

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE DESECHO DOMESTICO
PARA UTILIZARSE COMO AGUA DE ENFRIAMIENTO
EN CENTRALES TERMOELECTRICAS

Marcos Héctor Hernández Delgado

INGENIERO QUIMICO
1981



DEPTO. DE PAGANTES
EXAMENES INSTITUCIONALES
FAC. DE QUIMICA



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.

CONTENIDO

	PAG.
CAPITULO PRIMERO	1
Breves consideraciones sobre la conveniencia de utilizar el agua de desecho doméstico como fluido de enfriamiento en comparación con las otras fuentes naturales de abastecimiento.	
CAPITULO SEGUNDO	3
Requerimientos de pureza del agua de enfriamiento.	
1. Tratamientos para las aguas de enfriamiento.	
2. Análisis de control en aguas de enfriamiento.	
CAPITULO TERCERO	16
Origen de las aguas negras.	
1. Composición de las aguas negras	
CAPITULO CUARTO	21
1. Tratamiento preliminar.	
2. Tratamiento primario	
3. Tratamiento químico	
4. Degradación bioquímica (aeración)	
5. Lodos activados	
6. Tratamiento secundario	
7. Operación de plantas de lodos activados de tipo convencional.	
8. Problemas principales en una planta de lodos activados.	

	PAG.
9. Otros tratamientos de aguas negras	
CAPITULO QUINTO	67
Cloración de las aguas negras	
1. Propósitos de la cloración	
2. Reacciones del cloro con las aguas negras	
3. Riesgos en el manejo del cloro	
CAPITULO SEXTO	71
Clasificación y tratamiento de los lodos	
1. Espesamiento	
2. Digestión	
3. Secado sobre lecho de arena	
4. Acondicionamiento químico	
5. Elutriación	
6. Filtración al vacío	
7. Secado por calentamiento	
8. Incineración	
9. Oxidación húmeda	
CAPITULO SEPTIMO	80
Gases en la digestión de los lodos	
1. Utilización de los gases	
2. Seguridad en el manejo de los gases de los lodos	
CAPITULO OCTAVO	84
Desechos industriales	
1. Desechos sólidos	
2. Desechos líquidos	
3. Desechos gaseosos	

	PAG.
CAPITULO NOVENO	86
Planta de tratamiento de aguas negras	
1. Diagrama de flujo	
2. Descripción del equipo	
3. Descripción del proceso	
CAPITULO DECIMO	95
Muestreo de las aguas negras	
1. Análisis de control en una planta de tratamiento de aguas negras	
CAPITULO DECIMO PRIMERO	112
Mantenimiento de la planta de aguas negras	
CAPITULO DECIMO SEGUNDO	115
Consideraciones sobre seguridad e higiene	
1. Daños físicos	
2. Infecciones corporales	
3. Intoxicaciones por gases nocivos	
4. Riesgos radiológicos	
COMENTARIOS FINALES	123
BIBLIOGRAFIA	124

CAPITULO I

Breves consideraciones sobre la conveniencia de utilizar el agua de desecho doméstico como fluido de enfriamiento en comparación con las otras fuentes naturales de abastecimiento.

Al inicio de cualquier proyecto de una planta termoeléctrica, las consideraciones fundamentales sobre su localización, además de la consideración general de reforzamiento del sistema eléctrico nacional en las regiones o zonas del país en donde el fluido eléctrico escasea, están las consideraciones sobre la localización y disponibilidad de los energéticos y el agua ya que éstos constituyen los requerimientos básicos para la operación de la planta. Ahora bien, una vez subsanados los dos primeros puntos, se prefiere ubicarla en zonas donde exista suficiente agua, ya sea superficial, (lago, laguna o ríos), subterránea (pozos profundos) o agua de mar. En caso de que se disponga de agua de mar la conveniencia de usarla para el sistema de enfriamiento resulta obvia al tener en cuenta que se trata de una fuente inagotable y que por lo tanto el sistema recomendado será de un solo paso con el consiguiente ahorro en el tratamiento de la misma. Sin embargo, cuando el abastecimiento del que se puede echar mano es un lago, laguna, río o agua subterránea, el planteamiento no debiera únicamente basarse en la disponibilidad, confiabilidad y costo de construcción y operación para la explotación de la fuente, sino se considera debiera vislumbrarse la posibilidad de reutilizar las aguas de desecho doméstico para estos fines, teniendo en cuenta que cada día crecen las necesidades del uso del agua con fines domésticos, recreativos ornamentales, agrícolas e industriales y que dicho crecimiento está en función directa con el aumento poblacional y con el desarrollo industrial y agrícola, es decir, las necesidades de agua crecen con el desarrollo de un país.

Al ir aumentando gradualmente los volúmenes que se suministran a una comunidad, los volúmenes de agua de desecho generados por la misma crecen en la misma proporción, ahora bien tomando en cuenta que la velocidad de explotación de nuestros recursos hidrológicos naturales camina a un ritmo mucho mayor de lo que la naturaleza es capaz de regenerar en el proceso de auto-purificación, se pone en peligro el equilibrio hidrológico natural.

El problema de la escasez de agua dulce es generalizado en el mundo entero y tenderá a agudizarse por las razones expuestas anteriormente, en algunos países ya se han dictado medidas que restringen el uso del agua dulce o potable para fines agrícolas e industriales, sin embargo considero que la medida más recomendable y además apremiante es el de cooperar con la naturaleza acelerando los procesos de autopurificación de agua que realiza para salvaguardar el equilibrio, y reducir los volúmenes de explotación de los abastecimientos naturales, al reutilizar las ya explotadas para fines agrícolas e industriales, ya que en estos usos la calidad requerida no es alta y los tratamientos que se procuran al agua de desecho, ya sea por filtros de escurrimento o todos activados provee

de una calidad de agua satisfactoria para dichos fines y no se justifica el empleo del agua con la que se suministra a una población, la cual es de mejor calidad puesto que se trata para el logro de su potabilización encareciéndola. Debido a todas estas razones es que debiera ponderarse su uso a actividades domésticas, ornamentales y de recreo únicamente y para las actividades industriales de enfriamiento y agrícolas debiera confinarse en lo posible, el reúso de éstas, después de su paso por las comunidades o poblaciones. La utilización del agua negra tratada en el riego de ciertos cultivos ha reportado ser ventajosa al proveer de sustancias minerales y orgánicas que abonan las tierras mejorando los cultivos, en los sistemas de enfriamiento resulta ser adecuada también, siempre y cuando se controle adecuadamente el proceso de degradación bioquímica de la materia orgánica, para que la reducción de sólidos sea eficiente y evitar así problemas de ensuciamiento de las paredes de dichos sistemas, además con una buena cloración se evita el crecimiento de materia vegetal lo que podría pensarse como factores limitantes al ser indeseables en estos sistemas de transferencia de calor.

CAPITULO II

REQUERIMIENTOS DE PUREZA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Es obvio que entre más pura se suministre el agua al sistema de enfriamiento, menos problemas ocurrirán en el mismo. El tratamiento requerido y la magnitud del mismo estará en función del grado de contaminación del suministro y de la calidad mínima esperada después del tratamiento. (La calidad del agua así obtenida tendrá que ser congruente con la mínima calidad requerida en el diseño del sistema de enfriamiento). Estos tratamientos siempre tenderán a eliminar o por lo menos reducir todos aquellos compuestos orgánicos o inorgánicos que forman depósitos o que imprimen características corrosivas al agua en cuestión. Los primeros actuarán como aislantes y por lo tanto dificultarán la transferencia de calor (objeto inherente del sistema) reduciendo la eficiencia y produciendo puntos calientes que provocan la falla mecánica del material; los segundos también contribuyen al acortamiento de la vida útil del material de construcción de los cambiadores de calor al desgastarlos gradualmente.

El requerimiento o especificación en la calidad del agua y por ende del tratamiento usado, depende de la fuente de suministro que determina las características del agua con la que se cuenta, también dependerá del tipo de sistema de enfriamiento disponible, ya que si se cuenta con un sistema abierto de un solo paso, el cual se usa ampliamente en localidades en donde hay abundancia de agua y la fuente de suministro es un río, lago, laguna o mar, el tratamiento debe ser lo más barato posible ya que el agua únicamente se usará una sola vez. Si se trata de un sistema abierto con recirculación, en donde el agua se va a recircular por el sistema de enfriamiento en forma constante y sólo se repondrá el agua debido a la evaporación en la torre de enfriamiento y la pérdida en las purgas, operación que se realiza para mantener el contenido de sólidos dentro de límites aceptables, el costo del tratamiento del agua de este sistema tendrá que ser mayor. Ahora bien, si se trata de un sistema de circulación en circuito cerrado, sistema que se emplea para el enfriamiento de máquinas de combustión interna, el agua recirculada deberá tratarse cada vez que se inicie el ciclo, y lo mismo se hace con cualquier cantidad de agua de compensación que se necesite.

TRATAMIENTOS PARA LAS AGUAS DE ENFRIAMIENTO

El agua de enfriamiento puede tratarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- a) Coagulación, floculación, asentamiento y/o filtración.
- b) Sedimentación, aeración, (odos activados cloración, en caso de utilizar aguas de desecho doméstico).
- c) Proceso cal-carbonato en frío.
- d) Proceso cal-carbonato en caliente.
- e) Intercambio catiónico en ciclo sídico.
- f) Desmineralización.
- g) Acidificación.

También se pueden usar combinaciones de los métodos antes mencionados. Actualmente además de estos métodos de tratamiento se han desarrollado compuestos varios que se dosifican en forma periódica y regulan a los sistemas de enfriamiento para controlar depósitos, crecimientos vegetales tales como hongos, musgos, algas, etc. y controladores de corrosión. Entre estos se cuentan los dispersantes orgánicos e inorgánicos, los compuestos para inhibir la corrosión, aquéllos que suprimen la espuma (antiespumantes) los que forman sales más solubles, etc. (acidificación con H_2SO_4) cuya periodicidad de dosificación se basa en los estudios de los análisis que para tal efecto se realizan y que varían de planta a planta y de época en época.

La decisión sobre el empleo de uno u otro método de tratamiento o la combinación adecuada de éstos dependerá de las impurezas que contenga el agua de suministro y de la calidad final requerida, que a su vez estará regida por consideraciones de orden económico. Para este punto será necesario confrontar el costo de la inversión necesaria para la obtención de una agua de mayor o menor calidad (pureza) con respecto a los costos de operación, los cuales estarán supeditados a estas características de pureza del agua que se utilice. Ya que el utilizar una agua de mayor o menor pureza determinará los períodos requeridos para efectuar limpiezas en todo el equipo de enfriamiento (condensador y cambiadores de calor de servicios auxiliares, etc.) con el consecuente costo por falta de producción al tener que poner el equipo fuera de servicio y el costo por mano de obra, agregado a dicha limpieza, además influirá en forma decisiva en el acortamiento o alargamiento de la vida útil del equipo, determinará la frecuencia y duración de las purgas aumentando el costo por la necesidad de mayores volúmenes de agua de repuesto y determinará también la frecuencia y el tipo de tratamiento químico a utilizar.

Es por ello que es de vital importancia lograr este estudio en la forma más amplia y precisa posible.

ANÁLISIS DE CONTROL EN AGUAS DE ENFRIAMIENTO

Las pruebas que generalmente se llevan a cabo en el agua de recirculación son las siguientes:

Alcalinidad a la fenolftaleína y al anaranjado de metilo, pero es más importante la segunda.

Determinación de cloruros.

Determinación de calcio.

Determinación de sílice.

Determinación de pH

Determinación de cloro libre.

Determinación de conductividad.

Y en algunas plantas también se determina la dureza total.

En todas aquellas en donde se dosifican inhibidores de corrosión o coagulantes, es necesario determinarlos junto con los análisis arriba mencionados.

ALCALINIDAD (método volumétrico)

El valor de la alcalinidad es equivalente a la concentración de base (expresada en ppm como CaCO_3) titulable con un ácido fuerte (clorhídrico o sulfúrico) hasta el punto de equivalencia dado por el vire de los indicadores fenolftaleína (alcalinidad a la fenolftaleína) y naranja de metilo (alcalinidad total).

Este método es aplicable para determinar la alcalinidad de aguas industriales, exceptuando aquellas altamente contaminadas que impiden apreciar el punto final de la titulación.

Base del Método

Un volumen dado de la muestra es titulado sucesivamente con una solución normal de ácido clorhídrico o sulfúrico hasta el punto de equivalencia de la fenolftaleína que a un pH de 8.3 vira de rosa a incoloro y enseguida el punto de equivalencia del naranja de metilo que a un pH de 4.5 vira de amarillo a naranja.

La alcalinidad a la fenolftaleína da el valor de la alcalinidad debida a la presencia de iones hidróxidos y la mitad de iones carbonatos. La alcalinidad al naranja de metilo o total da el valor de la alcalinidad debida a los carbonatos y bicarbonatos.

Interferencias

La turbiedad o materia suspendida evitará la apreciación del vire, por lo que deberá filtrarse la muestra previamente a la titulación. El contenido de sustancias oxidantes o reductoras también pueden alterar el punto final de la titulación. La presencia de cloro libre residual puede tener un efecto decolorante sobre el indicador; esto puede evitarse agregando una gota de tiosulfato de sodio 0.1N a la muestra.

Procedimiento

a) Alcalinidad a la fenolftaleína (Alc. F)

En una cápsula de porcelana o en un matríz Erlenmeyer ponga 50 ml de muestra y agregue dos gotas de fenolftaleína. Titule (sobre fondo blanco si se emplea matríz Erlenmeyer) con ácido 0.02N hasta que desaparezca el color rosa del indicador. Tome la lectura del volumen gastado de ácido. Si al agregar la fenolftaleína la muestra permanece incolora reporte la alcalinidad F

como cero.

b) Alcalinidad al naranja de metilo o total (Alc. M)

En una cápsula de porcelana o en un matraz Erlenmeyer ponga 50 ml. de muestra o bien sobre la muestra a la que se le determinó la alcalinidad F y agregue dos gotas de naranja de metilo. Titule con ácido 0.02N hasta que el indicador vire de amarillo a naranja. Tome la lectura del volúmen gastado de ácido. ()

Si la muestra requiere más de 25 ml. de ácido sulfúrico 0.02N. para la titulación, use una menor cantidad de muestra diluyendo a 50 o 100 ml. con agua destilada. Para muestras con baja concentración de alcalinidad se recomienda usar 100 ml. de muestra.

Cálculos

$$\text{Alcalinidad F} = \frac{(A) \text{ ml } H_2SO_4 \text{ 0.02 N} \times 1000}{\text{ml de muestra}} \text{ epm}$$

$$\text{Alcalinidad M} = \frac{(B) \text{ ml } H_2SO_4 \text{ 0.02 N} \times 1000}{\text{ml de muestra}} \text{ epm}$$

Cuando se determine la alcalinidad M sobre la muestra a la que ya se tituló la alcalinidad F, el volúmen de ácido que se toma para el cálculo de la alcalinidad M es igual a la suma del ácido gastado en la titulación de la alcalinidad F más el ácido gastado en la titulación de la alcalinidad M.

En el caso que se determine la alcalinidad M directamente, el volúmen de ácido gastado (B) es el que se toma para el cálculo.

Precisión

Se puede obtener una precisión de ± 2 ppm.

DETERMINACION DE CLORUROS

Cloruros (método volumétrico).

1. - El valor de los cloruros es equivalente a la concentración (ppm) de cloruros titulables con nitrato de plata ($AgNO_3$) hasta el punto de equivalencia dado por el cromato de potasio, el cual actúa como indicador.

2. - Este método es aplicable para determinar los cloruros (Cl^-) en aguas industriales, exceptuando aquellas altamente contaminadas que impidan apreciar el punto final de la titulación.

3. - Base del Método.

En una solución neutra o ligeramente alcalina (pH 7-8.5) el 160 cloruro

es titulado con solución standard de nitrato de plata (AgNO_3) en presencia del indicador cromato de potasio, precipitándose cloruro de plata de color blanco; una vez titulados la totalidad de los cloruros se formará el cromato de plata de color rojo ladrillo, indicando con esto el punto final de la titulación.

4. - Interferencias

La turbiedad o materia suspendida causan interferencia por lo que deberá filtrarse la muestra si es necesario. Los bromuros, yoduros y cianuros son titulados junto con los cloruros. Los iones sulfuro, tiosulfato y sulfito interfieren. El sulfito puede eliminarse con peróxido de hidrógeno en una solución neutra. Los otros fosfatos en exceso de 25 mg/l interfieren por precipitar el fosfato de plata. Hierro en exceso de 10 mg/l interfiere haciendo impreciso el punto final de la titulación.

5. - Procedimiento

En una cápsula de porcelana o en un matríz Erlenmeyer ponga 5.0 ml de muestra. Si la muestra contiene sulfitos agregue 2 ml de peróxido de hidrógeno al 3%. Ajuste el pH de 7-12 con ácido sulfúrico o sosa cáustica 0.02 N. Si la muestra se encuentra en este límite de pH la titulación se hará directamente. La misma muestra que se usó para la determinación de alcalinidades puede usarse para la prueba de cloruros. (pH 4.3). Agregue 1 ml del indicador cromato de potasio y titule con solución 0.0282 N hasta obtener una coloración rojo ladrillo.

Si la muestra requiere más de 20 ml. de solución de nitrato de plata para la titulación, use una menor cantidad de muestra diluyendo a 50 o 100 ml con agua destilada. Para muestras con baja concentración de cloruros se recomienda usar 100 ml. de muestra.

6. - Cálculos

$$\frac{\text{Cloruros ml AgNO}_3 \cdot 0.0282\text{N} \times 1000}{\text{ml muestra}} = \text{epm Cl}^-$$

7. - Precisión y exactitud

La precisión y exactitud es de ± 2 ppm.

DETERMINACION DE CALCIO

Calcio (Método volumétrico)

1. - El valor del calcio es equivalente a la concentración de iones calcio (expresada en ppm como CaCO_3) titulables con una sal ácida orgánica (EDTA) hasta el punto de equivalencia dado por el virre del indicador purpura de amonio (Murexide).

2. - El método es aplicable para la determinación de calcio en aguas industriales, exceptuando aquellas altamente contaminadas que impidan apreciar el punto final de la titulación.

3. - Base del Método

El ión calcio en solución a un pH de 12.0 se combina con el ácido etilendiamino tetraacético (EDTA) o su sal disódica para formar un complejo. El punto final de la reacción se observa por medio del indicador de murexide el cual pasa de color rosa a color púrpura cuando todo el calcio se ha combinado. El pH de 12 se obtiene agregando solución de hidróxido de sodio. La adición de hidróxido de sodio también tiene como objeto la precipitación del magnesio como hidróxido de magnesio.

4. - Interferencias

Las siguientes concentraciones de iones no causan interferencia en la determinación del calcio: ión cobre 2 ppm, ión ferroso 20 ppm, ión férrico 20 ppm, ión magnesio 10 ppm, ión zinc 5 ppm, ión estaño 5 ppm. Los ortofosfatos precipitarán el calcio al pH de la prueba. La alcalinidad en exceso de 30 ppm causarían un viraje incierto con aguas duras.

5. - Reactivos

Solución reguladora

Hidróxido de sodio 1N

Disuelva 40 g. de (NaOH) en agua destilada y diluya a 1 litro en matríz aforado.

6. - Procedimiento

En una cápsula de porcelana o en un matríz Erlenmeyer sobre fondo blanco ponga 50 ml. de muestra. Agregue 2.0 ml de la solución de sosa 1N y agite. Agregue 0.1-0.2 g. del indicador de murexide y titule con EDTA hasta el cambio de color del rosa al púrpura. Agregue una o dos gotas de EDTA en exceso para asegurarse que no ocurre ningún cambio de color. La titulación debe hacerse dentro de los 5 mins. siguientes a la adición de la sosa.

7. - Cálculos

$$\text{Calcio} = \frac{(\text{ml Soln. EDTA}) \times 1000}{\text{ml. muestra}} = \text{epm Ca}$$

8. - Precisión

La precisión es de ± 2 ppm

DETERMINACION DE SILICE

Silice alta (0 - 40 ppm) (Método fotométrico)

1. - El valor de la silice (SiO_2) es equivalente a la concentración (ppm) titulable por medio del reactivo de molibdato y un aparato fotométrico. Este método únicamente determina la silice reactiva al molibdato, comúnmente conocida como "cristaloide" o "no coloide".

2. - El método es aplicable para la determinación de silice en variación de 0 - 40 ppm. en aguas industriales exceptuando aquellas altamente contaminadas que contengan sustancias que impidan medir la intensidad del color amarillo producido en la titulación colorimétrica.

3. - Base del Método

La silice reacciona con el molibdato de amonio en medio ácido (pH 1.2) formando el silícico molibdato de amonio de color amarillo. También reacciona con cualquier fosfato presente formando el fosfo molibdato de amonio del mismo color; por lo tanto es necesario agregar ácido oxálico, el cual impide precipitar al fosfo molibdato de amonio. Aun cuando se conoce que no existen fosfatos, la adición del ácido oxálico proporciona una mayor precisión al método. El medio ácido inicial se obtiene agregando ácido nítrico diluido. (1.1)

4. - Aparatos

- a) Espectrofotómetro: úsese con una longitud de onda de 410 nm y un paso de luz de 1 cm. o mayor.
- b) Fotómetro de filtros : opérese con filtro violeta con una transmitancia máxima cercana a 410 nm y un paso de luz de 1 cm. o mayor.

5. - Interferencias

La presencia de taninos, cantidades de hierro, color o turbiedad causan interferencias. La turbiedad y el color se pueden eliminar con carbón decolorante o por filtración. No debe utilizarse material de vidrio por su constitución a base de materiales silíceos. En su lugar empleese material de plástico. Igualmente los reactivos deben ser de bajo contenido de silice.

