concreto y sus técnicas de reparación

Daño en el concreto	Técnica de reparación	Materiales de reparación
Expansión alcali-agregado	Recubrimiento, encamisado, Reemplazo del concreto.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, aceite de linaza, concreto de cemento portland.
Cavitación	Recubrimiento, reemplazo de concreto, encamisado, concreto lanzado.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero.
Grietas activas	Calafateado, encamisado, punteado, tensado.	Selladores elásticos, elementos de envoltura.
Grietas inactivas	Agua fuertemente ácida, calafateado, recubrimiento, reemplazo de concreto, encamisado, concreto lanzarlo, compactación en seco, superficie abierta, chorro de arena, tensado.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero, empaque seco, selladores elásticos, morteros expandidos, elementos de encamisado, lechada.
Eflorescencia	Agua fuertemente ácida, reemplazo de concreto.	Concreto, lechada, mortero.
Formación de costras	Recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, concreto lanzado.	Epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero, morteros expandidos, lechada, mezcla rígida.
Agujeros pequeños	Agua fuertemente ácida, recubrimiento, reemplazo de concreto, compactación en seco, frotación con sacos.	Epóxicas, concreto modificado con látex, mortero, lechada, mezcla rígida.
Agujeros grandes	Recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, concreto lanzado, relleno de agujeros desde la superficie, pico de pájaro.	Epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero, morteros expandidos.
Permeabilidad	Recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, concreto lanzado, encamisado.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero, morteros expandidos, lechada, aceite de linaza, bentonita.

4.4. Conservación

En la conservación de los componentes de la planta, el programa de mantenimiento establecido debe ser llevado a cabo con regularidad y eficiencia.

En los edificios el programa de mantenimiento dependerá de la edad, tipo y uso del edificio. En edificios nuevos se requiere revisar que todos los accesorios trabajen adecuadamente. Los edificios viejos requieren observaciones cuidadosas y una rápida atención por fugas, equipo descompuesto (aire acondicionado, calefacción, etc.) reposición de accesorios (lamparas, sanitarios, lavabos, etc.). Se tiene que dar atención a muchas cosas en edificios, tales como: sistema eléctrico, plomería, calefacción y refrigeración, ventilación, pisos, ventanas, azoteas, drenaje y alcantarillas, cisterna. Se debe realizar un chequeo regular de estas cosas para prevenir problemas futuros y altos costos.

En cada edificio de la planta revisar periódicamente escaleras, barandales de seguridad, plataformas, alumbrado adecuado, que no haya tubería tirada, insuficiente claro libre para pasar un camino determinado, alcantarillas destapadas.

Las áreas de almacén deben estar organizadas y limpias, los sanitarios deben encontrarse en perfectas condiciones de operación y muy limpios.

Todas las herramientas y el equipo de la planta deben ser mantenidos en un lugar apropiado.

Pisos, paredes y ventanas deben limpiarse regularmente.

En la conservación de tanques y canales, programar inspecciones durante periodos de bajo flujo. Cambiar flujos para revisar tanques. Todas las superficies de metal que están en contacto con el agua residual y expuestas a gases del agua residual, deben estar debidamente protegidas y con pintura especial, el recubrimiento debe realizarse cuando la inspección así lo indique. Alguna superficie en la cual se haya caído pintura, hay que limpiar con chorros de arena o con cepillo de alambre antes de aplicar alguna pintura. La pintura para proteger tanques o canales generalmente es de tipo asfáltica.

Los tanques y canales, deben ser drenados o vaciados para inspección por lo menos una sola vez al año. Cerciorarse que el nivel freático está lo suficientemente abajo, de tal manera que los tanques no flotarán con el agua del subsuelo cuando se lleve a cabo el vaciado de los tanques, o que se produzcan grietas por la presión del suelo.

“Una planta que se mantiene limpia y ordenada proporciona un buen ambiente de trabajo y seguridad.”

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Programa ante situaciones de emergencia

En cualquier planta de tratamiento es indispensable establecer un programa de respuesta ante situaciones de emergencia con el fin de otorgar seguridad al personal y al equipo, y que el sistema opere eficientemente para prevenir daños en el cuerpo receptor del efluente.