6. - Procedimiento

En un matríz Erlenmeyer de 125 ml. de capacidad, ponga 50 ml. de

muestra clara (previamente filtrada o decolorada si es necesario) y agregue sucesivamente 1.0 ml. de HCl (1:1) y 2.0 ml. de solución de molibdato de amonio. Mezcle bien y deje reposar durante 5 minutos. Agregue 1.5 ml. de ácido oxálico y mezcle enérgicamente. Tome la lectura a los dos minutos de haber agregado el ácido oxálico, empleando la celda del fotómetro elegida de antemano. Previamente ajústese a cero el aparato con agua destilada o un blanco de agua libre de sílice tratada en la misma forma que la muestra para compensar el color dado por los reactivos.

Si la muestra contiene más de 40 ppm de SiO_2 , tómese una parte alícuota de ella y dilúyase a 50 ml. Trátese la muestra en la misma forma anterior.

7. - Cálculos

La lectura dada en el aparato y referida a la curva de calibración dará la concentración de sílice (SiO_2) en ppm.

8. - Precisión

La precisión en aparatos fotométricos es de $\pm 1\%$

DETERMINACION DE pH

1. - El valor numérico del pH es equivalente al logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno en moles por litro determinado por medio de un aparato potenciométrico.

Este método es aplicable para la determinación del pH en aguas naturales, industriales y aguas de desechos industriales.

2. - Base del método

La determinación potenciométrica del pH en una muestra de agua se basa en el hecho de que cuando en una solución acuosa se introducen dos electrodos se desarrolla un voltaje; el voltaje de uno de los electrodos es fijo y conocido (electrodo de referencia) mientras que el voltaje del otro electrodo varía con el pH de la muestra bajo prueba. Este voltaje medido por un potenciómetro y referido a una escala en unidades de pH da la lectura directa.

La escala de pH es un número entre 0 y 14 y denota varios grados de acidez o de basicidad (alcalinidad). Una agua neutra tendrá un pH de 7.0. Valores de pH abajo de 7 y acercándose a 0 indican un aumento en la acidez, mientras que valores arriba de 7 y acercándose a 14 indican un aumento en la alcalinidad.

3. - Aparatos

Medidor potenciométrico de pH completo operado por baterías o por corriente alterna.

4. - Interferencias

La determinación del pH por medio potenciométrico usando electrodo de calomel y de vidrio, está relativamente libre de interferencias por color, materia coloidal, cloro libre, oxidantes y reductores y alto contenido salino. La temperatura ejerce dos efectos significativos en la medición del pH (1) el potencial de los electrodos varía con la temperatura y (2) la ionización en la muestra varía con la temperatura.

El efecto (1) puede corregirse por medio de un compensador de temperatura. El efecto (2) es inherente a la muestra y es tomado en consideración registrando tanto la temperatura de la muestra como el pH obtenido. Bajo condiciones ideales al efectuar la prueba, la temperatura de la muestra debe ser de 25^o C.

5. - Procedimiento

a) Standardización del aparato

Encienda el aparato. Lave tres veces los electrodos con agua destilada. Llène el vaso con solución reguladora standard de pH aproximado al de la muestra y sumerja los electrodos en la solución. Conecte el botón de lectura y lleve a equilibrio el circuito de acuerdo con las instrucciones del fabricante de manera a obtener una lectura de pH igual a la de la solución reguladora.

Efectúe esta misma operación hasta que el aparato permanezca en equilibrio dentro de ± 0.02 unidades de pH con dos posiciones sucesivas de solución reguladora sin cambiar la posición de la perilla de potencial de asimetría.

Los electrodos y vaso de muestras se deberán lavar tres veces con agua destilada y enseguida con otra solución reguladora. Se deberá comprobar la repuesta lineal del aparato observando que la lectura de pH obtenida con porciones sucesivas de solución reguladora concuerde con el pH asignado a esta solución.

b) Determinación del pH en la muestra

Después de standardizar el aparato lave los electrodos y el vaso de muestras tres veces con agua destilada, llene el vaso de muestra con una porción de muestra y determine su pH. Repita esta operación hasta obtener un pH constante.

6. - Cálculos

El valor del pH se obtiene directamente en la escala de lecturas del aparato.

7. - Precisión

Se puede obtener una precisión de ± 0.1 unidades de pH con los aparatos convencionales.

DETERMINACION DE CLORO LIBRE O RESIDUAL

1. - El cloro presente disponible es equivalente a la concentración (ppm) determinada por medio del reactivo de ortotolidina y un comparador.

Este método es aplicable para la determinación del cloro disponible libre y combinado en aguas industriales, excepto aquellas altamente contaminadas que contengan demasiado color o turbiedad.

2. - Base del método

El cloro disponible (total, libre o combinado) forma con el reactivo de ortotolidina en medio ácido un compuesto de color amarillo, la intensidad del color es proporcional a la concentración del cloro presente.

3. - Interferencias

El fierro, los nitritos y el manganeso causan interferencia, ya que producen una coloración amarilla con la ortotolidina semejante a la debida al cloro. En estos casos se deberá emplear el método de la ortotolidina-arsenito.

4. - Aparatos

a) Solución de ortotolidina

Disuelva 1.35 g. de diclorhidrato de ortotolidina en 500 ml de agua destilada. Por otro lado agregue 150 ml de ácido clorhídrico conc. (HCl d= 1.9) a 350 ml de agua destilada. Mezcle ambas soluciones con agitación. Guarde la solución en frasco ámbar con tapón de plástico y al abrigo de la luz solar directa. Bajo estas condiciones es estable por seis meses, después de los cuales deberá desecharse y preparar otra nueva.

5. - Procedimiento

Llene las tres celdas del comparador hasta la marca con el agua por analizar. Cuando se usen celdas con extremo esmerilado, éste deberá quedar hacia el frente. A la celda del centro agregue 0.5 ml de la solución de ortotolidina y mezcle bien. Efectúe la comparación de la muestra con las standards del comparador y determine el contenido de cloro por el valor dado en la rejilla del standar que más se asemeje al color de la muestra.

DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD

1. - La conductividad específica es una medida de la capacidad de agua para transmitir una corriente eléctrica. Esta propiedad está relacionada a la concentración total de las sustancias ionizadas en el agua y la temperatura a la que se efectúa la medición.

El método es aplicable para la determinación indirecta y aproximada del contenido total de los electrolitos disueltos en aguas naturales y aguas industriales por la relación que existe entre la conductividad específica medida en una muestra de agua y el contenido total de los electrolitos disueltos en ella. A mayor conductividad, mayor será el contenido de sólidos disueltos totales.

Debido a que los iones hidróxido tienen mayor conductividad que los demás iones (sulfato, cloruro, etc.) las muestras con alta alcalinidad a la fenolftaleína se recomienda neutralizarlas con ácido gálico antes de efectuar la prueba (especialmente para aguas de caldera de baja presión).

2. - Base del método

El valor de la conductividad específica (mhos) es equivalente al recíproco del valor de la resistencia específica (ohms) medida entre dos electrodos de 1 cm² de área y separados 1 cm sumergidos en el líquido en cuestión a una temperatura especificada. La determinación anterior se logra con la ayuda de un puente de Wheatstone y una celda de conductividad.

3. - Aparatos

a) Puente de Wheatstone

Cualquier puente de Wheatstone capaz de dar lecturas con exactitud de 1% o menos.

b) Celdas de conductividad. - Celdas de tipo pipeta o de inmersión con electrodos platinados o de acero inoxidable de constante adecuada para la variante de medición que se quiera.

c) Termómetro. - Apropiado para medir la temperatura de la muestra con exactitud 0.5^o C.

4. - Interferencias.

Las celdas con electrodos sucios o en mal estado causan lecturas erráticas.

5. - Reactivos

Para determinar la constante de la celda o verificar cualquier cambio sufrido en ella se emplean las siguientes soluciones:

a) Solución de cloruro de potasio 0,01M

Disuelva 0.7456 g. de cloruro de potasio (KCl) anhidro (previamente secado durante 2 horas en la estufa a 105° C) en agua destilada y diluya a 1 litro en matríz aforado.

Esta solución tiene una conductividad específica a 24° C de 1,413 micromhos por centímetro.

Para estas conductividades se pueden preparar las siguientes soluciones:

Peso de KCL (g) disuelto en 1 l. de agua.	Concentración M	Conductividad Micromhos/cm a 25° C.
0.00745	0.0001	14.94
0.03728	0.0005	73.90
0.07456	0.001	147.0
0.37280	0.005	717.8
0.7456	0.01	1,413
1.4912	0.02	2,767
3.7220	0.05	6,668
7.456	0.1	12,900

La constante de la celda C es igual al producto de la resistencia medida en ohms de la solución de cloruro de potasio por la conductividad específica en mhos/cm de la misma solución, ambas medidas a 25° C.

$$C = RK C 1 \times \text{Conductividad específica}$$

6. - Procedimiento

Enjuague la celda elegida con agua destilada y luego dos veces más con porciones sucesivas de muestra, determinando el valor de la conductividad o resistencia media hasta que el valor obtenido sea constante. Durante la prueba mantenga la temperatura de la muestra a 25° C \pm 0.5° C. Si el aparato de medición está equipado con compensador de temperatura manual o automático se permitirá que la muestra tenga una temperatura que caiga en el límite de ajuste del compensador. La conductividad específica de la mayoría de las aguas se expresan en micromhos / cm siendo un micromho igual a 1×10^6 mhos/cm.

7. - Precisión

Se tiene una precisión y exactitud de \pm 5% con un buen aparato.

DETERMINACION DE DUREZA TOTAL

(Método volumétrico)

1. - El valor de la dureza total es equivalente a la concentración de iones calcio y magnesio (expresada en ppm como $(Ca CO_3)$ titulables con una sal ácida orgánica (EDTA) hasta el punto de equivalencia dado por el virre del indicador eriocromo negro T.

El método es aplicable para la determinación de la dureza total en aguas industriales, exceptuando aquellas altamente contaminadas que impidan apreciar el punto final de la titulación.

2. - Base del Método

Los iones calcio y magnesio en solución a un pH de 10.0 se combinan con el ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) o su sal diácida para formar un quelato soluble. El punto final de la reacción se determina por medio del indicador de eriocromo negro T, el cual pasa de color rojo vino a azul cuando todo el calcio y el magnesio se han combinado. El pH de 10.0 se obtiene agregando solución reguladora de cloruro de amonio y amoníaco.

3. - Interferencias.

Empleando inhibidor de cianuro de sodio las siguientes concentraciones de iones pueden estar presentes como máximo sin causar interferencia: aluminio 20 ppm; cobalto 20ppm; cobre 30 ppm; fierro 30 ppm; níquel 20 ppm. Si se encuentran presentes iones de bario, cadmio, plomo, manganeso, estroncio y zinc, éstos son titulados como dureza.

4. - Procedimiento

En una cápsula de porcelana o en un matrás Erlenmeyer sobre fondo blanco, ponga 50 ml de muestra. Agregue 1 ml. de solución reguladora y agite. Agregue 0.1 - 0.2 g. del indicador de eriocromo negro T y titule con EDTA estándar hasta el cambio de color de rojo vino a azul. Agregue una o dos gotas de EDTA en exceso para asegurarse que no ocurre ningún cambio de color. La titulación debe hacerse dentro de los 5 mins. siguientes a la adición de la solución reguladora.

5. - Cálculos

$$\text{Dureza total} = \frac{(\text{ml Soln. EDTA}) \times 1000}{\text{ml. de muestra}} = \text{epm}$$

6. - Precisión

La precisión del método es de ± 2 ppm.

CAPITULO III

ORIGEN DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido contaminadas por los siguientes conceptos:

1. Desechos humanos y animales
2. Corrientes pluviales
3. Infiltraciones de aguas subterráneas
4. Desechos industriales

1. **Desechos humanos y animales.** - Son las evacuaciones corporales que llegan a formar parte de las aguas negras, mediante los sistemas hidráulicos retretes y de los procedentes de animales que van a dar a las alcantarillas al ser lavados suelos de casas y calles. Estas últimas son de consideración en lo que a la salud respecta ya que pueden contener organismos perjudiciales al hombre. Su tratamiento eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas negras para su disposición.

También provienen de todas las actividades domésticas como el lavado de ropa, loza, pisos, baño personal, desechos de alimentos (partículas alimentarias y grasas). La mayoría de estos desechos contienen jabones y detergentes sintéticos con agentes espumantes. El uso creciente de aparatos domésticos para moler basura y los desperdicios de alimentos y grasas están convirtiéndose junto con los detergentes sintéticos en una parte muy importante de los desperdicios caseros.

2. **Corrientes pluviales.** - Las precipitaciones pluviales al demorar por calles y avenidas arrastran hacia los sistemas de alcantarillado polvo, hojas, papeles y demás basuras que encuentran a su paso, aumentando así el volumen de aguas negras.

3. **Infiltraciones de aguas subterráneas.** - Como en muchas ocasiones el drenaje de las alcantarillas queda por debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos y debido a que las juntas entre las secciones de tubería no permanecen herméticas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Aún más como el flujo de agua de las tuberías de drenaje es gravitacional, la ocurrencia de estas filtraciones es siempre de tomarse en cuenta.

El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas.

5. Residuos industriales. - Los productos de desecho de los procesos fabriles constituyen una parte importante que se agrega a las corrientes de aguas negras y es tan variada la contaminación que de éstos se recoge como variados son los diferentes procesos industriales que descargan en ellas. Si los volúmenes a descargar son muy grandes, es preferible colectarlos y tratarlos independientemente de las aguas negras, ya que estas sustancias de desecho pueden afectar en forma muy apreciable su tratamiento y por ende su disposición final. Por ello se recomienda un tratamiento preliminar para la eliminación de sustancias interferentes en el proceso de degradación de la materia orgánica.

COMPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS

Física. - Las aguas de desecho o aguas negras son líquidos turbios con material sólido en suspensión y en solución. Cuando estas son frescas tienen color gris y olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de sustancias fecales, restos alimentarios, papeles, trozos de madera, de lámina, plásticos y basura en general, es decir, todos los residuos orgánicos e inorgánicos provenientes de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Al pasar el tiempo el color se vuelve negro y se desarrolla un olor ofensivo apareciendo sólidos negros flotando en la superficie.

Química. - La composición química de las aguas negras está determinada por la presencia de los sólidos en ellas, pueden ser orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos generalmente incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, materia animal muerta, organismos, tejidos vegetales y compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en combinación con nitrógeno azufre o fósforo. Los grupos orgánicos principales están constituidos por proteínas, hidratos de carbono y grasas así como por los productos de descomposición de estos. Entre los sólidos inorgánicos se mencionan las sales minerales, arena, grava, cieno, etc. Los sólidos orgánicos e inorgánicos pueden estar suspendidos o disueltos. Los suspendidos se dividen en sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Sólidos sedimentables son los que están constituidos por porciones de sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para lograr su asentamiento en un período que generalmente es de una hora. Están formados en un setenta y cinco por ciento de materia orgánica y en un veinticinco por ciento de materia inorgánica. Los sólidos coloidales se definen en forma indirecta como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40%) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos. Su composición es orgánica en unas dos terceras partes e inorgánica en el resto.

Sólidos disueltos. - En general se consideran disueltos si pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales aproximadamente un 90% está verdaderamente disuelto y un 10% se encuentra en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por 40% de orgánicos y 60% de inorgánicos. La porción coloidal contiene un mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta debido a que incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento. Las aguas negras contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos, entre los más importantes está el oxígeno, el bióxido de carbono, (que resulta de descomposición de la materia orgánica) el nitrógeno, (disuelto de la atmósfera), el ácido sulfhídrico (producto de descomposición de compuestos orgánicos y de ciertos compuestos inorgánicos del azufre). Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas negras e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento. Las aguas negras pueden contener líquidos volátiles. Por lo general se trata de líquidos que hierven a menos de 100° C. Ejemplo: gasolina.

Composición biológica. - Las aguas negras contienen incontables organismos vivos macroscópicos y microscópicos. Constituyen la parte viva natural de la materia orgánica y su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición que depende de sus actividades. Puede decirse, con razón, que ellos son los trabajadores que emplea un operador de plantas de tratamiento de aguas negras y que su éxito puede medirse por su conocimiento y atención a los gustos y aversiones de sus hábitos nutritivos y ambientales. Los organismos microscópicos pertenecen a dos tipos generales:

- a) Bacterias
- b) Organismos más complejos

Bacterias. - Son organismos vivos de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones son similares a las de los vegetales. Algunas son móviles y otras inmóviles. Las bacterias como todo organismo vivo requieren de alimento, oxígeno y agua y sólo subsisten cuando el medio ambiente les provee de estos satisfactores. Como resultado de sus procesos vitales las bacterias dan origen, a su vez, a productos de desecho. Las bacterias se clasifican en dos grupos principales:

- a) Bacterias parásitas
- b) Bacterias saprófitas

Bacterias parásitas. - Estas viven a expensas de otro organismo vivo, llamado huésped ya que necesitan recibir el alimento preparado para consumirlo. Las bacterias parásitas que tienen importancia en las aguas negras

generalmente provienen del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas exyecciones van a parar a las aguas negras. Entre este tipo se encuentran algunas que producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad al huésped. Estas bacterias se conocen como bacterias patógenas y pueden provenir de personas afectadas por enfermedades como la fiebre tifoidea, disentería, cólera u otras infecciones intestinales.

Bacterias saprófitas. - Son las que se alimentan de materia orgánica muerta descomponiéndola para obtener su alimento, dando a su vez productos orgánicos más simples y productos inorgánicos. Es por ello que son de suma importancia en los métodos de tratamiento ideados para acelerar la descomposición natural de los sólidos orgánicos ya que con la ausencia de estos el proceso de descomposición no se llevaría a efecto. Las aguas negras estériles (ausencia de actividad bacteriana) no se someten a los mismos métodos de tratamiento en que se basan los procesos de degradación comunes.

Todas las bacterias parásitas o saprófitas, necesitan oxígeno para su respiración además de alimento. Algunas de ellas solamente pueden usar el oxígeno disuelto en el agua y a veces, también como oxígeno libre o molecular. Estos organismos se conocen como bacterias aerobias y el proceso de degradación que efectúan como descomposición aeróbica u oxidación, la cual no da origen a olores ofensivos y desagradables.

Otros tipos de bacterias no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto, tienen que obtenerlo del contenido de oxígeno de los sólidos orgánicos y de algunos inorgánicos, el cual se hace aprovechable de la descomposición de los sólidos. A tales bacterias se les conoce como anaerobias y al proceso de degradación que efectúan como descomposición anaerobia o putrefacción, es decir, la descomposición en ausencia de oxígeno disuelto, que da origen a olores ofensivos y condiciones desagradables. En las complejas reacciones que se verifican durante la degradación de la materia orgánica, ciertos tipos aerobios se adaptan por sí mismos a vivir y funcionar en ausencia de oxígeno disuelto y se conocen como bacterias aerobias facultativas. Inversamente algunas anaerobias se adaptan para sobrevivir en presencia de oxígeno disuelto y reciben el nombre de bacterias anaerobias facultativas. Además de las bacterias existen otros organismos microscópicos de mayor tamaño y de estructura más compleja los cuales provienen del suelo o de los desechos orgánicos, algunos son móviles, otros no pero todos requieren alimento, oxígeno y humedad. Pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos. Su desarrollo es afectado por la temperatura del medio ambiente casi en el mismo grado que a las bacterias. Estos organismos también ayudan en la degradación de los sólidos orgánicos. Emplean a los sólidos como alimento y producen desechos cuya estructura química es más sencilla. Frecuentemente estos desechos son el alimento de cierto tipo de bacterias saprófitas. Existen otros organismos del tipo macroscópico, grandes y complejos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica, en este grupo se incluyen algunas variedades de gusanos e insectos en diversos estados de desarrollo.

Existe otra forma de vida que se encuentra en las aguas negras, de importancia no para el proceso de degradación, pero sí por causar enfermedades, a estos organismos se les conoce con el nombre de virus. Tal es el caso del virus de la hepatitis que se desarrolla en el intestino del hombre y es arrastrado por las materias fecales hasta las aguas negras.

CAPÍTULO IV

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS

Es este un proceso por medio del cual es posible verificar las diferentes etapas que tienen lugar en la autopurificación de una corriente natural que ha sido contaminada al atravesar y ser utilizada por una comunidad, dentro de una área confinada para tal propósito y bajo condiciones controladas.

Es el conjunto de operaciones, cuyos principios básicos descansan sobre una cimentación de física, química, bacteriología y bioquímica mediante las cuales son separados y/o transformados los sólidos suspendidos y disueltos, orgánicos e inorgánicos hasta compuestos minerales o compuestos orgánicos más simples y estables. De la magnitud de dicha remoción y transformación dependerá el éxito del tratamiento.

A pesar de ser muchos los métodos empleados para el tratamiento de las aguas negras, todos pueden incluirse dentro de las operaciones siguientes:

1. - Tratamiento preliminar
2. - Tratamiento primario o sedimentación primaria
3. - Aeración y formación de los llamados lodos activados (degradación bioquímica)
4. - Sedimentación secundaria
5. - Desinfección (cloración)

1. - TRATAMIENTO PRELIMINAR

El objeto de este tratamiento consiste en separar de las aguas negras aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsiguientes del tratamiento. Por lo tanto, los dispositivos para efectuar este tratamiento se diseñan para:

Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos, tales como materia fecal, trozos de madera, metales, plásticos, telas y basura en general.

A continuación se mencionan algunos tipos de rejillas o cribas propuestas por la Asociación Americana de Sanidad Pública:

- a) Criba de barras. - Formada por barras paralelas espaciadas de 2-15 cm. (Con limpieza manual o por medio de rastrillos automáticos. Los sólidos separados se eliminarán enterrándolos o incinerándolos, o se reducirán de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas negras.)
- b) Criba de tela metálica formada con una alambrada de fábrica.

c) Una parrilla. - Consta de dos series de barras paralelas, en el mismo plano, que se cortan en ángulo recto.

d) Criba de banda. - Consiste en una banda o cinta sinfín perforada que pasa sobre dos cilindros, superior e inferior.

e) Criba de lámina perforada. - Se construye con una banda sinfín de láminas perforadas y es semejante a la criba de banda.

f) Criba de alas. - Tiene aberturas radiales espaciadas uniformemente, que giran sobre un eje horizontal.

g) Criba de disco. - Consta de un disco circular perforado, con o sin cono central truncado montado en el centro.

h) Criba de tambor. - Es un cilindro o cono de lámina perforada o de tela metálica que gira sobre un eje horizontal.

i) Criba de compuerta. - Es parecida a una criba de alas pero con alas semicirculares.

j) Criba de jaula. - Consiste en una caja rectangular con las paredes laterales formadas por barras paralelas, y sin pared en la parte superior de la corteza, el fondo y el techo pueden ser de lámina de acero continua o perforada, no conviene que tenga barras en el fondo ni techo, porque se hace difícil la limpieza.

Las rejillas o cribas se pueden clasificar en fijas y móviles. Las fijas se encuentran en una misma posición permanente y pueden tener las barras verticales o inclinadas, pero rara vez son horizontales; tienen que limpiarse haciendo uso de rastrillos o dientes que se hacen pasar entre las barras. Las cribas fijas son estacionarias, mientras están funcionando, pero se pueden desmontar, sacándolas de las aguas negras para su limpieza. Las móviles están en movimiento continuo, mientras funcionan y se limpian por sí mismas durante su propio funcionamiento.

En muchas plantas de tratamiento se practica la molienda de los materiales detenidos por las rejillas o cribas hasta un tamaño tal que permita sean reintegradas a las aguas negras sin peligro de obstruir las bombas, tuberías o afectar los sistemas de tratamiento posteriores. Pueden disponerse aparte para triturar los sólidos que separan las cribas, o pueden diseñarse en combinación con estos dentro del canal por donde entran las aguas negras de manera que logren su objeto sin necesidad de separar los sólidos de las aguas negras, un inconveniente que provoca la molienda es un incremento en la formación de espuma.

Los equipos de molienda más usados son los molinos, las cortadoras y los trituradores. Un molino común en grandes instalaciones es el de tipo de martillo. Un triturador es también un molino que actúa por medio de cuchillas cortantes para pulverizar el material sólido. Una cortadora es un

equipo diseñado para efectuar el mismo trabajo. En virtud de los diferentes diseños y capacidades existentes en el mercado es que se les nombra como molinos, cortadoras o trituradores pero todos sirven para romper, cortar o triturar los sólidos hasta el tamaño deseado. Para evitar perjuicios causados por olores, humedad y otras causas, el molino debe estar totalmente cerrado y devolverse el material pulverizado a las aguas negras por medio de una tubería. Los desperdicios retenidos en las rejillas son materiales muy expuestos a la putrefacción y por lo tanto requieren una rápida eliminación. Pueden ser quemados, enterrados, tratados por digestión descargados en grandes masas de agua, triturados y devueltos a las aguas negras, etc. De todos estos la quema o incineración ha resultado la forma más satisfactoria de eliminar estos productos.

2. - TRATAMIENTO PRIMARIO O SEDIMENTACION PRIMARIA

Las aguas negras se someten a la sedimentación para reducir su contenido de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, lo que reduce la carga orgánica del influente a la planta (demanda bioquímica de oxígeno). Esta sedimentación de los sólidos en suspensión se logra en unos tanques diseñados de tal forma que disminuyen la velocidad del flujo de manera que permiten el asentamiento o sedimentación de toda la materia con densidad mayor a la del agua y los de menor densidad flotan en la superficie.

Las alcantarillas se construyen para mantener una velocidad de unos 60 cm./seg., la cual es apropiada para arrastrar todos los sólidos y prevenir que se depositen en las líneas del alcantarillado. En el tratamiento preliminar se disminuye esta velocidad hasta unos 30 cm./seg. y comienzan a depositarse los sólidos más pesados. En el tratamiento primario la velocidad de flujo se reduce hasta 0.5, 1 o 2 cm./seg., durante el tiempo suficiente para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables que son principalmente orgánicos.

Principios de la sedimentación

La principal fuerza que hace que las sustancias del agua se sedimenten es la gravedad. No se ha ideado fórmula alguna teórica o empírica, que sea aplicable en el proyecto de cámaras de sedimentación, debido a la gran variedad de condiciones que se registran durante su funcionamiento. Entre estas condiciones figuran:

1. El tamaño de las partículas. Cuanto mayor sea este tamaño, mayor es la velocidad de asentamiento. La peptización, la solución y la precipitación misma afectan al tamaño de las partículas durante la sedimentación.
2. La concentración de materiales en suspensión. Cuanto mayor es la concentración más eficaz es la eliminación de los materiales en suspensión.

3. El peso específico de las partículas.
4. El período de retención. Cuanto mayor es este período, dentro de ciertos límites, mayor es la eficacia de la sedimentación.
5. La temperatura. Cuanto mayor es la temperatura, menor es la viscosidad del líquido y más rápida la sedimentación.
6. La profundidad, la forma, las características y el funcionamiento de la cámara.
7. La velocidad y longitud del escurrimiento a través de la cámara.
8. La acción del viento sobre la superficie del líquido.
9. Las fuerzas bioquímicas, eléctricas y de otros tipos.

La sedimentación de las partículas comprendidas entre 0,1 y 1,0 mm. se determina empíricamente. La velocidad de sedimentación para partículas más pequeñas se expresa de acuerdo con la ley de Stokes, cuya ecuación es:

$$V = \frac{P_s - P_w}{18\mu} d^2$$

En donde V, velocidad de sedimentación en mm por segundo; P_s, peso específico de una partícula en sedimentación; P_w, peso específico por unidad de agua; μ, viscosidad del líquido; d, diámetro de la partícula en mm.

La materia floculable con peso específico aproximadamente igual al del agua, está tan afectada por las condiciones señaladas anteriormente, que su velocidad de sedimentación es indeterminada, además se presentan "corrientes de densidad" al agruparse y circular en forma independiente las partículas de densidad similar. Aparte de estos efectos, las partículas floculables se unen unas a otras y al hacerse más grandes, se sedimentan más rápidamente.

Al proyectar cámaras de sedimentación en que las partículas se vayan a sedimentar a una velocidad uniforme es posible, hipotéticamente, suponer que se podrá separar el agua clara de la superficie a la misma velocidad de la sedimentación de las partículas más pequeñas que haya que eliminar. De aquí que, hipotéticamente, la profundidad del depósito no tenga importancia. Todo lo que se necesita es que la velocidad del escurrimiento a través de la cámara sea igual al producto del área de la superficie, por la velocidad de sedimentación de la partícula más pequeña a eliminar.

- Tipos de tanques de sedimentación:
- a) Séptico
 - b) Doble acción
 - c) Sedimentación simple

Las cámaras de sedimentación pueden funcionar sobre el principio de llenado y vaciado, teniendo lugar la sedimentación durante el período en que el tanque está lleno, o pueden funcionar de un modo continuo, dejando que el líquido fluya lentamente y en forma continua a través del depósito o tanque, y la sedimentación tiene lugar a medida que el líquido va pasando por el tanque. Un ejemplo del primer tipo es el tanque séptico que fue uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario que se usaron. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaerobias, por un período de 12 a 24 horas durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos al descomponerse en el fondo del tanque, producen gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el effluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque y por lo tanto se dificulta el tratamiento siguiente. Es por ello que han caído en desuso y solamente se emplean en instalaciones muy pequeñas, residencias aisladas, escuelas, etc. donde puede disponerse del afluente por el método subsuperficial o cuando el factor de dilución en aguas receptoras es muy alto. En estas condiciones tienen la ventaja de requerir una atención mínima, bastando solamente una limpieza de lodos y natas.

Entre los tanques de tipo continuo o de tiempo de retención mucho menor se tiene:

Tanques de doble acción. - El Dr. Karl Imhoff fue el primero que diseñó el tan conocido y profusamente usado tanque de doble acción que impedía que los sólidos que se han separado de las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas y proporcionaba un effluente adaptable a un tratamiento ulterior con lo que eliminaba los dos defectos principales del tanque séptico. El tanque de Imhoff puede ser rectangular o circular, y se divide en tres compartimientos o cámaras que son:

1. La sección superior, que es la cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación.
2. La inferior o cámara de digestión de los lodos.
3. El compartimiento intermedio, abierto al aire, llamado cámara de espumas, natas o respiradero.

La sedimentación de los sólidos tiene lugar en la cámara de sedimentación, desde donde pasan a través de una abertura situada en el fondo de la cámara, a la cámara de digestión. Es en esta cámara donde los sólidos se descomponen anaeróticamente desprendiendo gases, los que escapan a la atmósfera a través de la cámara de natas o respiradero. La característica principal de este tanque es la abertura o ranura de la sección de sedimentación que permite que los lodos pasen para llegar a la sección de digestión

pero no permite la ascensión de los gases producidos en la digestión por ella, sino que los desvía para su salida por la sección diseñada para tal propósito. El fondo de la sección de sedimentación tiene pendientes que van desde 1 a 1,5 unidades en el sentido vertical por una unidad en el sentido horizontal. Una de estas partes inclinadas del fondo se prolonga, cuando menos unos 15 cm. más allá de la ranura, lo que funciona como trampa que impide que los gases o partículas de lodo en digestión se pongan en contacto con las aguas negras de la sección superior.

Como en otros tipos de tanques, las dimensiones de la cámara de sedimentación están determinadas por la velocidad del escurrimiento, el período de detención o retención y la cantidad o volumen de aguas negras a tratar. Cuando se tratan aguas negras domésticas, los períodos mínimos de detención tolerados por diversos departamentos varían de $1\frac{1}{2}$ a 4 horas, siendo 2 horas el período más común. Cuando el tratamiento subsiguiente es el de formación de lodos activos el tiempo de retención es aproximadamente de 1 a $1\frac{1}{2}$ horas, si antecede a una filtración continua o filtración en batería, el tiempo es de 2 horas y si constituye el único tratamiento, de 2 a 3 horas.

Es conveniente que el material con que se construyan las paredes y el fondo de la cámara de sedimentación, sean lo más lisos posible, para evitar la retención de lodo en la cámara de sedimentación. El más usado es el concreto. Deben tomarse provisiones para poder limpiar estas superficies inclinadas estableciendo un paso en la parte superior de tal forma que pueda manejarse desde ahí una escoba de caucho para remover los depósitos que logren acumularse.

Las dimensiones de la cámara de sedimentación varían entre las siguientes relaciones de longitud a anchura de 5:1 y 3:1, con la profundidad de la abertura igual aproximadamente a la anchura. La longitud del compartimiento no debe exceder a 30 m. Son convenientes longitudes moderadas, a fin de facilitar una buena distribución del lodo. La anchura de la cámara está determinada por consideraciones económicas y de conveniencia. En general es más conveniente que la cámara sea relativamente estrecha para descartar la posibilidad de formación de corrientes transversales. La profundidad debe ser relativamente moderada, con objeto de que las partículas tengan tiempo de caer a la abertura o ranura, antes de que lleguen al final de su recorrido en el compartimiento.

Las profundidades de tanques construídos de operación satisfactoria van de 1,5 m. a 5,00 m.

Los dispositivos de entrada y salida deben establecerse de tal modo que pueda invertirse la dirección del escurrimiento a fin de que el lodo se pueda distribuir más uniformemente en las tolvas de la cámara de digestión. Además deben colocarse frente a la entrada y salida deflectores colgantes sumergidos de 30 a 50 cm y proyectándose unos 30 cm, por encima de la superficie de las aguas negras. Un tanque primario de Imhoff que esté funcionando debidamente, no debe tener espuma en la superficie de la cámara

de sedimentación. La ranura o abertura situada en el fondo de la cámara de sedimentación no debe tener menos de 15 cm. entre sus bordes, medidos a lo largo de la inclinación de la tolva. Son preferibles aberturas anchas, pero una excesiva determinaría demasiada pérdida de volumen en la cámara de digestión. El borde más inferior debe proyectarse 15 a 20 cm. horizontalmente bajo el borde superior, para evitar como se mencionó la inclusión de los gases al compartimiento de sedimentación.

Cámara de digestión

La cámara de digestión debe diseñarse de modo que pueda almacenar el lodo de 6 a 8 meses, correspondiendo el período más largo a instalaciones pequeñas. En climas calurosos, pueden ser satisfactorios períodos más cortos. Puede establecerse como principio general que el compartimiento de lodo debe ser suficientemente grande para que no tenga que sacarse el lodo inconvenientemente durante los períodos de tiempo frío en los que la acción biológica es lenta.

Cámara de espuma o nata (respiradero)

El volumen de la cámara de espuma debe ser igual aproximadamente a la mitad del volumen de la cámara de digestión. El área de la superficie de la cámara expuesta a la atmósfera debe ser del 25 al 30% de la proyección horizontal de la parte superior de la cámara de digestión. Ninguna ventila tendrá menos de 45 cm. de anchura y una por lo menos, tendrá 60 cm. o más de ancho. El borde libre debe tener de 45 a 60 cm. Algunos tanques han funcionado satisfactoriamente con un 10% solamente, pero se exponen a la formación de espuma cuando además no cuentan con una gran área para el escape de los gases. Toda la superficie del tanque debe ser accesible para poder destruir o extraer la espuma y los objetos flotantes.

Las ventilas para gases deben establecerse de suficiente tamaño para que se pueda penetrar por ellas en las cámaras de lodo, cuando el tanque esté vacío.

Extracción del lodo

En la mayoría de los tanques de Imhoff se extrae el lodo por gravedad bajo una carga hidrostática no menor de 1,8 m. El tubo de extracción del lodo no debe tener menos de 20 cm. de diámetro, a menos que el lodo se vaya a extraer del tanque por bombeo, caso en el que el tubo puede ser de 15 cm. El lodo se descarga a un canal, situado a un lado del tanque. Después, escurre por gravedad a lo largo de dicho canal, o se eleva con bombas a lechos de desecación o a otro lugar de evacuación. Al instalar tuberías y canales para lodo deben establecerse los menores cambios de dirección que sean posibles; en cada cambio de dirección se instalará un dispositivo de limpieza; y se tomarán medidas para poder inyectar agua a presión en el tubo que conduzca el lodo. Algunas veces se instalan en el fondo de los

tanques de digestión tubos de agua perforados, colocados cerca de la admisión al tubo de lodo para ayudarlo a ponerse en movimiento.

Operación del tanque Imhoff

Al no presentar partes mecánicas sólo debe prestarse atención a lo siguiente:

- a) Eliminar diariamente las grasas, nata y sólidos flotantes del compartimiento de sedimentación.
- b) Raspar frecuentemente (1 vez por semana) los lados y fondos inclinados del compartimiento de sedimentación con un cepillo de goma para quitar los sólidos que se hayan adherido y que por lo tanto pueden descomponerse.
- c) Limpiar también la ranura del compartimiento.
- d) Cambiar el sentido del flujo cuando menos una vez al mes.
- e) Controlar la nata, rompiéndola por medio de chorros de agua a presión, manteniéndola húmeda constantemente y eliminándola cuando su espesor llegue a 60-90 cm.
- f) La descarga de lodos debe hacerse antes que su nivel llegue a estar cerca de 45 cm. de distancia de la ranura del compartimiento de sedimentación.
- g) Después de cada descarga de lodos, las líneas de descarga deben escurrirse y llenarse con agua o con aguas negras para impedir que los lodos se endurezcan y obstruyan la tubería.
- h) Debe prevenirse la formación de espuma. Este tanque no tiene problemas mecánicos y es relativamente económico y fácil de operar. Provee la sedimentación y digestión de los lodos en una sola unidad y debe producir un efluente primario de calidad satisfactoria, eliminando de 40 a 60% de los sólidos suspendidos totales y reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno (D₃₀) en un 25 a 35%.

Tanques de sedimentación simple

Estos tienen como única función el remover sedimentando todos los sólidos sedimentables que traigan las aguas negras. Una vez asentados son sustraídos continuamente o a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases.

Los sólidos pueden irse acumulando por gravedad en una tolva o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan

por la acción de la presión hidrostática. Sin embargo este método de recolección y envío ha sido reforzado utilizando equipo mecánico para el logro de la recolección en las tolvas y posterior envío por medio de bombas. Los tanques así provistos se conocen como tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica. Estos tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, pero todos operan bajo el mismo principio de recolección de los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empujan hacia el sitio de descarga.

En los tanques rectangulares, las rastras se fijan en las orillas a una cadena sinfín que pasa sobre engranes o ruedas dentadas, accionadas por medio de motores. Las rastras se hacen pasar lentamente rozando el fondo del tanque, empujando los sólidos sedimentados hacia una tolva de lodos localizada en el extremo de entrada del tanque. Luego son levantadas por la cadena hacia la superficie del tanque en donde, parcialmente sumergidas, sirven para empujar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites a un colector de estos situado en el extremo de salida del tanque. El fondo o piso de estos tanques generalmente están diseñados con una pequeña pendiente dirigida a la tolva de lodos. Otro tipo de mecanismo corriente es un puente viajero del mismo ancho que el tanque del cual se suspende una paleta que empuja a los sólidos hacia el punto de descarga y otra paleta superficial para los sólidos flotantes. Estas paletas trabajan solamente al moverse el puente en una dirección quedando sueltas cuando se le hace regresar en sentido contrario.

Los tanques circulares tienen armaduras horizontales fijas a un eje central impulsado por un motor. El fondo de los tanques está inclinado hacia el centro y las rastras mueven a los sólidos sedimentados hacia la tolva o embudo de lodos que hay en el centro. Las armaduras desnatadoras están sujetas a la flecha central en la superficie para recolectar los sólidos flotantes, grasas y aceites.

En los tanques cuadrados el mecanismo es similar al de los tanques circulares. La diferencia principal estriba en que una o ambas armaduras rígidas están equipadas con paletas articuladas, las cuales llegan hasta las cuatro esquinas del tanque y arrastran los sólidos de esas zonas hacia la trayectoria circular del mecanismo.

En los tanques rectangulares, las aguas negras entran por el extremo donde se sitúan las tolvas de lodos y fluyen horizontalmente hacia el otro extremo donde se encuentra el desnatador.

En los circulares las aguas negras entran por el centro y fluyen radialmente en sentido horizontal generalmente hacia la periferia.

En los cuadrados pueden entrar en el centro y fluir hacia los cuatro lados o entrar por un lado y atravesar el tanque. Algunos fabricantes han

por la acción de la presión hidrostática. Sin embargo este método de recolección y envío ha sido reforzado utilizando equipo mecánico para el logro de la recolección en las tolvas y posterior envío por medio de bombas. Los tanques así provistos se conocen como tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica. Estos tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, pero todos operan bajo el mismo principio de recolección de los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empujan hacia el sitio de descarga.

En los tanques rectangulares, las rastras se fijan en las orillas a una cadena sinfín que pasa sobre engranes o ruedas dentadas, accionadas por medio de motores. Las rastras se hacen pasar lentamente rozando el fondo del tanque, empujando los sólidos sedimentados hacia una tolva de lodos localizada en el extremo de entrada del tanque. Luego son levantadas por la cadena hacia la superficie del tanque en donde, parcialmente sumergidas, sirven para empujar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites a un colector de estos situado en el extremo de salida del tanque. El fondo o piso de estos tanques generalmente están diseñados con una pequeña pendiente dirigida a la tolva de lodos. Otro tipo de mecanismo corriente es un puente viajero del mismo ancho que el tanque del cual se suspende una paleta que empuja a los sólidos hacia el punto de descarga y otra paleta superficial para los sólidos flotantes. Estas paletas trabajan solamente al moverse el puente en una dirección quedando sueltas cuando se le hace regresar en sentido contrario.

Los tanques circulares tienen armaduras horizontales fijas a un eje central impulsado por un motor. El fondo de los tanques está inclinado hacia el centro y las rastras mueven a los sólidos sedimentados hacia la tolva o embudo de lodos que hay en el centro. Las armaduras desnatadoras están sujetas a la flecha central en la superficie para recolectar los sólidos flotantes, grasas y aceites.

En los tanques cuadrados el mecanismo es similar al de los tanques circulares. La diferencia principal estriba en que una o ambas armaduras rígidas están equipadas con paletas articuladas, las cuales llegan hasta las cuatro esquinas del tanque y arrastran los sólidos de esas zonas hacia la trayectoria circular del mecanismo.

En los tanques rectangulares, las aguas negras entran por el extremo donde se sitúan las tolvas de lodos y fluyen horizontalmente hacia el otro extremo donde se encuentra el desnatador.

En los circulares las aguas negras entran por el centro y fluyen radialmente en sentido horizontal generalmente hacia la periferia.

En los cuadrados pueden entrar en el centro y fluir hacia los cuatro lados o entrar por un lado y atravesar el tanque. Algunos fabricantes han

diseñado equipo que lleva a las aguas negras de alimentación cerca del fondo del tanque, de donde fluyen hacia arriba y radialmente a través de una capa de lodos, hacia la salida de la periferia. Estos se conocen como clarificadores de flujo ascendente.

Vertedores de salida

Su diseño es sumamente variado. Los hay para hacer que las aguas negras sedimentadas salgan en forma de una película delgada por la superficie del tanque e igualmente son ajustables, el ajuste será de tal forma que la descarga de salida sea uniforme.

El término carga del vertedero se usa para expresar los m³ que pasan diariamente sobre un metro de vertedero.