Para establecer una operación de emergencia, el personal que trabaja en la planta debe elaborar un plan de contingencia detallado, en el cual se recomienda tratar los siguientes puntos:

- ◆ Fallas del proceso y/o del equipo.
- ◆ Desastres naturales y accidentes.

Independientemente de la causa, al presentarse una situación de emergencia como primer paso se debe obtener la información esencial, luego debe analizarse la situación, y por último debe determinarse el curso de acción más apropiado y efectivo, teniendo en cuenta que la mejor manera de enfrentar los incidentes es: contando con equipo de emergencia en condiciones de operación y disponible, teniendo un plan de respuesta predeterminado, y que todo el personal esté familiarizado con los procedimientos y localización de los servicios de emergencia.

En el cuadro 4.6 se muestra una base general para desarrollar un plan de contingencia ante los desastres naturales y accidentes más comunes.

Cuadro 4.6 Programa de respuesta a emergencias durante desastres y accidentes

DESASTRE	EFEECTO	RESPUESTA
Inundación	a) Líneas eléctricas o equipos sumergidos. b) Acceso a la planta bloqueado. c) Riesgo de enfermedad por contacto con agua residual.	1) Notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Cortar la corriente de todas las líneas o equipos sumergido. 3) Desaguar el área (se puede usar una bomba portátil). 4) No entrar solo a áreas inundadas y sin revisar la presencia de gases o deficiencia de oxígeno. 5) Ventilar los lugares que se necesiten y usar equipo de seguridad. 6) Limpiar el área. 7) Evaluar los daños e iniciar su reparación.
Huracanes	a) Puertas, ventanas y cubiertas derribadas. b) Daño a los equipos exteriores. c) Acumulación de arena.	1) Notificar al responsable de la planta. 2) Dar atención médica a los heridos. 3) Mantener al personal alejado de las áreas dañadas. 4) Interrumpir la corriente eléctrica del equipo dañado. 5) Asegurar puertas, ventanas y objetos que pudieran caerse. 6) Proteger todos los equipos expuestos.

	Continuación cuadro (4.6)	
Incendio	a) Personal herido. b) Daño a las instalaciones	1) Llamar al departamento de bomberos y notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Evacuar al personal y equipo movable. 3) Usar extinguidores, hidrantes y mangueras para el control de fuego. 4) No usar agua en incendios eléctricos o por aceites. 5) Dar atención médica a los heridos.
Explosión	a) Incendio. b) Inundaciones. c) Pérdida de energía. d) Liberación de gas tóxico. e) Personal herido.	1) Notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Evacuar a todo el personal del área. 3) Poner fuera de servicio todos los equipos eléctricos de la planta. 4) Ventilar el área. 5) Dar atención médica a los heridos.
Sismo	a) Incendio. b) Pérdida de energía. c) Liberación de gas tóxico. d) Personal herido.	1) Notificar al superintendente de planta. 2) Evacuar a todo el personal del área. 3) Poner fuera de servicio todos los equipos eléctricos del área. 4) Ventilar el área. 5) Alejarse de las áreas de posible derrumbe. 6) Dar los primeros auxilios y asegurar atención médica a los heridos.

CAPÍTULO
5

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos propuestos para el presente trabajo, éstos se cumplieron, determinando lo siguiente:

1. Es muy importante tener conocimiento de los fundamentos del tratamiento biológico, ya que sus características y desempeño influirán directamente en el diseño.
2. Se deben conocer los principios del método propuesto, por las características particulares de cada método, y de esta manera tomar las decisiones correspondientes que sean acordes al sistema.
3. El tener conocimiento de las características particulares del proceso permitirá elegir la opción más conveniente de acuerdo al nivel de calidad del efluente que se desea.
4. La temperatura es un factor de gran importancia a considerar en el diseño del proceso de zanjas de oxidación, debido a que de ésta depende la velocidad de consumo de la DBO y en consecuencia la calidad del efluente.
5. Con la recirculación se logra equilibrar la carga orgánica (F/M) y controlar la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM).
6. El tiempo de residencia y la recirculación influyen de manera importante en el diseño de las zanjas de oxidación, ya que los parámetros restantes dependen de éstos valores.

Ventajas que presenta el proceso de zanjas de oxidación con respecto al proceso de lodos activados convencional:

7. Las instalaciones para la manipulación de lodos son muy pequeñas al compararlas con las que se necesitan en el proceso de lodos activados convencional.
8. El costo de operación es menor debido a que el proceso no requiere de tratamiento primario.
9. Requiere menor cantidad de sustrato.
10. Menor producción de lodos.