Capacidad superficial de sedimentación

Esta se expresa en términos de litros por metro cuadrado de superficie del tanque, basados en el gasto diario de aguas negras.

La capacidad superficial es un factor importante porque parece ser que afecta en forma directa el porcentaje de eliminación de sólidos sedimentables y la D. B. O.

Período de retención

Es el tiempo en horas que se retienen las aguas negras en el tanque, basándose dicho período en el gasto y en el volumen del tanque, suponiendo un desplazamiento total y un flujo uniforme a través del compartimiento de sedimentación. Durante cierta época fue éste el factor comúnmente usado en el diseño. En la actualidad este factor se ha reemplazado por la carga de los vertedores y la capacidad superficial de sedimentación. Basándose en el gasto de diseño, los períodos de retención deben ser de 2 horas cuando menos.

Deflectores

Estos se encuentran generalmente a la entrada y a la salida del tanque, el primero sirve para ayudar a difundir el flujo y el último para detener el material que flota en el efluente.

Según normas de diseño aceptadas recientemente, la longitud mínima es de 3 m. y la profundidad no debe ser menor a 2,10 m. Las dimensiones quedan determinadas por la cantidad de aguas negras que se quiera tratar, capacidad superficial de sedimentación, carga de los vertedores y tipo de equipo. Ejemplo ilustrativo de los factores mencionados:

Supóngase que se van a tratar 4000 m³ por día en un tanque rectangular de 21 m. de largo, de 7,20 m. de ancho y de 2,10 m. de profundidad.

Los vertederos de descarga son en forma de "H" con cuatro tramos de 7.20 m. de largo y 2 tramos de 0.60 m. de largo. Calcular:

- a) Carga de los vertederos
- b) Capacidad superficial de sedimentación
- c) Período de retención

a) $4 \times 7.20 + 2 \times 0.60 = 30 \text{ m.}$

$$\frac{4000 \text{ m}^3}{30 \text{ m}} = 133 \text{ m}^3/\text{m.}$$

b) $7.20 \times 21 = 151.2 \text{ m}^2 \text{ de área}$

$$\frac{4000 \text{ m}^3/\text{día}}{151.2 \text{ m}^2} = 26.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$
$$= 26400 \text{ l/m}^2/\text{día}$$

c) $151.2 \times 2.1 = 317.52 \text{ m}^3 \text{ (volumen tanque)}$
$$\frac{317.52 \times 24}{4000} = 1.9 \text{ horas}$$

Operación de los tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica.

El establecer y mantener registros adecuados sobre el plan de trabajo del equipo de limpieza mecánica y de la descarga de los lodos del tanque son los factores más importantes en la operación del mismo y deben determinarse para cada una de ellas, ya que el tiempo en los que los mecanismos recolectores deban estar funcionando será aquél que permita la no acumulación de estos sólidos en el tanque, puesto que una acumulación excesiva perjudicaría el proceso y el equipo. Generalmente se operan hasta 8 horas por día aunque en algunas instalaciones operan en forma continua.

Los lodos en las tolvas también deben descargarse por lo menos 1 a 2 veces al día aunque se recomienda descargas frecuentes con menores cantidades. La determinación de la frecuencia de descarga se determina fácilmente en el laboratorio tomando una muestra de lodos cuyo asentamiento después de un período de 10 minutos en una probeta, muestra más de 50% de sólidos el volumen indicará la necesidad de descargar más lodos y si es menor de 50% se puede considerar que se ha terminado la descarga en una proporción razonable.

Cuando existe más de un tanque de sedimentación debe procurarse que reciban la misma cantidad de flujo cada uno para no tener una distribución deficiente que provoca una operación también deficiente.

Los resultados de operación de estos tanques son como era de esperarse similares a los encontrados para los tanques de doble acción. Es de-

ción se eliminan de 40 a 60% de los sólidos suspendidos totales. La D. B.O. debe disminuir en un 25 - 35%. Sin embargo se podrán señalar algunas razones ventajosas para usar este tanque:

- 1.- La sedimentación no se ve interferida por los procesos de digestión.
- 2.- El tratamiento de los lodos en tanques por separado, hace que el proceso de digestión se pueda controlar de mejor forma, especialmente en los tanques provistos de calentamiento.
- 3.- Es menor el costo de construcción.

TRATAMIENTO QUIMICO

El tratamiento químico debe considerarse como un tratamiento intermedio ya que los resultados obtenidos por él son mejores que los del tratamiento primario, pero no tan buenos como el tratamiento bioquímico.

Este tratamiento consiste en agregar uno o más reactivos a las aguas negras para producir un floculo que es un compuesto químico insoluble con propiedades adsorbentes y absorbentes, es decir forma una gran superficie porosa capaz de fijar partículas a ella por la acción de las fuerzas de Van der Waals y además posee la capacidad de envolver la materia suspendida sedimentable y no sedimentable en forma coloidal o no. El éxito del proceso depende de la calidad y cantidad del floculo formado y esto depende de la clase y calidad del producto químico usado y del método de aplicarlo y mezclarlo con las aguas negras. Los reactivos más usados solos o en combinaciones variadas son: El alumbre $Al_2(SO_4)_3$, el sulfato ferroso $FeSO_4$ con o sin cal $Ca(OH)_2$, el sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$, el ácido sulfúrico H_2SO_4 , el cloruro ferroso $FeCl_2$, el cloruro férrico $FeCl_3$, el silicato sódico Na_2SiO_3 , y el bióxido de azufre SO_2 ; entre los menos usados se cuentan el sulfacar, un hidroxiclora sulfato de aluminio $Al_2Cl_2SO_4(OH)_2$ y el ferrigel un compuesto formado con cloruro férrico gelatina cola o cieras proteínas.

Una planta de tratamiento químico debe contar de dispositivos preliminares (cibas, desarenadores, etc.), alimentadores de reactivos, unidades mezcladoras, tanques de floculación, tanques de sedimentación como los descritos y mayores recursos para el tratamiento y disposición de los lodos.

Alimentadores de reactivos

Existen una gran cantidad de diseños de equipo dosificadores de reactivos para manejarlos secos o en solución y en forma controlada.

Unidades mezcladoras

Para agregar los reactivos a las aguas negras es necesario mezclarla completa y rápidamente para que las reacciones sean completas y lo más uniforme posible. Esto se logra mediante una agitación violenta durante un corto período de tiempo ya sea por medios mecánicos o hidráulicos. Dicha agitación se puede efectuar en tanques especiales, en secciones de otros tanques o en los sistemas de tubería.

Floculadores

Después de mezclado el reactivo con las aguas negras, se agita suavemente durante 15 o 30 minutos para inducir la coagulación de las partículas. Si se desea disminuir la DBO debe aumentarse el tiempo de agitación hasta 45 mins. La velocidad de escurrimiento a través del floculador debe ser mayor de 0,9 - 1,5 m. por minuto para evitar sedimentación en él, una vez formado el flocúlo, el líquido se transfiere a un tanque de sedimentación o clarificador donde se efectúa ésta y en donde se separa el lodo. Al proyectar floculadores deben reducirse a un mínimo las agitaciones a la salida del floculador y por lo tanto en la entrada a los tanques de sedimentación debido a la frágil naturaleza del flocúlo. Existe una gran variedad de tratamientos químicos patentados entre los más conocidos se cuentan el de Scott-Darcey que es un proceso cuya principal característica es que figura en él la fabricación de cloruro férrico.

El proceso Guggenheim en el que figura la aireación o aereación de las aguas negras floculadas químicamente, durante un período de hora y media seguida de sedimentación con retorno del lodo desde el clarificador al tanque de aireación. El proceso Laughlin en el que normalmente se usa cloruro férrico y cal como coagulantes a esto le sigue la sedimentación y filtración con filtros de magnetita.

Eficiencia del tratamiento químico

Con él se logra una disminución de hasta 90% de los sólidos suspendidos y hasta 70% en la DBO. Se adapta bien a la operación intermitente lo que permite ajustes en reactivos y dosificación de los mismos para controlar mejor aguas con contenidos variables de desechos industriales que pueden inhibir la actividad biológica y por lo tanto bajar la eficiencia de este tratamiento. Por otro lado sus costos de operación son elevados debido al aumento de mano de obra, productos químicos y por la mayor cantidad de lodos que hay que tratar y disponer.

DEGRADACION BIOQUIMICA (Aereación)

Cuando la reducción de sólidos suspendidos y DBO en el tratamiento preliminar y el primario no son suficientes existen dos métodos de tratamientos subsecuentes que se pueden aplicar y que son: Los filtros goteadores o de escurrimiento y el procedimiento de lodos activados, en ambos se emplean cultivos biológicos que son los responsables de la descomposición aeróbica u oxidación del material orgánico, transformándolo a compuestos inorgánicos y orgánicos de mayor estabilidad, lográndose así un mayor grado de pureza de las aguas.

Aunque los filtros goteadores y los lodos activados dependen de los organismos aerobios para efectuar la degradación, existe entre ellos una diferencia operacional. En los primeros, las bacterias aerobias están adheridas al medio filtrante y hacia ellos va el material orgánico sobre el cual tienen que trabajar. En cambio, con los lodos activados son las bacterias las que se llevan a la materia orgánica de las aguas negras. En ambos casos, el éxito de la operación estriba en mantener las condiciones aerobias ambientales que son favorables para el ciclo vital de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica es su alimento y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación como por una alimentación deficiente.

Filtros de escurrimiento o goteo

La palabra filtro no está en este caso correctamente empleada ya que no se efectúa ninguna acción coladora. Sino que únicamente es un dispositivo que pone en contacto a las aguas negras previamente sedimentadas con cultivos biológicos. Por tanto el nombre correcto debiera ser "lechos de oxidación biológica". Sin embargo el nombre popular para designarlos es el de filtros goteadores, de escurrimiento o rociadores. Desde su aparición en Salford, Inglaterra, en el año de 1893 aproximadamente, su uso ha ido generalizándose hasta llegar a ser hoy en día, junto con el proceso de lodos activados, uno de los métodos más populares y usados para efectuar la descomposición orgánica.

Los filtros de escurrimiento se clasifican en función de la carga hidráulica y orgánica en filtros goteadores normales y rápidos o de gran gas-to.

Un filtro de escurrimiento es un lecho de un material grueso, áspero y duro, sobre el cual se esparcen las aguas negras y que permite la circulación libre del aire por los huecos del lecho. Los filtros están formados de:

- a) El lecho o cama.
- b) Un sistema recolector
- c) Un mecanismo para distribuir uniformemente las aguas negras sobre la superficie del lecho.

La acción del filtro se debe a la oxidación por los organismos adheridos al material del mismo. La materia orgánica sólida de las aguas negras, depositada sobre la superficie, es atacada y oxidada por las bacterias aerobias, y pasa el líquido saliente en un estado altamente nitrificado y floculado, por esta razón los filtros goteadores deben preceder a tanques de sedimentación secundaria para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas negras. En la actualidad se usa la denominación filtro de escurrimiento para designar todos los tipos de filtros en que las aguas negras escurren y gotean sobre el material que constituye el lecho.

Lecho o medio filtrante

La selección de éste estará en función del material con que se disponga en la localidad o el costo del acarreo del material. Se han usado piedras del suelo, grava, piedra triturada, escorias de altos hornos y la antracita. También se han usado bloques de madera de pino, así como material inerte moldeado en formas adecuadas.

Cualquiera que sea el producto que se emplee usualmente debe ser homogéneo, duro, limpio y sin polvo, además de insoluble en los constituyentes de las aguas negras, debe tener sus tres dimensiones tan semejantes como sea posible, forma cúbica para impedir que se apelmace y de un tamaño que varía entre 3 a 12 cm. La profundidad del lecho no debe ser menor de 1.5 m. ni mayor de 3 m. El lecho puede ser rectangular o circular. Generalmente el primero se diseña con aspersores fijos y el segundo con aspersores giratorios.

Sistema recolector

Este sistema satisface la necesidad de retirar las aguas una vez que han pasado por el filtro para su tratamiento de sedimentación posterior y para proporcionar ventilación que mantenga las condiciones aerobias requeridas por el proceso. El sistema recolector consiste de bloques prefabricados de arcilla vidriada o de concreto, y que cubren completamente el fondo del lecho dejando entre sí canales para el efluente. La forma de estos bloques es rectangular generalmente y tienen ranuras en su cara superior igual a un 20-25% de su superficie cuando menos.

Distribuidores

Los aspersores son los encargados de distribuir las aguas negras sobre la superficie del lecho, pueden ser fijos o giratorios. Los fijos se usaron cuando empezaron a ensayarse los filtros goteadores, se fijan en tubos que descansan sobre el medio filtrante y son alimentados mediante un tanque dosificador controlado por sifón. Se han ideado muchas formas y tipos de aspersores con fines de lograr la mejor distribución sobre el lecho. Sin embargo aún en las mejores condiciones, esta distribución uniforme no se logra y siempre quedan fracciones de superficie sobre las cuales cae muy poca cantidad de aguas negras. Los aspersores fijos han sido sustituidos

en su mayoría por distribuidores giratorios, los que llevan a cabo una dosificación más uniforme sobre toda la superficie del lecho. En este tipo, las aguas negras se alimentan por medio de una columna central, hueca, a la que están conectados dos o más ramales. Cada ramal tiene cierto número de conexiones para los aspersores, todos los cuales apuntan perpendicularmente a los ramales. La columna central de alimentación, así como los ramales, giran lentamente sobre la superficie circular del filtro, se mueven por efecto de la reacción del chorro de las aguas negras al descargarse por los aspersores, pero pueden accionarse mecánicamente.

Carga del filtro

Esta se refiere a la carga hidráulica y a la carga orgánica. La primera es el número de litros o metros cúbicos de aguas negras que se aplican por m² o hectárea y por día o en forma más exacta, a causa de los diferentes gruesos de la capa filtrante en metros cúbicos por hectárea-metro y por día.

La carga orgánica se refiere a la cantidad de Kg. de D30 por metro cúbico de medio filtrante o Kg/hectárea-metro o hectárea cúbica, 1 lb de D30/ft. 3 de medio filtrante, lb./acre-pie etc.

Filtros goteadores de gasto normal

Estos operan con cargas hidráulicas de 10,000 a 40,000 m³/hectárea y por día y con cargas orgánicas del orden de 0.08 a 0.40 Kg. por metro cúbico de medio filtrante y por día.

Filtros goteadores de gran gasto

Estas unidades operan con cargas hidráulicas de 80,000 a 400,000 m³/hectárea y por día y con cargas orgánicas de 0.4 - 0.80 kg/m³ de medio filtrante y por día.

A continuación se pone un ejemplo que muestra cómo se calculan las cargas de un filtro en operación:

Datos

Filtro circular diámetro = 30 m.
 Espesor lecho = 1.8 m.
 ha = 10,000 m²

Cálculos

$$\begin{aligned} \text{Superficie del filtro (ha)} &= \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times 10,000} \\ &= 0.0707 \text{ hectáreas} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto a manejar} &= 1900 \text{ m}^3/\text{día. Carga hidráulica} = \frac{1900}{0.3707} \\ &= 1900 \text{ 000 l/día} \\ &= 1.9 \times 10^6 \text{ l/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 150 \text{ ppm} & \text{Carga hidráulica} &= 26874 \text{ m}^3/\text{ha.}/\text{día} \\ &= 150 \times 10^{-6} \text{ Kg/l} & \text{Kilogramos DBO} &= 150 \times 1.9 = 285 \text{ Kg/día} \end{aligned}$$

$$\text{Volúmen medio filtrante} = \frac{285}{4} \times 1.8 = 1272 \text{ m}^3$$

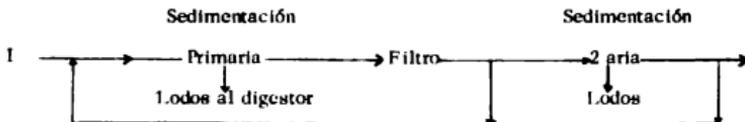
y la carga de DBO será $\frac{285 \text{ Kg}}{1,272 \text{ m}^3/\text{día}} = 0.224 \text{ kg. de DBO por metro cúbico de medio filtrante y por día.}$

Durante la época en la que se desarrollaron los filtros goteadores se creía que para el logro de mejores resultados era necesaria la operación intermitente, es decir períodos de descanso entre las dosificaciones.

Después se comprobó que tal operación intermitente más bien producía efectos adversos.

De esta forma se incrementaron las cargas hidráulicas y orgánicas. Se logró el mayor gasto hidráulico recirculando el efluente del filtro con volúmenes entantes de aguas negras. Las diferentes formas de llevar a cabo esta recirculación las han patentado y son identificadas por marcas comerciales. Entre estas están: Bio-Filtro, Filtro Accelo y Aerofiltro.

Biofiltro. - Con este nombre se designa el proceso que incluye recirculación y una alta velocidad de aplicación a un filtro de poco espesor. En este caso la recirculación incluye el regresar parte del efluente del filtro o del tanque de sedimentación secundaria al tanque de sedimentación primaria.



Filtro Accelo. - Este arreglo recircula directamente el efluente del filtro, otra vez al filtro mismo.

$$\begin{aligned} \text{Gasto a manejar} &= 1900 \text{ m}^3/\text{día.} \quad \text{Carga hidráulica} = \frac{1900}{0.0707} \\ &= 1900 \text{ 000 l/día} \\ &= 1.9 \times 10^6 \text{ l/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 150 \text{ ppm} \quad \text{Carga hidráulica} = 26874 \text{ m}^3/\text{ha.}/\text{día} \\ &= 150 \times 10^{-6} \text{ Kg/l} \quad \text{Kilogramos DBO} = 150 \times 1.9 = 285 \text{ Kg/día} \\ \text{Volúmen medio filtrante} &= \frac{9.82}{4} \cdot 1.8 = 1272 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

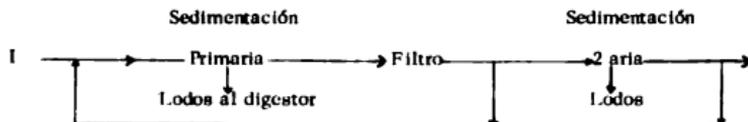
y la carga de DBO será $\frac{285 \text{ Kg}}{1,272 \text{ m}^3/\text{día}} = 0.224 \text{ kg. de DBO por metro cúbico de medio filtrante y por día.}$

Durante la época en la que se desarrollaron los filtros goteadores se creía que para el logro de mejores resultados era necesaria la operación intermitente, es decir períodos de descanso entre las dosificaciones.

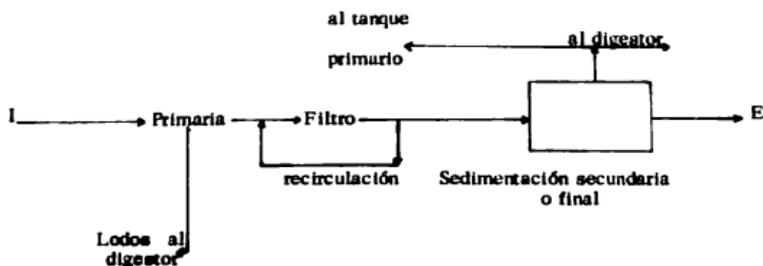
Después se comprobó que tal operación intermitente más bien producía efectos adversos.

De esta forma se incrementaron las cargas hidráulicas y orgánicas. Se logró el mayor gasto hidráulico recirculando el efluente del filtro con volúmenes enormes de aguas negras. Las diferentes formas de llevar a cabo esta recirculación las han patentado y son identificadas por marcas comerciales. Entre estas están: Bio-Filtro, Filtro Accelo y Aerofiltro.

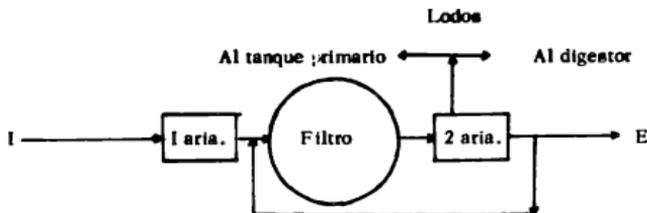
Biofiltro. - Con este nombre se designa el proceso que incluye recirculación y una alta velocidad de aplicación a un filtro de poco espesor. En este caso la recirculación incluye el regresar parte del efluente del filtro o del tanque de sedimentación secundaria al tanque de sedimentación primaria.



Filtro Accelo. - Este arreglo recircula directamente el efluente del filtro, otra vez al filtro mismo.



Aerofiltro .- En este tipo de filtro se mantiene una aplicación continua de lluvia sobre el lecho del filtro. Para lechos chicos esta distribución uniforme se logra mediante un disco distribuidor que gira a alta velocidad de 260 -369 rpm colocado a 50 cm sobre la superficie del filtro logrando la lluvia continua sobre todo el lecho. En los lechos grandes, un gran número de distribuidores giratorios tienden a proporcionar una distribución más uniforme. Estos filtros se operan generalmente con gastos mayores de 93000 m³ por hectárea y por día



Los filtros de escurrimiento o goteo que incluyan sedimentación primaria y secundaria deben eliminar bajo condiciones normales de operación de 60 - 87% de la DBO; imprimen características nitrificantes relativamente altas, producen un efluente de buena calidad, con una gran variedad de calidades del influente, un costo de operación relativamente bajo, buena capacidad para funcionar en climas extremos y buena eficacia para reducir aún más los sólidos en suspensión que logran llegar al filtro.

Entre los inconvenientes se puede señalar la gran pérdida de carga ya que ésta varía de 1,5 a 3,5 m., la producción de olores, el desarrollo de moscas y principalmente la psychoda que ya se le conoce como la "mosca de los filtros", además el costo de construcción (inversión inicial) es elevado. Los filtros goteadores no son adecuados para zonas urbanas, a causa de las moscas y olores que producen, la carga o cabeza estática para su funcionamiento puede requerir bombeo; es necesaria una atención constante para su buen funcionamiento.

Operación. - Como los filtros goteadores, tanto los de gasto normal como los de gran gasto, son verdaderos laboratorios biológicos, los principios de operación y las dificultades que se encuentran son similares. Durante los meses de invierno se requiere una mayor atención para evitar congelamientos especialmente en los de gasto normal donde la operación intermitente la favorece al quedar períodos muertos. El congelamiento en los de gran gasto es más difícil debido a la circulación continua del líquido a través del filtro. El sistema de distribución fijo o móvil debe lavarse periódicamente para remover cualquier material que pudiese obstruirlo. También es necesario lavar con chorro de agua los sistemas colectores del filtro. La superficie del filtro debe mantenerse libre de yerbas y hojas u otras basuras. Cuando la eficiencia normal de un filtro sufre un descenso repentino, deben llevarse a cabo investigaciones inmediatas en las plantas industriales tributarias al alcantarillado, para poder determinar si ha habido una descarga de material tóxico y hacer los arreglos necesarios para eliminarlo o para que la industria verifique un pretratamiento, etc. Para lograr la distribución uniforme de las aguas negras en el lecho del filtro es necesario ajustar los tornillos tensores de los tirantes de los miembros de aspersión para contrarrestar dilataciones o contracciones así como para mantenerlos a una distancia adecuada de la superficie del filtro. Los filtros pueden encharcarse cuando se obstruyen las ventilas del medio filtrante, impidiendo que fluya libremente el líquido, esto puede ser debido a que las piezas del medio filtrante son muy chicas o a desintegración del medio filtrante o a exceso de proliferaciones animales y vegetales, lodos, etc. A continuación se mencionan algunas de las medidas correctivas para atacar este problema:

- a) Limpiar la superficie encharcada con chorro de agua a presión.
- b) Aplicación de fuertes dosis de cloro.
- c) Inundar completamente el filtro y dejarlo así.
- d) Aislar el filtro dejándolo fuera de servicio.
- e) Aumentar la recirculación.

Entre los inconvenientes se puede señalar la gran pérdida de carga ya que ésta varía de 1.5 a 3.5 m. , la producción de olores, el desarrollo de moscas y principalmente la psychoda que ya se le conoce como la "mosca de los filtros", además el costo de construcción (inversión inicial) es elevado. Los filtros goteadores no son adecuados para zonas urbanas, a causa de las moscas y olores que producen, la carga o cabeza estática para su funcionamiento puede requerir bombeo; es necesaria una atención constante para su buen funcionamiento.

Operación. - Como los filtros goteadores, tanto los de gasto normal como los de gran gasto, son verdaderos laboratorios biológicos, los principios de operación y las dificultades que se encuentran son similares. Durante los meses de invierno se requiere una mayor atención para evitar congelamientos especialmente en los de gasto normal donde la operación intermitente la favorece al quedar períodos muertos. El congelamiento en los de gran gasto es más difícil debido a la circulación continua del líquido a través del filtro. El sistema de distribución fijo o móvil debe lavarse periódicamente para remover cualquier material que pudiere obstruirlo. También es necesario lavar con chorro de agua los sistemas colectores del filtro. La superficie del filtro debe mantenerse libre de yerbas y hojas u otras basuras. Cuando la eficiencia normal de un filtro sufre un descenso repentino, deben llevarse a cabo investigaciones inmediatas en las plantas industriales tributarias al alcantarillado, para poder determinar si ha habido una descarga de material tóxico y hacer los arreglos necesarios para eliminarlo o para que la industria verifique un pretratamiento, etc. Para lograr la distribución uniforme de las aguas negras en el lecho del filtro es necesario ajustar los tornillos tensores de los tirantes de los miembros de aspersión para contrarrestar dilataciones o contracciones así como para mantenerlos a una distancia adecuada de la superficie del filtro. Los filtros pueden encharcarse cuando se obstruyen las ventilas del medio filtrante, impidiendo que fluya libremente el líquido, esto puede ser debido a que las piezas del medio filtrante son muy chicas o a desintegración del medio filtrante o a exceso de proliferaciones animales y vegetales, lodos, etc. A continuación se mencionan algunas de las medidas correctivas para atacar este problema:

- a) Limpiar la superficie encharcada con chorro de agua a presión.
- b) Aplicación de fuertes dosis de cloro.
- c) Inundar completamente el filtro y dejarlo así.
- d) Aislar el filtro dejándolo fuera de servicio.
- e) Aumentar la recirculación.

Tabla comparativa entre filtros de escurrimiento de gasto normal y de gran gasto.

<u>Característica</u>	<u>Normal</u>	<u>Gran Gasto</u>
Carga hidráulica M ³ /Ml/ha/día	hasta 38.7	96.5 - 290.6
Carga orgánica D ₅₀ Kg/1000 m ³ /día	226	1130
Intervalos entre dosis	5' intermitente pudiendo ser continuo	Debe ser continua. Sino, no más de 15'
Lodo secundario	Negro, partículas finas ligeras oxidadas.	Pardo, partículas finas tiende a la septicidad.
Efluente	Muy nitrificado, en fase nitrica 20 mg/l o menos de D ₅₀ .	Deficientemente nitrificado en fase nitrica 30 mg/l o más de D ₅₀ .
Sistema de recirculación	Generalmente no se incluye, pero puede incluirse si la carga hidráulica no es excesiva.	Siempre se incluye aunque en algunos tipos sólo se usa durante períodos de escurrimiento bajo.

Como la operación del filtro goteador depende de la vida biológica, es evidente que cuando empieza a funcionar un filtro hace falta tiempo para que se desarrolle una población adecuada de organismos en el medio filtrante. Esto se aplica tanto para las unidades nuevas, como para aquellas que salieron a mantenimiento y por lo tanto dieron muerte a los organismos por falta de sustento.

Por lo tanto deben evitarse los períodos largos de fuera de servicio de las unidades. Cada instalación de filtros goteadores tiene sus propias características. Parece ser que no hay método operativo alguno que pueda considerarse el adecuado para todas las instalaciones. Deberán por tanto aprovechar todas las experiencias operatorias particulares de cada instalación para lograr un criterio que permita modificar o adaptar variantes al proceso a fin de determinar las condiciones óptimas de trabajo para una planta determinada.

Los filtros goteadores al alterar solamente las características físico-químicas de los sólidos no eliminándolos, el effluente los contiene y por lo tanto es necesario utilizar tanques de sedimentación de diseño similar a los descritos para la sedimentación primaria, que los eliminan produciendo un effluente limpio y claro. A estos tanques se les conoce como tanques de sedimentación secundaria o final.

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

La introducción del proceso de activación del lodo fue precedida por 30 años de experimentación sobre la acreación de las aguas negras. El descubrimiento de este proceso suele atribuirse generalmente a W. T. Lockett, desde entonces, el proceso se ha estudiado intensamente, se ha mejorado y perfeccionado. Ha merecido una aprobación tan general en el mundo entero, que hoy día se encuentran instalaciones para la activación del lodo en todos los lugares donde se someten las aguas negras a tratamientos completos. El proceso de activación del lodo se considera inaplicable en obras con un escurrimiento de aguas negras de menos de 1890 m³/día, salvo en casos excepcionales, a causa del equipo mecánico necesario y de la supervisión competente que es indispensable.

Similarmete a los filtros goteadores, es éste un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas durante todo el tratamiento.

No obstante, el medio ambiente por sí mismo no logra mucho, a no ser que esté poblado por suficientes operarios vivientes. Las aguas negras crudas contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado corto para que puedan efectuar el trabajo requerido. Es por ello que este tratamiento requiere aumentarlos hasta el número conveniente para que la degradación requerida se verifique en forma eficaz. El proceso de activación del lodo se emplea generalmente después de la sedimentación primaria. Los sólidos no sedimentables (en suspensión) coloidales o no, cuando se agitan en presencia de aire, forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica (bacterias aerobias) y gradualmente se forman partículas más grandes de sólidos que se conocen como "lodos activados", son flóculos parduscos que consisten principalmente en materia orgánica poblada por miríadas de bacterias y otras formas de vida. Los señores A. M. Buswell y A. L. Long definen al lodo activado como un flóculo compuesto de una matriz sintética gelatinosa similar a la de *Nostoc* y *Merismopedia*, en la que están embebidas bacterias filamentosas y unicelulares, y en la que pululan y alimentan protozoos y algunos metazoos. La presencia de un gran número de protozoarios

es indicación de buena calidad en la activación del lodo. Un lodo bien activado tiene un olor peculiar a tierra y a mohó cuando está circulando en el tanque de aeración. Fuera de él es un precipitado floculado de color pardo claro que se asienta rápidamente. Estos lodos activados, por sus organismos vivos, tienen la propiedad de adsorber y de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos.

La generación de lodos activados es un proceso lento de tal forma que la cantidad formada en cualquier volumen de aguas negras, durante su período de tratamiento (aeración) es muy reducida y por lo tanto inadecuada para tratar rápida y eficazmente los volúmenes subsecuentes. Para lograr esta gran concentración es necesario recolectar los lodos activos formados en cada volumen de agua y reutilizarlos en los volúmenes siguientes. Es decir, es necesario recircular los lodos formados en los tanques de aeración a estos mismos en forma continua, hasta que eventualmente se produzca mayor cantidad de lodos activados que los requeridos para efectuar la degradación orgánica. El exceso de lodos activados se retira entonces del sistema y se acondiciona o no, para su disposición final. La concentración necesaria de lodos activados en el tanque de aeración (aireación) estará básicamente en función directa de la demanda bioquímica de oxígeno y de la demanda química de oxígeno y deberá fijarse también como un resultado de la observación práctica del comportamiento de cada planta en particular para optimizar el proceso. Como se ha mencionado anteriormente, es necesaria la obtención de oxígeno para el crecimiento y desarrollo de los organismos vivientes (bacterias aerobias). Como se ha observado que la disolución de oxígeno en la superficie de una masa de agua en reposo es demasiado lenta, se hace indispensable agitarla para romper la continuidad de la superficie y de esta forma el oxígeno disuelto en la capa superficial pase al cuerpo de la masa líquida. De esta forma se satura de oxígeno una nueva capa superficial, que a su vez se mezcla con la masa líquida y así sucesivamente, de tal forma que la disolución del oxígeno de la atmósfera se acelera notablemente. Existen actualmente dos formas básicas de aumentar la disolución de oxígeno en el agua: La aeración por difusión de aire y la aeración mecánica. Mencionaremos a continuación algunas condiciones fundamentales que afectan a la aeración.

- a) Profundidad del tanque de aireación. La absorción total aumenta linealmente con la profundidad dentro de un margen práctico.
- b) Número de difusores (aireación por difusión de aire).
- c) Superficie o tamaño de las burbujas formadas.

El Sr. H. R. King ha dado algunas fórmulas empíricas para la velocidad de absorción de oxígeno como por ejemplo:

$$W = \frac{0.031 M^{0.18} N^Z P^{0.86} (1.024)^R}{Y \cdot 0.95}$$

en donde:

W - tanto por ciento de oxígeno absorbido de la burbuja.

M - espesor de arena en el punto donde entra la burbuja multiplicado por 3.28

N - deficiencia de oxígeno del agua en mg/l. a la presión atmosférica.

Z - $1/M^{0.13}$

P - tiempo de retención de la burbuja en el agua en segundos

R - temperatura del agua en grados centígrados

Y - diámetro de la burbuja en cm. multiplicado por 0.387

* Restringido a un orden de 0.25 a 0.75 cm.

Esta fórmula está limitada a las condiciones que existen normalmente en el proceso de activación del lodo y a una saturación de oxígeno disuelto de menos del 50%.

Con la aeración se logran los tres objetivos siguientes:

El mezclado de los lodos recirculados con el efluente del sedimentador primario a dicha mezcla se le conoce como licor mezclado o mixto, mantiene los lodos en suspensión, lo que permite que se pongan en contacto con toda la masa de agua y provee el oxígeno requerido para la oxidación biológica.

AERACION POR DIFUSION DE AIRE

En la práctica se encuentra una gran variación en los períodos de aireación, que van desde 3 a 16 horas. Dicho período depende del grado de purificación deseado, de la cantidad de nitrificación prevista y de la concentración o fuerza de las aguas negras crudas medida por su demanda bioquímica de oxígeno.

Datos presentados por un comité de la Asociación Americana de Sanidad Pública han mostrado que la relación entre el período de retención y la disminución en la DBO puede expresarse por:

Reducción en DBO = 20 (A - 1)

Reducción en mg/l

A - período de aireación en horas

Asimismo ha recomendado los períodos de aireación siguientes:

(excluyendo el lodo de retorno)

Gasto m ³ /día	750 a 3024	3024 - 3780	+ 3780
Período de aireación horas	7.5	6 - 7.5	6

Un criterio más es que el tanque de aireación debe tener una capacidad mínima de 1875 l/Kg de DBO. Se ha comprobado que casi el 60% de la purificación tiene lugar durante las dos primeras horas en período de aireación de 6 horas, de 25% en la tercera hora y de tan sólo 15% en las tres últimas horas. Debe llamarse la atención sobre el hecho de que una vez satisfechos los requerimientos de oxígeno para la activación del lodo, una aireación adicional, o sea por prolongación del período de retención o por aumento en el volumen de aire que suministran los sopladores (compresores), no hará más que aumentar el costo, con el riesgo además de perjudicar el equilibrio del proceso "ya que el éxito del mismo depende básicamente del buen control del aire que se suministra y en consecuencia a su vez de la cantidad de materia orgánica biodegradable que se necesite eliminar".

El aire que generalmente se suministra es de baja presión variando de 3.6 - 5 Kg. (8 a 10 lb.) mediante sopladores. La cantidad de aire que se suministre deberá ser tal que procure un remanente de oxígeno disuelto del orden de 2 a 5 mg/l. en todas las partes del tanque de aireación, excepto posiblemente cerca de la entrada. Para mantener estas concentraciones se ha comprobado que es necesario aplicar de 3.75 a 11.25 l. de aire por litro de agua negra (0.5 a 1.5 pies cúbicos de aire por galón de agua negra). Como el aire se emplea en la reducción de la DBO, es más lógico expresar esto en metros cúbicos de aire por Kg. de DBO que es preciso eliminar en el efluente del tanque de sedimentación primaria. Se estiman los requerimientos usuales de aire en 62.4 m³ por Kg. de DBO (1000 pies³/lb. DBO) o 62,400 l/Kg. de DBO. Debiendo ser capaz el sistema de aireación (sopladores, tuberías de distribución y difusores) de rendir el 150% de esta capacidad. Estas cifras son aplicables a las aguas negras domésticas de una planta de tratamiento está contaminado con desechos industriales, estas cifras pueden sufrir grandes variaciones, por lo que deberán determinarse basándose en la experiencia operacional de cada planta.

Tuberías de aire

Al proyectar tuberías para aire el diseño debe ser tal que uniformice las pérdidas de presión de tal forma que ésta tenga un valor cercano en todos los difusores. Las tuberías deben estar por encima, o sus ramificaciones deben subir por encima del nivel del líquido en los tanques de aireación para evitar penetraciones de aguas negras en los tubos para aire, y todos los tubos deben instalarse con pendiente suficiente para poder sacar el agua de ellos por gravedad. No deben usarse tubos de hierro fundido o de acero, pues pueden desprenderse partículas finas de metal, de herrumbre, o de revestimiento y obstruirían los difusores. Cuando la temperatura del aire en los tubos pueda bajar lo suficiente para que se condense la humedad o los tubos sean de tan poco diámetro que sea difícil su limpieza interior, el material empleado para las tuberías debe ser a prueba de corrosión, ejemplo: hierro galvanizado, cobre, aluminio, acero inoxidable, etc.

Difusores

Es muy conveniente difundir el aire en burbujas pequeñas, para dar la mayor eficiencia a la transferencia de oxígeno. Estas burbujas se forman haciendo pasar el aire a través de un material difusor poroso. Esto puede lograrse mediante tubos forrados de saramo con tubos o placas de cerámica. Los difusores de placa de tubo de "aloxita" y "Norton" son gránulos de óxido de aluminio cristalino, unido con vidrio rico en aluminio, con permeabilidades de hasta 120. Las placas tienen 9 cm², y un espesor de 2.5 cm. y los tubos son de 7.5 a 4.4 cm. de diámetro, 1.6 a 0.9 cm. de espesor y 60 cm. de longitud respectivamente. Una ventaja de este material para placas o tubos es que tiene suficiente impermeabilidad para evitar que las aguas negras puedan penetrar al tubo de aire cuando se reduce la presión y suficiente permeabilidad para permitir que el aire pase a las aguas negras sin una pérdida de carga excesiva. La permeabilidad de una placa difusora se define como el volumen de aire en pies cúbicos por minuto, que pasará a través de un pie cuadrado de superficie del difusor con una presión diferencial de dos pulgadas, medidas en altura de columna de agua, bajo condiciones normales de temperatura y humedad. Las permeabilidades recomendadas varían entre 40 y 80, pues permeabilidades mayores tienden a dar una distribución poco uniforme al provocar canalizaciones de aire. En general se recomienda un valor de 40, con un diámetro en los poros de .3 mm. cuando el aire suministrado es limpio. En otro caso pueden ser recomendable permeabilidades de 60 a 80 con diámetros de poro de 0.4 a 0.5 mm. Los difusores de aire pueden localizarse en una fila longitudinal cerca de un lado del tanque de aireación, para producir un escurrimiento en espiral o en líneas transversales a través del tanque, forma que se ha denominado en surcos. El escurrimiento en espiral es de instalación y funcionamiento más económico, pero puede resultar menos eficiente en el caso de aguas negras muy concentradas o de residuos industriales. Lo más conveniente es poner los difusores en una banda estrecha, muy cerca de la pared y tan largos como sea posible en el tanque.

El objetivo del escurrimiento en espiral es el de establecer un período de contacto más largo entre las burbujas de aire y las aguas negras. Esto se logra induciendo un movimiento circulatorio transversal a la dirección de avance de licor mezclado subiendo la corriente por encima de los difusores de aire, y descendiendo por el lado opuesto, con suficiente velocidad para arrastrar algunas burbujas pequeñas de aire con ella hacia abajo y en torno. Como este movimiento se verifica simultáneamente al avance del licor mezclado (mezcla del efluente del sedimentador primario con los lodos activados recirculados al tanque de aireación) en el tanque de aireación, el camino hipotético de cada partícula será helicoidal, llamándosele errónea pero comúnmente "escurrimiento en espiral".

La obstrucción de los difusores puede deberse a herrumbre o polvo procedente de los tubos de distribución de aire, a hidróxido férrico depositado como consecuencia de la reacción del aire con las aguas negras en contacto con el difusor o a polvo u hollín procedentes de la introducción de aire sucio en el sistema. Es por ello que se recomienda la filtración del aire de alimentación para suprimir el polvo, aceite u otras impurezas, ya que esto resulta mucho más práctico y conveniente que limpiar los difusores con cierta frecuencia. Se recomienda utilizar los filtros de aire de fabricación comercial especialmente los utilizados en los equipos de aire acondicionado o clima artificial. El aire debe llegar a los difusores con un contenido de polvo de menos de 0.017 a 0.021 mg/m³ de aire.

Aereación mecánica

Una de las ventajas de la agitación mecánica sobre la aireación por difusión de aire reside en la relativa sencillez del equipo mecánico. No hacen falta sopladores, ni tuberías de distribución ni difusores. Sólo interviene el agitador mecánico y el motor que lo acciona. Sin embargo tienen las siguientes objeciones:

- a) Se requiere una área de terreno relativamente grande, comparada con la aireación por difusión de aire.
- b) Menor flexibilidad
- c) Peores resultados sobre todo en tiempo caluroso
- d) No es adecuado para el tratamiento en gran escala de muchos desechos industriales.
- e) La cantidad de energía necesaria es mayor.

Para verificar la aireación puede utilizarse cualquier tipo de sistema mecánico que pueda mezclar aire con las aguas negras en el tanque. Como la mayor parte de los aireadores mecánicos son aparatos patentados suelen especificarse con garantía de rendimiento y los detalles del diseño están en manos de los fabricantes. E. C. Roe ha presentado datos que

muestran una variación de 0.462 a 1482 KW - h /Kg de D90 reducida. Esto equivale a un promedio aproximado de 4.7 H. P. a 5.3 H. P. por millar de metros cúbicos de aguas negras domésticas tratadas. Estos aireadores están diseñados para su instalación en tanques de 1.26 a 3.24 metros cuadrados, hexagonales o redondos, con fondo plano o en forma de tolva y con una profundidad de 2.4 a 5.4 m. Los primeros aireadores mecánicos que surgieron fueron las paletas Sheffield, el Hartley, las paletas sumergidas Imhoff, el de cepillos y el de chorro, los cuales han caído en desuso; actualmente los más usados se basan en una corriente ascendente y descendente por un tubo central vertical. El funcionamiento es el siguiente, el licor entra por la parte superior del aireador y escurre hacia abajo por la parte externa del tubo central. Al llegar al fondo del tanque se invierte la dirección del movimiento y el licor sube a través del tubo vertical. El movimiento se produce por la acción de un disco giratorio en la superficie que arroja el licor mezclado o mixto a la periferia de la cámara de aeración, lográndose de esta forma la mezcla con el aire. Esta unidad combina la aeración con la clarificación. Una modificación al aireador descrito es aquél que funciona produciendo una corriente descendente por el tubo central, donde se induce la aeración por aspiración. El aire es arrastrado con el agua por aspiración a causa de que la velocidad creciente del licor que cae por el tubo crea un vacío parcial que, al está abierto a la atmósfera, jala aire de ésta. Los principios básicos de diseño son los mismos que para los tanques de aeración por difusión de aire, salvo que los períodos de retención deben ser del orden de 40 a 50% por arriba de los establecidos para la aeración por difusión.