Desventaja:

11. El volumen del reactor es mayor que el requerido en el proceso de lodos activados convencional.

12. Las dimensiones y sección de las zanjas de oxidación dependen en gran parte del estudio de mecánica de suelos y de las características propias del aireador a utilizar.
13. Para elegir el tipo de aireador se recurre a los manuales de los fabricantes, analizando el más favorable en cuanto a: eficiencia de transferencia de oxígeno, círculo de influencia, potencia requerida y costo.
14. El diseño del clarificador secundario depende del uso del que son producto las aguas residuales a considerar.
15. Con un diseño adecuado y planeado se obtendrán beneficios en costos, durabilidad, eficiencia y seguridad.
16. Si se diseñan y manejan adecuadamente las zanjas de oxidación, no presentan problemas de olores y de esa forma pueden instalarse dentro de zonas habitadas.
17. Durante la construcción se debe tener especial atención en las condiciones de los materiales y en el proceso constructivo, ya que de esto dependerá la calidad de las estructuras.
18. Se debe de hacer una planeación de actividades en cuanto a secuencia y tiempo en que se llevarán a cabo, a través de un programa de obra para establecer el número de trabajadores y unidades de equipo que se requerirán.
19. Para lograr una eficiencia adecuada en cuanto a las actividades a realizar, se debe contratar mano de obra acorde al trabajo que se requiere, así como utilizar el equipo adecuado según el trabajo a realizar.
20. La construcción de las zanjas de oxidación es relativamente barata si las condiciones del suelo son favorables.
21. Los problemas operativos generalmente ocurren por falta de mantenimiento preventivo, debido a que se tiene la costumbre de dar mantenimiento hasta que falla el equipo, lo cual resulta contraproducente en cuanto a funcionabilidad, economía y seguridad.
22. La vulnerabilidad de los componentes y del sistema se reduce con la prueba del equipo de proceso, de reserva y de emergencia, la integración y ejecución de un programa de mantenimiento correctivo y la capacitación del personal para trabajar bajo el modo alternativo de operación del sistema.
23. La operación de este proceso de tratamiento es sencilla y económica en comparación con otros tipos de procesos, es apropiado en lugares que cuentan con grandes extensiones de terreno, debido a que las dimensiones de las zanjas son considerables.

BIBLIOGRAFÍA

Gordon Maskew Fair, John Charles Geyer, Daniel Alexander Okun
Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales
Limusa, 1981.

W. A. Hardenberg, Edward B. Rodie
Ingeniería sanitaria
Continental S.A., 1979.

Rubens Sette Ramalho
Tratamiento de aguas residuales
Reverté S.A., Barcelona, 1993.

Escuela mexicana de arquitectura Universidad La Salle
Materiales y procedimientos de construcción, Tomo 1
Diana, 1979.

Rafael Aburto Valdes, Carlos M. Chavarri Maldonado
Movimiento de tierras, Tomo 1
División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, Facultad de Ingeniería, UNAM.

R. L. Peurifoy
Métodos, planeación y equipos de construcción
Diana, 1982.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
"Problemas de reparación de concreto: causas y soluciones"
Revista Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto Vol. 8 No. 45, julio- agosto 1970.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
Concrete Repair Digest "Guía para la colocación de materiales de reparación"
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México D.F., 1996.

Metcalf y Eddy
Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 1
Mc. Graw Hill, U.S.A., 1996.

Trigos Suarez José Luis
Procedimientos para la reparación de estructuras dañadas
Revista Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto Vol. 23 No.176, diciembre-enero 1970.

Departamento del Distrito Federal
Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones
Gaceta oficial del Distrito Federal, 1995.

CEMEX
Manual del constructor

Reglamento de construcciones para el Distrito Federal
Olguín S.A de C.V., Segunda edición 1996

Carlos M. Chavarri Maldonado
Breve descripción del equipo usual en construcción
División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Bagaria Blanxart
Abastecimiento de agua y alcantarillado
Gustavo Gili, 1980.

ebbutt
Fundamentos de control de la calidad del agua
rillas

ikkel G. Mandt, Bruce A. Bell
Oxidation Ditches in Wastewater Treatment
An Arbor Science, 1982.