Al proyectar una instalación de activación de lodo deben establecerse bombas y conductos para devolver una parte de lodo activo formado en los tanques de aeración y separado por asentamiento en los tanques de sedimentación secundaria o final, al líquido entrante del tanque de aeración, para formar el licor mixto (mezcla del efluente del sedimentador primario con los lodos activados recirculados). Esta recirculación del lodo es la característica esencial del proceso de activación del lodo. Los objetivos de la reincorporación del lodo comprenden:

- a) La siembra del líquido que entra al tanque de aeración con organismos vivos o activos (efluente sedimentador primario).
- b) La dilución del líquido que entra al tanque de aeración formando el licor mixto.
- c) La conservación del lodo ya que éste se vuelve séptico en una o dos horas a la temperatura ambiente normal si no se airea de un modo continuo.

La calidad y cantidad de lodo reincorporado es de vital importancia para el buen funcionamiento del proceso. Puede medirse por datos como:

- 1) La relación por volumen del lodo reincorporado a las aguas negras.
- 2) La relación entre la materia seca recirculada y la materia seca de las aguas negras brutas.
- 3) El sostenimiento de una concentración fija de sólidos totales en el licor mixto.
- 4) El mantenimiento de un determinado índice volumétrico de lodo.

La práctica ha demostrado que la relación entre el volumen de lodo reincorporado y el volumen de aguas negras brutas debe estar entre 1:5 y 1:1. Esto equivale aproximadamente a 16.7% y 50% respectivamente. Los porcentajes observados en la práctica común varían entre el 25% y 35%. Las concentraciones de sólidos en el licor mixto rara vez son mayores de 15,000 mg/l con una concentración normal de 3000 mg/l en las instalaciones con difusión de aire y 1000 y 2500 mg/l en la aeración mecánica.

En resumen se dice que el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas negras a tratar.
- 2) Aeración y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados para su mezcla con las aguas negras.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

Se han desarrollado diversas variaciones para llevar a cabo los pasos anteriores y para distinguirlos del procedimiento original (método convencional de lodos activados) se les designa con diferentes nombres específicos. Entre estos pueden citarse: Proceso Hays, proceso Zigerli, proceso Kraus, el Olden y Fair, el Mallory o de lodo oxidado, la estabilización por contacto, el aere-acelerador, la aeración escalonada, la aeración graduada, la aeración activada y la aeración modificada.

Proceso Hays

Este se puede considerar como una aplicación práctica de la aireación por contacto. La instalación consta de sedimentación preliminar, primera fase de aireación por contacto, sedimentación intermedia, segunda fase de aireación por contacto y sedimentación final. Los tanques de aireación son menos profundos que los tanques de aireación ordinarios los cuales contienen placas delgadas de aireación que se extienden sobre toda el área del tanque y en la mayor parte de su profundidad. Las placas se hacen con láminas de asbesto cemento con un espesor de 0,47 cm. separadas verticalmente unos 3,8 cm. El aire penetra en el tanque por debajo de las placas, por los orificios de una tubería en forma de parrilla. El uso de aire varía entre 9,36 y 30,9 l/l de agua negra tratada. Para instalaciones relativamente pequeñas se han obtenido resultados satisfactorios con estos aparatos.

El aereo-acelerador

Es un aparato de una sola unidad que trata aguas negras brutas cridas por el proceso de activación del lodo, en el que la aireación mecánica y todas las demás fases del proceso tienen lugar en un mismo tanque. Es un aparato patentado, construido por Infilco, Inc.

Proceso Kraus

En este proceso se combinan licores del digestor con nitrógeno orgánico y amoniacal con el lodo activado, se mezclan perfectamente y se airean antes de su entrada al tanque de aireación. Este proceso está patentado y es propiedad de la Pacific Flush Tank Co.

Aireación escalonada

En este proceso las aguas negras entran al tanque de aireación por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en un sólo punto de entrada con o sin aguas negras. Por lo tanto la concentración de sólidos en el licor mezclado es mayor en el punto de entrada de la recirculación y disminuye a medida que se introducen más aguas negras por todos los demás puntos de entrada. Esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aireación. Este proceso logra un tratamiento prácticamente equivalente al del proceso convencional de lodos activados en casi la mitad del tiempo de aireación si se mantiene la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de 3 a 4 días. Como se usa un tanque de aireación más pequeño que en el proceso convencional el costo de construcción resulta menor y se requiere de menor terreno. Los costos de operación son muy semejantes a los correspondientes en el proceso convencional.



Al término "edad de lodos" conviene definirlo de una vez junto con otro término de uso muy común en una planta de tratamiento de aguas negras, "índice volumétrico de lodos".

Edad de los lodos. - Es el tiempo medio expresado en días que permanece sujeta a la aeración una partícula de sólidos en suspensión en el proceso de activación del lodo. Se define como el peso en seco en Kg. del lodo activado en el tanque de aeración dividido por los sólidos suspendidos en las aguas negras que entran a dicho tanque, o sea:

$$\text{Edad de los lodos} = \frac{V \cdot C_A}{Q \cdot C_S} \quad \text{en donde}$$

V - Volúmen del tanque de aeración en m^3

Q - Gasto de aguas negras en m^3 por día

C_A - Concentración media de los sólidos en suspensión en el tanque de aeración en ppm.

C_S - Concentración media de sólidos suspendidos en las aguas negras que entran al tanque de aeración en ppm. (excluyendo los lodos reciclados).

Índice volumétrico de lodos. - Este índice es el volúmen en ml. que ocupa un gramo de lodos activados en el licor mezclado una vez que se ha sedimentado durante 30 minutos.

$$\text{Índice V.} = \frac{\text{Volúmen de lodo asentado en 30 mins. por ciento.}}{\text{Sólidos en suspensión por ciento.}}$$

A este índice se conoce también como índice de Mohlmann. En su oportunidad mencionaremos la utilidad de estas relaciones. Ejemplo numérico de aireación escalonada:

Un aereador está equipado para agregar licor mixto en el extremo superior A, y en cualquiera de los tres puntos B, C y D igualmente espaciados a lo largo del tanque. Las aguas negras procedentes del tanque primario contienen 90 ppm de sólidos en suspensión; el licor mixto contiene 25% en volúmen de lodos de retorno, el período de retención es de tres horas y la edad media del lodo es de 3.5 días. Se quiere determinar ¿Cuál será la concentración de sólidos en el líquido saliente del aereador, suponiendo que todo el lodo de retorno penetra en el punto A? y ¿Cuál será dicha concentración si el 50% penetra en el punto C y el 50% restante en el punto D?

$$\text{Edad de lodo} = \frac{\text{sólidos en el tanque}}{\text{sólidos susp. que entran}}$$

$$\text{por lo tanto} \quad 3.5 = \frac{SS(1.25)(3)}{90(24)}$$

$$\text{y } SS = 2000 \text{ mg./l.}$$

Supongamos que C_A = concentración de sólidos en suspensión en el lodo y C_A , C_B , C_C y C_D , concentración de sólidos en los efluentes de cada cuarta parte del tanque. Entonces

$$\frac{C_A + C_B + C_C + C_D}{4} = 2000 \text{ mg/l.}$$

$$C_A = C_S = C_B \text{ puesto que sólo penetra lodo en el compartimento}$$

En el compartimiento C penetra el escurrimiento total de lodo y una mitad del escurrimiento de aguas negras, de aquí que:

$$C_C = \frac{0.25 C_B + 0.5(90)}{0.25 + 0.50} = \frac{C_S}{3} + 60$$

$$C_D = \frac{0.75 C_C + 0.5(90)}{0.75 + 0.5} = \frac{C_S}{5} + 72$$

$$C_S = C_S + \frac{C_S}{3} + 60 + \frac{C_S}{5} + 72 = 8000$$

$$C_S = 3110 \text{ mg./l.}$$

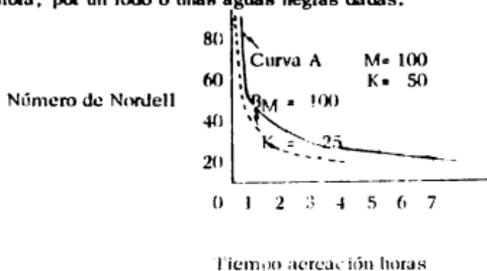
La aereación escalonada se usa:

1. - Cuando hay un aumento persistente de contenido de elementos volátiles en el lodo activado.
2. - Cuando el oxígeno disuelto está disminuyendo continuamente.
3. - En casos de desarrollo extremo de Sphaerotilus, que se toma como un indicio de exceso de carga o de mala calidad del lodo.

Aereación graduada

Este proceso se desarrolló basándose en la teoría de que se necesita mayor cantidad de aire durante el principio del período de aereación. Por tal motivo la proporción de aire que se introduce en las aguas negras es mayor en la sección de entrada del tanque de aereación que en las secciones subsecuentes para satisfacer la utilización de oxígeno en las diversas secciones etapas de aireación en el tanque. Datos experimentales indican que se necesita del 40 al 50% de aire en las dos primeras horas de un período de seis horas; 28 - 31% en las dos horas siguientes y del 20 - 29% en las dos últimas, usando lodo no nitrificado. En la gráfica que se anexa se indica la variación gradual de la demanda de oxígeno, siendo M una medida de la actividad del lodo (velocidad de utilización de oxígeno en función del número de Nordell); K , un índice de la fuerza de las aguas negras que es igual a $M \times T_m$; T_m , es el tiempo de aereación durante el cual persiste cualquier valor particular de M ; y R , es la relación del valor original de M al número de Nordell en cualquier momento.

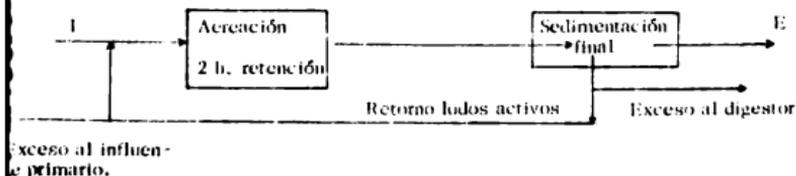
Número de Nordell. - Es el número de mg. de oxígeno utilizados por hora, por un lodo o unas aguas negras dadas.



La actividad del lodo y el número de Nordell se miden por medio del odómetro. Es éste un aparato para determinar la demanda de oxígeno de los líquidos por observación directa. El aparato es muy simple, consta de un recipiente en donde se coloca la muestra de aguas negras (aproximadamente 4 l.) el cual está conectado a una cámara de aire de 500 cc. aproximadamente. El líquido se agita y de esta forma consume el oxígeno de la cámara de aire produciendo un vacío parcial en la misma, el cual es registrado por un manómetro. La relación variable de demanda de oxígeno a suministro de oxígeno, ha conducido a la aereación regulada o graduada, lo que se logra modificando la velocidad de suministro de aire, ya sea regulando la velocidad de los sopladores o manipulando las válvulas de distribución para lograr la aereación en el sitio o sitios estimados como los de mayor o menor demanda de oxígeno. La ventaja de este procedimiento es obviamente un mejor dominio del proceso, una mayor resistencia a cambios bruscos en la calidad del efluente, y una reducción notable del costo de operación al usar el aire únicamente en los lugares requeridos y en cantidades apropiadas.

Aereación modificada

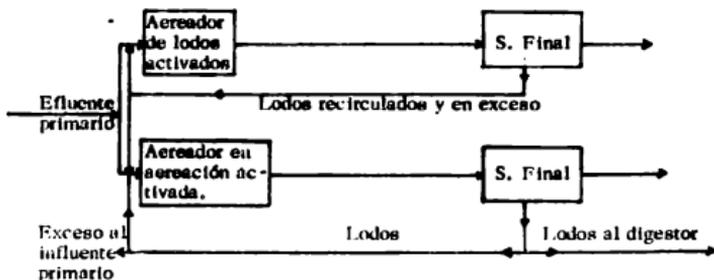
Esta modificación del proceso convencional también se conoce como tratamiento intensivo con lodos activados. Es aplicable cuando las aguas receptoras o los sistemas de enfriamiento requieren que se efectúe un mayor grado de tratamiento que el que se logra mediante el tratamiento primario, pero no mayores abatimientos de la DBO y de los sólidos suspendidos que el obtenido por el método convencional de lodos activados. En esta modificación las aguas negras crudas o sedimentadas se mezclan con el 10-25% de lodos recirculados y se aerean por un período de 1 a 2 horas solamente. Los sólidos suspendidos del licor mezclado disminuyen así a menos de 1000 ppm. lo cual hace que sean menores los requerimientos de aire. Controlando el suministro de aire, el período de retención y el porcentaje de lodos recirculados se puede lograr casi cualquier grado de tratamiento entre la sedimentación primaria y el proceso convencional de lodos activados. Con este proceso se consigue un ahorro en los costos de construcción y de operación, menor superficie, etc. Los lodos obtenidos son más parecidos a los de un tanque primario que a los activados, con la ventaja de no estar expuestos al abultamiento o flotación. La aportación de aire es del orden de 3,74 l/l de aguas negras. La edad del lodo puede estar entre 0,2 y 0,5 días lo que marca una gran diferencia con los 3-4 días de los sistemas ordinarios.



Aereación activada

Es éste uno de los procesos más recientemente introducido a los Estados Unidos de América y es básicamente un proceso convencional de lodos activados en paralelo con un menor período de retención. El cultivo que se produce en la sección de lodos activados del tanque de aereación y que generalmente se desperdicia como exceso de lodos, se pasa al otro tanque de aereación que recibe el nombre de aereador activador, el cual recibe también porción del gasto de aguas negras sedimentadas. En este segundo tanque se aerea con una baja concentración de sólidos de 200 - 400 ppm con lo que se reduce el exceso de lodos en esta segunda unidad, ya que se destinó un menor gasto de aguas negras. Variando la proporción de gasto total de aguas negras entre las dos secciones de la planta, así como otros factores de operación, ofrece una gran flexibilidad y un amplio margen de eficiencia en el tratamiento según los requerimientos de los sistemas de enfriamiento o de las aguas receptoras. Se pueden lograr abatimientos de la D₃₀ de 80 a 85%, así como ahorros en aire, en comparación con el proceso convencional.

Diagrama de bloques



Estabilización por contacto

Esta constituye otra modificación al proceso convencional. En este método los lodos biológicamente activos se ponen en contacto íntimo con las aguas negras durante 15 a 30 minutos solamente, tiempo durante el cual los lodos activados absorben y adsorben un gran porcentaje de la materia contaminante suspendida coloidal y disuelta. Entonces fluye la mezcla al tanque de sedimentación de donde se separan los lodos y se pasan a un tanque regenerador en el que se estabilizan y regeneran por

aeración. Esta modificación es aplicable especialmente en el tratamiento de aguas con desechos industriales, debido a que todo el suministro de lodos que se siembra no es vulnerable a las cargas repentinas por mantenerse la mayoría de la semilla o siembra bajo aeración por separado. Un exceso de desechos afectará solamente a la pequeña porción de lodos que se esté mezclando con las aguas negras.

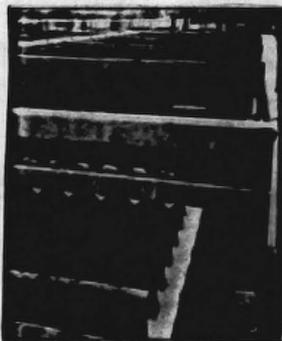
SEDIMENTACION FINAL.

Es este el paso mediante el cual se separan los lodos activados del licor mezclado proveniente de los tanques de aeración, dejando un líquido sobrenadante limpio, claro y libre de olores desagradables. La operación de estos tanques es muy similar a la descrita para los tanques de sedimentación primaria, sin embargo, en estos tanques es mucho más importante el ciclo de remoción de los lodos pues cierta proporción de lodos debe retirarse en forma continua para recircularlos al tanque de aeración antes de que pierdan su actividad debido a la ausencia de oxígeno suficiente en el fondo del tanque. El exceso debe retirarse para su disposición final o para su tratamiento (digestión).

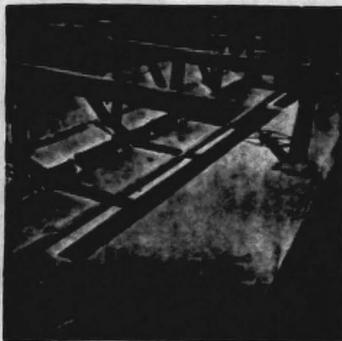
Los principios en que se basa el proyecto de los tanques de sedimentación final difieren algo de los que sirven de fundamento al proyecto de tanques de sedimentación primaria a causa de la naturaleza del lodo activado. U. E. Anderson ha indicado que como el lodo activado tiene una densidad ligeramente mayor que la del contenido del tanque, se produce una corriente de densidad que provoca que el licor entrante ascenda a lo largo del fondo del tanque hasta que es desviado hacia arriba por alguna obstrucción e induce una contra corriente en las capas superiores, que retrocede hacia la entrada del tanque. A continuación se indican algunos efectos importantes de esto sobre el diseño del tanque.

1. - Los dispositivos para la entrada del licor no afectan mucho la calidad del líquido saliente, siempre y cuando el licor entrante penetre a una velocidad tan lenta como sea posible.
2. - Los vertederos para el efluente se localizarán fuera del camino de la corriente de densidad superior de retroceso. Para esto pueden situarse en cualquier punto entre la mitad y dos terceras partes de la distancia desde la entrada a la pared final del tanque.
3. - El dispositivo de decantación (tolvas) del lodo debe estar cerca de la entrada del tanque.
4. - Existe una profundidad óptima del tanque para mantener una capa de lodo eficaz. Las relaciones máximas que se recomiendan entre

la longitud de escurrimiento y la profundidad del tanque son: Para tanques circulares 5:1; para tanques rectangulares 7:1. La profundidad mínima por debajo de los vertedores para el líquido saliente es de 3.0 m. salvo en el caso de que exista una corriente de densidad de retroceso, caso en el cual la profundidad mínima debe ser 3.60 m.



Vertedores de salida



Difusores de aire

Las dimensiones de proyecto del tanque de sedimentación están determinadas en parte por el período de retención tolerable y por la relación entre el gasto de escurrimiento al través del tanque y el área de la superficie. Los períodos de retención son variables en la práctica. Los gastos de escurrimiento son de 25.2 a 50.4 m³/día y por m² de superficie del tanque. La profundidad mínima debe ser de 2.40m. y un vertedor de salida tal que el gasto de descarga no exceda de 61.6 m³/m. de longitud del vertedor. El período tipo de retención fijado por el Departamento de Sanidad de Nueva York, es de dos horas. L. G. Rice llegó



**Tolva de lodos y rastras
Sedimentador primario.**



Válvulas salida licor mezclado

a la conclusión de que los gastos de sobreescurrimiento por encima del escurrimiento medio, no deben ser mayores de 61.6 m³/día y por metro de longitud del vertedor, o de tres veces esta cifra para escurrimientos máximos. Cuando la capacidad total del tanque de sedimentación tenga que ser mayor de 75600 l, debe establecerse más de un tanque de sedimentación final.

En estos tanques los mecanismos de limpia o recolección de los lodos son análogos al mecanismo de recolección de los sedimentadores primarios solamente que aquí se suprime la circulación de las rastras por la superficie del líquido al no ser necesaria.

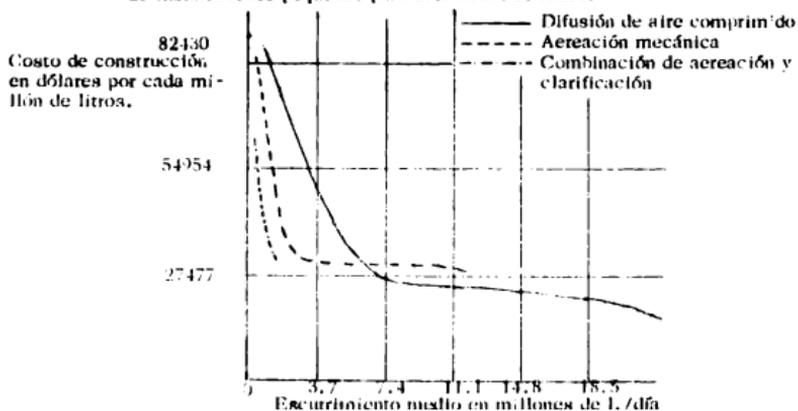
Entre algunas de las características que deben tenerse en cuenta al proyectar los tanques de sedimentación y las tuberías, figuran las siguientes:

a) Los canales, ductos, vigas, etc., que estén parcialmente sumergidos en el tanque, deben tener una inclinación en la parte inferior para evitar la acumulación de sólidos en ellos.

b) Debe contarse con una caja distribuidora de lodos a la que se envíe el lodo recogido del clarificador para su medida, inspección, toma de muestras y derivación para el retorno y desecho.

c) Si se usan tanques independientes para la digestión del lodo, debe preverse la concentración del lodo residual antes de descargarlo en el tanque de digestión. El exceso de lodo activado suele eliminarse por medio de una digestión independiente.

A continuación se presenta una gráfica del costo de construcción de instalaciones pequeñas para activación de lodos.



OPERACION DE PLANTAS DE LIDOS ACTIVADOS DE TIPO CONVENCIONAL.

La operación de las plantas de lodos activados varía en función de una serie de factores, entre los que figuran los recursos disponibles, la fuerza (DBO) y características de las aguas negras, la temperatura, la calidad requerida en el efluente, etc. La experiencia debe determinar cuál es el mejor procedimiento de operación para cada planta. Pero en general las consideraciones necesarias para el logro de una buena eficiencia son las siguientes:

- a) Se requiere una aereación suficiente en el volumen total de los tanques de aereación que permita tener en todo tiempo un residual mínimo de oxígeno de 2 ppm. Este se logra aproximadamente en 6 a 8 horas cuando se emplea aire difundido y de 9 a 12 horas si la aereación es mecánica; esto cuando es necesario suministrar 63 m³ de aire por cada kilogramo de abatimiento de la DBO.
- b) Este requerimiento mínimo de oxígeno es preciso exista durante todo el tiempo en las aguas tratadas y en los tanques de sedimentación final.
- c) Los lodos activados deberán recircular continuamente de los tanques de sedimentación secundaria a los tanques de aereación.
- d) La proporción óptima de recirculación de estos lodos varía con los diversos factores de carga orgánica. Pero generalmente oscila entre 20 y 30 por ciento del gasto de aguas negras cuando se utiliza aire difundido, y del 10-20 por ciento en las unidades de aereación mecánica.
- e) El contenido recomendado de sólidos suspendidos en los tanques de aereación puede variar en forma considerable pero un valor de 1000 - 2500 ppm es de esperar en tanques con difusión de aire y de 600 - 1200 ppm en los de aereación mecánica.
- f) Un índice volumétrico de lodos cercano a 100 y una edad de 3 - 4 días es lo normal en la mayoría de las plantas. Una vez establecido este índice en la planta debe mantenerse dentro de un margen razonablemente corto. Un aumento importante es un aviso de dificultades posteriores.
- g) El contenido de sólidos suspendidos en los tanques de aereación puede ser controlado por la cantidad de lodos recirculados. Deben eliminarse del sistema los lodos que sobrepasen las necesidades de los tanques de aereación. Es preferible eliminar el exceso continuamente en pequeñas

OPERACION DE PLANTAS DE LIDOS ACTIVADOS DE TIPO CONVENCIONAL.

La operación de las plantas de lodos activados varía en función de una serie de factores, entre los que figuran los recursos disponibles, la fuerza (DBO) y características de las aguas negras, la temperatura, la calidad requerida en el efluente, etc. La experiencia debe determinar cuál es el mejor procedimiento de operación para cada planta. Pero en general las consideraciones necesarias para el logro de una buena eficiencia son las siguientes:

a) Se requiere una aereación suficiente en el volumen total de los tanques de aereación que permita tener en todo tiempo un residual mínimo de oxígeno de 2 ppm. Este se logra aproximadamente en 6 a 8 horas cuando se emplea aire difundido y de 9 a 12 horas si la aereación es mecánica; esto cuando es necesario suministrar 63 m³ de aire por cada kilogramo de abatimiento de la DBO.

b) Este requerimiento mínimo de oxígeno es preciso exista durante todo el tiempo en las aguas tratadas y en los tanques de sedimentación final.

c) Los lodos activados deberán recircularse continuamente de los tanques de sedimentación secundaria a los tanques de aereación.

d) La proporción óptima de recirculación de estos lodos varía con los diversos factores de carga orgánica. Pero generalmente oscila entre 20 y 30 por ciento del gasto de aguas negras cuando se utiliza aire difundido, y del 10-20 por ciento en las unidades de aereación mecánica.

e) El contenido recomendado de sólidos suspendidos en los tanques de aereación puede variar en forma considerable pero un valor de 1000 - 2500 ppm es de esperar en tanques con difusión de aire y de 600 - 1200 ppm en los de aereación mecánica.

f) Un índice volumétrico de lodos cercano a 100 y una edad de 3 - 4 días es lo normal en la mayoría de las plantas. Una vez establecido este índice en la planta debe mantenerse dentro de un margen razonablemente corto. Un aumento importante es un aviso de dificultades posteriores.

g) El contenido de sólidos suspendidos en los tanques de aereación puede ser controlado por la cantidad de lodos recirculados. Deben eliminarse del sistema los lodos que sobrepasen las necesidades de los tanques de aereación. Es preferible eliminar el exceso continuamente en pequeñas

porciones, o a intervalos frecuentes, en vez de hacerlo en grandes cantidades en intervalos igualmente grandes. Ya que los lodos que se mantengan demasiado tiempo en el tanque de sedimentación final se volverán sépticos, perderán su actividad y agotarán el contenido de oxígeno disuelto requerido en el tanque.

h) El proceso de lodos activados se afectará en forma negativa si existen condiciones sépticas en los tanques de sedimentación primaria. Para impedir esta condición se puede realizar una precloración o preaeración antes del tanque de aeración.

i) Las sobrecargas orgánicas, ya sea periódicas o repentinas, como las que pueden resultar de recircular grandes cantidades de licor sobrenadante del digestor de lodos a los tanques primarios, o de dosis de desechos industriales que tengan una DBO excesiva o que contengan sustancias químicas tóxicas, causarán por lo general dificultades en la operación. Siempre que sea posible debe llevarse a un mínimo la sobrecarga, controlando su descarga, o mediante pretratamiento de tales desechos deletéreos.

PROBLEMAS PRINCIPALES EN UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS.

El problema más común en la operación de estas plantas es el abultamiento de los lodos o flotación (bulking).

Es de desear un lodo que sedimente rápidamente, dejando un líquido sobrenadante claro, inodoro y estable. Los flocúlos deben ser de apariencia granulosa, bien delimitados, de color pardo dorado y con olor a moho. Cuando cambian estas características disminuye su sedimentabilidad, lo que se pone de manifiesto por un aumento importante del índice volumétrico, desarrollándose una condición en el tanque de sedimentación final que recibe el nombre de abultamiento (bulking) de los lodos. Como una parte de los lodos no se sedimenta y es arrastrada por el efluente, por lo tanto la calidad de este empeora notablemente, llevando una carga orgánica adicional a los sistemas de enfriamiento o a las aguas receptoras. Como siempre más vale prevenir el mal que corregirlo y lo primero es conocer su posible origen para evitarlo. Son muy variadas las causas de este problema y a continuación se mencionan algunas de ellas:

1. - Flujo excesivo lo que repercute en el período de aeración el cual resulta insuficiente.
2. - Alto contenido de desechos industriales lo que aumenta la carga orgánica o aumenta el contenido de sustancias tóxicas para las bacterias.

3. - Mala regulación en el contenido de sólidos suspendidos en los tanques de aeración (alta o baja concentración).

4. - Insuficiencia de aire, lo que produce menor concentración del oxígeno disuelto necesario.

5. - Exceso de presión en el aire, lo cual tiende a desintegrar los flocúlos.

6. - Efluente del sedimentador primario en condiciones sépticas.

7. - Interrupción en la continuidad de la recirculación de lodos activados al tanque de aeración.

8. - Intervalos demasiado largos entre purgas de fondo de las unidades del proceso.

9. - Preponderancia de hongos los cuales forman filamentos en los lodos, etc.

Todas estas causas pueden resumirse diciendo que el abultamiento resulta del balance impropio de tres variables: Carga de DBO, concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado y cantidad de aire que se use en la aeración. No existen reglas certeras para la prevención ni para el control del abultamiento de los lodos, si esta condición se desarrolla, la solución consiste en determinar la causa y proceder a corregirla o eliminarla o tomar medidas de compensación en las diferentes etapas de control del proceso. Existen algunas medidas correctivas factibles de utilización, algunas de estas son:

1. - Disminución del contenido de sólidos que se llevan a los tanques de aeración, mediante la eliminación de algo de lodos activados como si estuviesen en exceso.

2. - Reaeración de los lodos activados recirculados, antes de que entren a los tanques de aeración.

3. - Aumentar o disminuir la presión de aire que llega a los aeradores.

4. - Aumentar o disminuir el tiempo de retención en los equipos.

5. - Agregar cal hidratada a los tanques de aeración para elevar el pH sin que exceda 7.1. Esta práctica ha caído en desuso actualmente, pues se prefiere el uso del cloro.

6. - Cloración de los lodos activados recirculados. Debe dosificarse cuidadosamente para evitar que mueran los organismos de los lodos.

7. - En casos críticos es deseable o necesario eliminar del sistema todos los lodos para preparar lodos frescos y debidamente activados.

Otro segundo problema muy común que interfiere en forma por demás molesta a los operadores de las plantas de aguas negras es la formación de espuma, principalmente en los tanques de aeración. La causa o causas no se conocen con precisión aunque suele atribuirse al uso creciente de detergentes sintéticos en la industria y en los hogares. Independientemente de la causa existen dos métodos comúnmente usados para su control. El primero consiste en el empleo de agentes químicos (tenso activos) que disminuyen la tensión superficial y de esta forma cooperan a la no formación de burbujas; existe una gran variedad de productos manufacturados por diferentes casas, pero, en general, se les conoce como antiespumantes. El otro método de control de espuma consiste en el rompimiento de ésta mediante la aspersión de agua proveniente del efluente final en pequeñas gotas que caen sobre la superficie del tanque de aeración.

En algunas plantas se utilizan ambos métodos agregando el anti-espumante al agua de aspersión. La necesidad de controlar la espuma, así como el método de control que se use, dependen de la magnitud del problema y de los costos relativos de los métodos de control. Los antiespumantes son productos caros y es esto lo que limita su uso. La aspersión además del costo de inversión inicial para la compra de bombas, líneas de distribución, aspersores, etc., se agrega un costo extra por operación de este equipo representado por aumento de consumo de energía eléctrica para la operación de las bombas y el costo de mantenimiento de las mismas, de las líneas y de los aspersores.

Sin embargo el sistema de aspersión es el más usado y la mayoría de las plantas de aguas negras con proceso convencional de lodos activados cuentan con él.

OTROS TRATAMIENTOS DE AGUAS NEGRAS

Filtro de arena intermitente

Este filtro es un lecho preparado de un modo especial, de arena u otro material finamente granulado, sobre la superficie del cual se aplican aguas negras previamente sedimentadas y en forma intermitente, el líquido saliente se recoge por medio de un sistema de drenes inferiores.

Los principales progresos registrados en este proceso se han referido al drenaje y a los métodos de dosificación. Para la instalación de un filtro intermitente de arena conviene contar con un clima seco, templado o caluroso, una área extensa y un material adecuado para el filtro. Su

7. - En casos críticos es deseable o necesario eliminar del sistema todos los lodos para preparar lodos frescos y debidamente activados.

Otro segundo problema muy común que interfiere en forma por demás molesta a los operadores de las plantas de aguas negras es la formación de espuma, principalmente en los tanques de aeración. La causa o causas no se conocen con precisión aunque suele atribuirse al uso creciente de detergentes sintéticos en la industria y en los hogares. Independientemente de la causa existen dos métodos comúnmente usados para su control. El primero consiste en el empleo de agentes químicos (tenso activos) que disminuyen la tensión superficial y de esta forma cooperan a la no formación de burbujas; existe una gran variedad de productos manufacturados por diferentes casas, pero, en general, se les conoce como antiespumantes. El otro método de control de espuma consiste en el rompimiento de ésta mediante la aspersión de agua proveniente del efluente final en pequeñas gotas que caen sobre la superficie del tanque de aeración.

En algunas plantas se utilizan ambos métodos agregando el antiespumante al agua de aspersión. La necesidad de controlar la espuma, así como el método de control que se use, dependen de la magnitud del problema y de los costos relativos de los métodos de control. Los antiespumantes son productos caros y es esto lo que limita su uso. La aspersión además del costo de inversión inicial para la compra de bombas, líneas de distribución, aspersores, etc., se agrega un costo extra por operación de este equipo representado por aumento de consumo de energía eléctrica para la operación de las bombas y el costo de mantenimiento de las mismas, de las líneas y de los aspersores.

Sin embargo el sistema de aspersión es el más usado y la mayoría de las plantas de aguas negras con proceso convencional de lodos activados cuentan con él.

OTROS TRATAMIENTOS DE AGUAS NEGRAS

Filtro de arena intermitente

Este filtro es un lecho preparado de un modo especial, de arena u otro material finamente granulado, sobre la superficie del cual se aplican aguas negras previamente sedimentadas y en forma intermitente, el líquido saliente se recoge por medio de un sistema de drenes inferiores.

Los principales progresos registrados en este proceso se han referido al drenaje y a los métodos de dosificación. Para la instalación de un filtro intermitente de arena conviene contar con un clima seco, templado o caluroso, una área extensa y un material adecuado para el filtro. Su

funcionamiento no requiere una atención constante ni especializada. Esta forma de tratamiento se adapta bien al caso de ciudades pequeñas donde se disponga de arena, también es adecuado para lugares aislados, como campamentos de turismo, hoteles y hospitales donde se cuente con suficiente terreno y arena. En la operación de un filtro intermitente de arena, se considera normal hacer una aplicación de aguas negras por día aunque algunas instalaciones de este tipo funcionan dosificando cuatro veces por día, el ajuste de la dosificación necesaria dependerá de la capacidad del filtro para tratar adecuadamente el flujo de agua que se le confiere, es decir, se fijará en función de su comportamiento para el logro satisfactorio de su operación. Generalmente no se necesita interrumpir el funcionamiento de un filtro a menos que haya señales de sobrecarga y/o obstrucción. La aplicación intermitente de la dosis puede lograrse mediante el uso de sifones automáticos o manualmente por medio de válvulas convenientemente dispuestas. La dosis debe distribuirse en forma uniforme sobre toda la superficie del lecho.

No existen dispositivos de regulación en la salida, puesto que la velocidad de filtración se regula por medio del aparato de dosificación y por la velocidad con que la dosis llega a él. El aparato de dosificación debe responder rápidamente a las variaciones de gasto del líquido entrante. A medida que se van aplicando las dosis a un filtro de arena, se forma en la superficie de lecho una trama de materia orgánica o zooglea bacteriana cuyo espesor puede alcanzar de 8 a 12 mm. antes de que sea necesario removerla. Mientras el filtro esté funcionando con suficiente rapidez, no es necesario eliminar esta capa, pero cuando empieza a mostrar señales de obstrucción, lo único que suele necesitarse es romper dicha capa seca. Se supone que la mayor parte de la acción del filtro tiene lugar en la capa formada en los 12.5 a 20.0 cm. superiores del espesor del lecho, pero, en ocasiones, el lecho se obstruye tanto, que es necesario levantar de 2 a 5 cm. además de la trama seca de la superficie, o aflojar la superficie mediante un pase de arado o rastra.

La necesidad de efectuar lo anterior es indicio de que se está cargando demasiado el filtro y entonces convendrá, o reducir la dosis de aplicación o mejorar el tratamiento preliminar.

En invierno debe ararse la superficie del lecho formando surcos y lomos. Las aguas negras heladas forman una cubierta de hielo que se apoya en los lomos y las subsiguientes aplicaciones encuentran paso hacia el filtro por los surcos, bajo el hielo.

En un lecho bien manejado, el material del filtro puede durar indefinidamente sin modificarse, salvo en lo que se refiere a la reposición de la arena que se pierde en las operaciones de limpieza del lecho. Sin embargo, si se hace funcionar un filtro con una intensidad demasiado grande, aunque la calidad del líquido saliente pueda ser satisfactoria, será necesario quitar la arena periódicamente y sustituirla.

La velocidad de la filtración depende de la naturaleza del líquido entrante, de la calidad que se desee que tenga el líquido saliente y de la profundidad y características del material del filtro.

El comité de material para filtros de la sociedad americana de ingenieros civiles recomienda las siguientes especificaciones para el material del filtro.

- a) Homogeneidad. - La arena, al colocarse, no debe tener estratos o vetas de material con diferentes grados de finura.
- b) Uniformidad. - El coeficiente de uniformidad no debe ser mayor de 5.0.
- c) Tamaño. - El tamaño no debe ser mayor del siguiente rango 0.2 - 0.5 mm.
- d) Limpieza. - La materia orgánica total debe ser menor de 1%. La materia total soluble en ácidos debe ser menor de 3%. Debe estar desprovista de arcilla, limo, caliza blanda u otros materiales que puedan ser desintegrados por las aguas negras, o que puedan tender a cementar las partículas de arena.
- e) Forma. - La forma debe ser ovalada o redonda y no con ángulos; no debiendo usarse cuarzo machacado.
- f) Material. - Debe especificarse en general una arena silíceo, con un mínimo de material calizo o arcilloso.

El espesor de la capa de arena no debe ser menos de 0.90 m. para asegurar un tratamiento completo de las aguas negras. Con capas más delgadas, las aguas negras pueden atravesar el filtro sin recibir un tratamiento adecuado. Generalmente el espesor se establece entre 0.90 m. y 1.00 m. La forma y dimensiones totales del lecho se adaptarán a la topografía del lugar y a la velocidad de filtración escogida. Los lechos simples rara vez se establecen con área mayor de 4000 m² aproximadamente.

Una característica peculiar de los filtros intermitentes de arena es la calidad del líquido que se obtiene. En una instalación bien planeada y operada el líquido resultante es claro, incoloro, inodoro y brillante. Está completamente nitrificado, es estable y contiene un alto por ciento de oxígeno disuelto. No contiene sólidos sedimentables. La eficacia en la eliminación de bacterias está entre el 98 y el 99%, la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno es del 95% y la de los sólidos en suspensión del 75%. Su única diferencia con el agua potable es la materia sólida en solución, el remanente de bacterias y los antecedentes del líquido en cuestión. Un líquido saliente de un filtro intermitente de arena, es el

efluente más purificado que se puede obtener de instalaciones de tratamiento de aguas negras. Rara vez se necesita un tratamiento tan perfecto de las aguas y esto hace que su uso no sea común. Los inconvenientes de su uso son la gran superficie de terreno que necesita y la dificultad de obtener arena de buena calidad; en algunas localidades, la alta nitrificación del líquido saliente, puede estimular un gran desarrollo perjudicial de algas. De los datos proporcionados se deduce que este tratamiento supera otros procesos secundarios de tratamiento aceptados. Sin embargo, como requiere de grandes superficies de terreno, con costos de construcción por volumen unitario alto de aguas negras tratadas y un mantenimiento de limpieza de los filtros también costoso.

El uso de filtros de este tipo queda limitado cuando se tratan pequeños volúmenes de aguas negras o cuando se requiere una calidad excepcionalmente alta. Se han empleado con eficacia para el tratamiento adicional de efluentes de tratamientos secundarios con lo que se obtiene la más alta calidad disponible en la actualidad.

ESTANQUE DE ESTABILIZACION O LAGUNAS DE OXIDACION

Durante los últimos años se ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas negras que se basa en el uso de estanques de estabilización. Estos tanques se usaron primero en zonas donde prevalecen los climas calurosos y los días soleados, pero se ha visto que operan también con resultados satisfactorios en climas más fríos y nublados. Los tanques de estabilización se pueden usar casi en cualquier parte, variando la velocidad a que pueden operar con la temperatura, la energía luminosa y otras condiciones locales.

El proceso de descomposición de la materia orgánica en las aguas negras se verifica en dos etapas. La materia carbonosa de las aguas negras se primero desintegrada por los organismos aerobios con formación de bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. En este proceso el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto, la materia orgánica de las aguas negras es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener la ulterior descomposición aerobia. Los sólidos de las aguas negras entran al estanque en un estado altamente putrescible y salen en forma de células de algas muy estables, las cuales dentro de ciertos límites, pueden descargarse a las aguas de dilución receptoras sin causar efectos deletéreos.

Las lagunas de oxidación pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas negras crudas, o como un tratamiento secundario para aguas sedimentadas, o también como tratamiento adicional para efluentes de procesos secundarios. Se han usado generalmente como tratamiento secundario de efluentes primarios.

La mayoría de los estanques de estabilización tienen una profundidad de 60 a 120 cm. con flujo continuo al través de ellos. Se han diseñado para cargas de una hectárea por cada 1000 habitantes y 470 Kg. de DBO por hectárea y por día (un acre por 400 habitantes, 50 lb. de DBO por acre y día o 15 lb. de DBO por acre - pie y por día), con períodos de retención que generalmente son mayores de 30 días. El suelo natural en que deban localizarse debe ser prácticamente impermeable, de tal suerte que las infiltraciones no afecten sensiblemente el nivel superficial de las aguas negras en el estanque.

Estos estanques son de construcción barata y requieren un mínimo de operación. Su uso se limita a las poblaciones pequeñas en donde pueda disponerse de terreno ya que se requieren grandes superficies y bastante alizadas.

CAPITULO V

CLORACION DE LAS AGUAS NEGRAS

El cloro puede introducirse en forma gaseosa, en solución acuosa, o en forma de hipoclorito, ya sea de sodio o de calcio, las cuales al disolverse en el agua desprenden cloro. Generalmente se usa el cloro gaseoso ya que es el menos caro y su introducción se controla usualmente por medio de dispositivos especiales que se conocen como cloradores.

Propósitos de la cloración:

a) Desinfección

La cloración para la desinfección requiere que sean destruidos todos los organismos patógenos del efluente de una planta de tratamiento de aguas negras, ya que en ningún paso del tratamiento se logra esta finalidad. Incidentalmente se destruyen también algunos organismos saprófitos, esto es: no se requiere esterilizar el agua ya que esto implica la destrucción total de todos los organismos vivos, condición que resultaría perjudicial si a la cloración sigue el tratamiento que depende de la actividad de los organismos saprófitos. Afortunadamente los organismos saprófitos son más resistentes al cloro que los patógenos y puede realizarse la desinfección sin esterilización.

Para lograr la desinfección debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro (sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas) y dejar residual para poder destruir las bacterias. Se requiere de equipo especial de laboratorio para medir la destrucción de las bacterias y las pruebas requieren de varios días para su ejecución. Es por ello que los exámenes bacteriológicos no son prácticos para llevar el control diario de la aplicación del cloro. Mediante pruebas de laboratorio y experiencias de campo se ha demostrado que si se agrega a las aguas negras el cloro suficiente para que a los 15 mins. de agregado quede una concentración de cloro residual de 0.5 - 2 ppm, se logra la desinfección completa. Una pequeña concentración que actúe durante un largo período tendrá el mismo efecto que una gran concentración en un período más reducido. Así la desinfección se define arbitrariamente como la adición de cloro suficiente para dejar de 0.5 - 2 ppm de residual a los 15 minutos de su aplicación. Por lo tanto, el control de la cloración consiste en cuantificar el cloro residual por medio de la prueba de la ortotolidina. De esta forma los resultados pueden obtenerse rápidamente para efectuar los ajustes necesarios en la velocidad de alimentación del cloro para que resulte la adecuada. La desinfección debe ser un proceso continuo pues sería peligroso descargar efluente sin tratar. El punto de aplicación del cloro debe localizarse en el lugar donde éste pueda mezclarse con todo el volumen de agua tratada y de tal forma que dicha mezcla pueda sostenerse por espacio de 15 minutos como mínimo antes de

ser descargada para su uso. Siendo el objeto de la desinfección la destrucción de las bacterias patógenas, la medida definitiva de su eficacia será el resultado del examen bacteriológico. Si el valor residual de 0,5 - 2 ppm de cloro no es suficiente para una planta determinada, debe determinarse el valor residual necesario para lograr la mortandad de las especies patógenas y así establecerse como parámetro de control en dicha planta.

b) Prevención de la descomposición de las aguas negras

1. - Para el control de olores. - La descomposición de las aguas negras se inicia en las alcantarillas y llega a ser molesto sólo después de verificada la descomposición anaeróbica. El grado de putrefacción que se alcanza está en proporción con el tiempo que permanezcan las aguas negras en las alcantarillas, lo que depende de la longitud de éstas hasta ser descargadas en una planta de tratamiento. Por lo tanto la cantidad de cloro que se requiere varía de acuerdo con el tiempo que tenga que retardarse la descomposición de las aguas. No es necesario agregar el cloro requerido por la demanda de cloro de las aguas, sino solamente el suficiente para eliminar el olor y desacelerar la descomposición bacteriana. Es decir, no se deja ningún cloro residual.

2. - Para protección de las estructuras de la planta. - La descomposición de las aguas negras puede llegar hasta la producción de ácido sulfhídrico (H_2S) agente altamente corrosivo que si se encuentra presente en la entrada a la planta causará serios problemas de corrosión en bombas, válvulas, etc., todo el equipo que tenga contacto directo con el agua. Por lo tanto el cloro se usa también en estos casos de eliminación de H_2S ; sólo que aquí el volumen de cloro será todavía menor ya que sólo se trata de suprimir el ácido sulfhídrico.

c) Mejoras en la operación de la planta

1. - En los conductos de distribución a los filtros goteadores o tanques de aeración pudieran presentarse olores ofensivos por lo que una dosificación adecuada en este sitio los suprimiría sin repercutir en la vida de los microorganismos.

2. - Control de abultamiento en lodos activados. - Cuando por una sobrecarga se abultan (flotan) los lodos activados, una precloración en el efluente o en el influente de los sedimentadores primarios disminuiría la carga orgánica en el proceso de aeración; dicha cloración puede también realizarse en el cárcamo de lodos activados que se recirculan al aerador. La dosificación de cloro varía de acuerdo con las variaciones en el índice volumétrico de los lodos y puede calcularse de la siguiente forma:

I. V. l. x F x W x 0.00001 = Kg. de Cl₂ / día ó l. de Cl₂/día

I. V. l. , Índice volumétrico en ml./g.

F, Lodos recirculados en l/día

W, Sólidos suspendidos en los lodos recirculados en mg/l.

Por regla general la cloración de lodos abultados hará descender el índice volumétrico de los lodos, pudiendo ir entonces disminuyendo la dosificación de cloro hasta que se sedimenten nuevamente. En algunas plantas se ha corroborado como un mejor resultado la cloración intermitente de los lodos activados recirculados. En otras se ha comprobado que la cloración continúa a éstos les da mejores resultados.

3. - La adición de cloro a las aguas negras crudas que entran a los tanques de sedimentación primaria se ha usado ocasionalmente como auxiliar en el control de la espuma.

d) Disminución o demora de la demanda bioquímica de oxígeno (D. B. O.)

Debido a esta propiedad del cloro de demorar o disminuir la D. B. O. (facultad de evitar abultamientos por sobrecarga de materia orgánica).

REACCIONES DEL CLORO EN LAS AGUAS NEGRAS

El cloro es una sustancia sumamente activa que reacciona con muchos compuestos dando infinidad de productos. El cloro reaccionará con las sustancias inorgánicas reductoras, después con las orgánicas de carácter reductor formando compuestos orgánicos clorados, los cuales tienen una ligera acción desinfectante, y por último con el NH₃ (amoníaco) y compuestos nitrogenados para formar cloraminas u otras combinaciones del cloro que tienen acción desinfectante.

El cloro que consumen estas sustancias reductoras ya sean orgánicas o inorgánicas se conoce como "demanda de cloro" y es igual a la diferencia entre el cloro agregado y el residual. Ejem. - Una planta de tratamiento de aguas negras produce 3,400 m³/h. de agua tratada, el clorador está ajustado para dosificar 25 Kg. de cloro al día, y el cloro medido mediante la prueba de la ortotolidina después de 15 minutos de contacto demuestra un residual de 0,5 ppm de cloro. ¿Cuál es la demanda de cloro presente en el agua tratada?

Datos : - 25 Kg. de cloro al día; 3,400 m³/día; $\frac{25000 \text{ g}}{3400 \text{ m}^3} = 7.3 \text{ g/m}^3$

O sea se dosificaron 7.3 ppm.

El residual es igual a 0.5 ppm

D. Cl = $7.3 - 0.5 = 6.8$ ppm

Demanda de Cloro = 6.8 ppm

RIESGOS EN EL MANEJO DEL CLORO

El cloro gaseoso es extremadamente tóxico y corrosivo en ambientes húmedos. El cloro gaseoso seco se maneja con seguridad en recipientes y tubería de acero, pero con humedad es necesario utilizar materiales resistentes a la corrosión como lo es la plata, el vidrio, el hule y ciertos plásticos. El gas es sumamente irritante para las membranas mucosas y un pequeño porcentaje en el aire produce fuertes acsesos de tos. Una prolongada exposición puede ser fatal, por lo que es necesario disponer de máscaras contra gases y de personal debidamente aleccionado en los procedimientos de seguridad para que estén alertas al presentarse cualquier fuga. Estas máscaras contra cloro gaseoso deben colocarse en sitios adecuados de manera que estén siempre accesibles para su uso inmediato.

CAPITULO VI

CLASIFICACION DE LOS LODOS

Por su origen:

- a) Primarios
- b) Secundarios
- c) Activados
- d) Químicos

Por su estado:

- a) Crudos o frescos
- b) Digeridos
- c) Elutriados
- d) Húmedos
- e) Secos

TRATAMIENTO DE LOS LODOS

Este tratamiento tiene por objeto:

- a) Disminuir por eliminación de agua el volumen para subsiguientes tratamientos.
- b) Transformar los sólidos orgánicos putrescibles en sólidos orgánicos o inorgánicos más estables o inertes.

La proporción variable de sólidos y agua en los lodos depende de su naturaleza, procedencia (tanques de sedimentación primaria o secundaria) y de la frecuencia con que sean removidos de dichos tanques y puede encontrarse desde 1% en lodos activados acuosos hasta un 10% o más en los crudos concentrados o en los lodos digeridos. Esta concentración de sólidos es importante porque el volumen ocupado es inversamente proporcional al contenido de sólidos.

Es de gran utilidad manejar los lodos lo más concentrados posible por las siguientes razones:

- a) Economizar espacio de almacenamiento en el digestor.
- b) Economizar en la capacidad de las bombas.
- c) Para que los digestores con calentamiento requieran menor cantidad de calor.

METODOS DE TRATAMIENTO DE LODOS

1. Espesamiento
2. Digestión con o sin calentamiento
3. Secado sobre lecho de arena (cubierto o descubierto)
4. Acondicionamiento químico
5. Elutriación
6. Filtración al vacío
7. Secado con calor
8. Incineración
9. Oxidación húmeda

Espesamiento

Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para aumentar su densidad. Su uso se limita principalmente al exceso de lodos acuosos del proceso de lodos activados. También se usa para concentrar lodos de los tanques primarios.

El tanque espesador está equipado con paletas verticales de movimiento lento; este tanque tiene una baja velocidad de derrame, de manera que el exceso de agua se derrama lentamente y tiene una mayor oportunidad de concentrar todos los sólidos en el fondo. Se procede de tal forma de mantener una capa de lodo en el fondo mediante su remoción controlada que puede ser continua y lenta o intermitente. De esta forma se pueden obtener lodos con un contenido de sólidos del 10% o más, con esto se logra el primero de los objetivos del tratamiento de los lodos y por lo tanto unidades de digestión más pequeñas.

Digestión

La digestión de los lodos la verifican los organismos anaerobios es decir, se trata de una degradación en ausencia de oxígeno.

La materia sólida de los lodos crudos está formada aproximadamente de un 70% de materia orgánica y un 30% de materia inorgánica o mineral. Una gran porción de agua de aguas negras se encuentra embebida en los sólidos. Los microorganismos rompen la compleja estructura molecular de los sólidos y liberan el agua embebida obteniendo O_2 y alimento para su desarrollo. Dichos microorganismos (bacterias y otras formas de vida) atacan primeramente a los sólidos disueltos como azúcares. De estas reacciones se forman ácidos orgánicos y gases como el CO_2 y el H_2S . El valor de pH disminuye entonces de 6.8 a 5.1 aproximadamente. Este paso se conoce como etapa de fermentación ácida y se verifica rápidamente. Enseguida comienza la segunda etapa, la cual la llevan a cabo organismos a los que les favorece el medio ácido y se le conoce como período de digestión ácida, durante este período los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados son licuados con mucho menor rapidez. Durante esta etapa el valor pH aumenta desde 5.1 a 6.8. Después de esto comienza la tercera etapa conocida como período de digestión intensa, estabilización y gasificación. Aquí se ven atacados los compuestos nitrogenados más resistentes, como lo son las proteínas y los aminoácidos, etc. El contenido de ácidos volátiles disminuye hasta menos de 500 ppm.

El valor del pH aumenta desde 6.8 hasta 7.4 aproximadamente, aquí se producen grandes volúmenes de gases con un 65% de metano (CH_4) o más. Los sólidos restantes son relativamente estables o muy lentamente putrescibles, pudiendo disponerse de ellos sin crear condiciones indeseables, además de ser de cierto valor para la agricultura.

Si el proceso de digestión de lodos se lleva a cabo en un sólo tanque, como sucede en el tanque séptico, en el de doble acción o en el de digestión simple, todas las etapas descritas se verifican continua y simultáneamente. Los sólidos frescos se van agregando a intervalos frecuentes y los estabilizados se van retirando para su disposición o para su tratamiento posterior en intervalos menos frecuentes. El licor sobrenadante en el digestor, el producto de la licuefacción, son separados a intervalos frecuentes para dar cabida a los sólidos frescos o crudos, el gas es eliminado constantemente.

Como todas las etapas de la digestión se realizan en un sólo tanque, los ácidos producidos en la primera etapa se neutralizan con el NH_3 producido en las siguientes etapas, los mejores y más rápidos resultados se producen cuando predomina sobre todos los pasos el valor de pH de la tercera etapa (6.8 a 7.4).

Las primeras etapas de formación de ácidos y digestión o descomposición de los mismos sólo se ponen de manifiesto al iniciarse la operación en la unidad. Una vez que se establece una buena digestión las

etapas ácidas no son patentes y predomina la digestión alcalina a no ser que se modifique la operación por una sobrecarga por la introducción de productos químicos venenosos u otros motivos. El progreso de la digestión puede medirse por la destrucción de la materia orgánica, o por el volumen y composición de los gases que se produzcan, usando como indicador de la etapa el pH o el contenido de ácidos volátiles. Los lodos crudos contienen usualmente 60 a 70% de sólidos volátiles, mientras que los lodos bien digeridos llegan a tener tan sólo 50%. Los lodos bien digeridos tienen color negro, olor alquitranoso no desagradable y recogidos en una probeta de vidrio deben presentar una estructura granular y mostrar canalizaciones bien marcadas causadas por el agua al subir a la superficie mientras los sólidos se asientan en el fondo. Un contenido de gas carbónico mayor del 35% puede ser un indicio de que el proceso de digestión no marcha correctamente.

Como la digestión es efectuada por organismos vivos, conviene proporcionarles el medio ambiente más adecuado para que sean más activos y lleven a cabo su trabajo con la mayor eficiencia y en el menor tiempo posible. Los factores ambientales que intervienen son la humedad, la temperatura, la disponibilidad de alimento adecuado y la alcalinidad. A estos podrá añadirse la ausencia de productos químicos tóxicos, como la humedad es siempre la adecuada, es de interés estudiar los otros tres factores.

A) Temperatura

Se ha comprobado que la digestión de los lodos se lleva a cabo casi a cualquier temperatura pero esta determina el tiempo que tarda la digestión en completarse. En general al aumentar la temperatura el tiempo de digestión disminuye; también disminuye el tiempo sensiblemente en aquellos digestores donde se hace un mezclado eficiente de los lodos espesados.

La digestión que se lleva a cabo en el ámbito de temperatura de 27 - 38° C (100° F), se llama mesofílica. Otros organismos trabajan mejor a temperaturas superiores a 38° C. (100° F) digestión termofílica. Ambos tipos rinden resultados favorables. Sin embargo, el ámbito que se acostumbra en la operación del digestor es el de 30 - 35° C (85-95° F) pero independientemente de la temperatura seleccionada, ésta debe mantenerse entre límites estrechos de 1 a 2 grados centígrados ya que una variación brusca repercute en el rendimiento de los organismos inactivándolos. Otra razón importante para calentar los digestores es que la producción de los gases es más rápida. En los digestores con calentamiento, debe suministrarse el calor necesario para:

1. Calentar los lodos crudos hasta que la temperatura de interés sea uniforme en todo el tanque.

2. Evitar pérdidas por paredes, tapa y fondo del tanque.

El calor puede suministrarse:

- a) Con circulación de agua caliente a 50° C. (120° F) al través de tuberías o serpentinas fijados interiormente a las paredes del tanque.
- b) Circulación de lodos mezclados del tanque de digestión o de los lodos crudos, por un cambiador de calor fuera del tanque.
- c) Combustión de los gases de los lodos en un calentador sumergido.
- d) Inyección de vapor en el fondo del tanque.
- e) Introducción de aire caliente o vapor a los lodos crudos antes de que entren al tanque.

B) Suministro de alimento

El alimento se encuentra en los sólidos de los lodos. El volumen total de sólidos de lodos que se bomban al digestor, la velocidad de bombeo y el grado de disponibilidad que se proporcione a los diversos grupos de organismos, son factores de primordial importancia para la operación eficiente del digestor. Ya que si se agregan demasiados lodos a un digestor predominará la etapa ácida a tal grado que el medio se volverá desfavorable para los organismos encargados de efectuar la segunda y tercera etapas de la digestión y por lo tanto se trastornará el equilibrio de todo el proceso de digestión y se dice que el digestor está sobrecargado. Esto podrá ocurrir primeramente por un mal diseño en la capacidad del digestor que no sea capaz de absorber los lodos provenientes de las unidades productoras de estos o una falla en el mantenimiento de la temperatura uniforme del digestor, o agregar sólidos frescos en grandes volúmenes a intervalos muy grandes o descargar demasiados lodos digeridos de una sola vez, lo que ocasionará una sobrecarga pasajera. En los digestores sin calentamiento, durante la época de invierno, los organismos estarán casi inactivos, de tal forma que con el advenimiento de la época calurosa habrá en el digestor una acumulación excesiva de sólidos de los lodos. Esto aunado a la digestión normalmente más lenta de los digestores sin calentamiento, requerirá de doble capacidad de almacenamiento que la requerida para aquellos con calentamiento. Los organismos de un digestor son más eficientes cuando se les suministra su alimento en volúmenes cortos y en intervalos frecuentes. Al iniciar la operación de un

digestor es de recomendar para obtener una operación estable más rápidamente, introducir algo de lodos digeridos si se pueden adquirir de otro digestor de alguna otra planta cercana. De esta forma se pueden iniciar todas las etapas de la digestión de una forma casi simultánea en vez de iniciarla con sus respectivas etapas sucesivas. Esta siembra suministra una cantidad adecuada de organismos de la 2a. y 3a. etapas que consuman los productos de la 1a. etapa y así la unidad madurará en menos tiempo.

Con esta siembra se logra también suprimir la formación de espuma y se mejora la transmisión de calor de los serpentines en el interior o de los dispositivos usados para el calentamiento.

Control del pH

El valor de operación normal en el digestor es aproximadamente neutro pH-7, pudiendo encontrarse dentro del siguiente límite, 6.8 - 7.4. Generalmente en un digestor bien diseñado y operado es posible guardar un equilibrio entre los sólidos crudos (frescos) y los que están en la digestión, de tal forma que la reacción permanecerá dentro de estos límites favorables. Si existiese alguna variación fuera de este límite, querrá decir que existe un desequilibrio en el proceso de digestión.

Lechos Secadores de Arena

En el mejor de los casos los lodos más concentrados de un digestor contienen demasiada agua para que se pueda disponer satisfactoria y económicamente de ellos. El lecho secador de arena es un dispositivo que trata o seca adecuadamente los lodos dejando un remanente de humedad inferior al 70% de tal forma que el resto se puede manejar como material sólido. Los lechos de arena consisten de una capa de grava de 30 cm. de profundidad bajo una capa de arena limpia de 15 a 22.5 cm. de profundidad. Bajo la capa de grava debe haber colectores de tejas de junta abierta. Sobre el lecho deben colocarse placas distribuidoras. Los lechos pueden ser cubiertos o descubiertos, pueden cubrirse con vidrieras, como las de los invernaderos. Son más comunes los lechos descubiertos aunque tienen el inconveniente de requerir mayor superficie y están sujetos a humedecimiento y/o congelamiento, sin embargo el costo de construcción es más barato que el del lecho cubierto.

El secado se logra mediante la participación de los fenómenos o factores drenaje y evaporación. El desprendimiento de los gases ocultos y disueltos tiende a hacer que floten los sólidos quedando abajo una capa de licor que escurre o se drena a través de la arena.

El desprendimiento de gases puede aumentar si se agrega un Kg. de alumbre por cada 800 - 2500 litros de lodos. El escurrimiento más importante ocurre durante las primeras 12 a 18 horas. El subsiguiente secado se debe principalmente a la evaporación del agua.

Acondicionamiento Químico

Este tratamiento los prepara para un mejor y más económico tratamiento ulterior. Se han empleado productos químicos tales como el H_2SO_4 , alumbre, caparrosa verde clorada, $FeSO_4$, $FeCl_3$ con o sin cal y otros más.

La adición del producto químico baja el valor de su pH hasta el punto que las partículas más chicas se coagulan formando otras más grandes y el agua contenida en los sólidos de los lodos se separa más fácilmente. No existe un valor óptimo de pH definido para todos los lodos; el mejor valor de pH para los diversos lodos primarios, secundarios y digeridos, debe determinarse en cada caso.

Elutriación

Esto significa purificar por lavado. Los compuestos amfínicos o amoniacales son extraídos de los lodos lavándolos con agua o efluentes de plantas de tratamiento de tal forma que se reduce la demanda de coagulante. Por lo tanto se usa como un pretratamiento antes de verificar la coagulación con productos químicos. El proceso se lleva a cabo en tanques similares a los de sedimentación, en los que los lodos y el agua de lavado entran por extremos opuestos. La elutriación proporciona las siguientes ventajas:

- a) Disminución del 65 - 80% en la cantidad de productos químicos coagulantes.
- b) Menor contenido de cenizas en la torta del filtro.
- c) No se requiere cal.

Sin embargo como siempre es necesario balancear el costo del equipo, operación y disposición de las aguas de lavado contra el ahorro en productos químicos.

Filtración al Vacío

El filtro al vacío que se emplea para eliminar el agua de los lodos, consta de un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, dnyel, fibra de vidrio o de plástico, o una malla de acero inoxidable, o también una doble capa

de limaduras de acero inoxidable. El tambor va montado en un tanque sobre su eje horizontal y sumergido aproximadamente una cuarta parte en el lodo acondicionado. Las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que, a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido a él. Se continúa la aplicación del vacío hasta que el tambor gira fuera del lodo hasta llegar a la atmósfera. Esto hace que el agua salga del lodo, dejando una capa o torta húmeda sobre la superficie exterior, la cual es raspada, soplada o levantada del tambor, justamente antes de que vuelva a entrar nuevamente en el tanque de lodo.

Secado por Calentamiento

Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca del 10 por ciento, cifra muy inferior a la que normalmente se logra en los lechos filtrantes o por medio de la filtración al vacío. Cuando los lodos van a ser incinerados, deben secarse hasta un punto en el que puedan encenderse y quemarse. Para tal fin se emplea el secado por calentamiento. Para ello se usan comúnmente cuatro unidades diferentes, a saber: 1) el horno secador rotatorio, 2) el secador instantáneo 3) el secador de pulverizadores y 4) el horno de hogar múltiple.

Incineración

La incineración de los lodos se considera muy comúnmente como un método para la disposición de estos. Sin embargo se incluye en el tratamiento de los lodos porque el producto final del proceso consiste en cenizas que hay que eliminar.

Hay dos tipos principales de incineradores para lodos: los instantáneos y los de hogar múltiple. Los instantáneos se diseñan para quemar los lodos secos provenientes de los secadores instantáneos o de pulverizadores. Estos son un material ligero que puede insuflarse al hogar tal como se hace con un combustible pulverizado. El calor de combustión se aprovecha para los secadores.

Los de hogar múltiple ya han sido citados previamente en el secado por calentamiento ya que son secadores e incineradores. Consisten en un cilindro vertical forrado con ladrillo u otro material refractario que contiene una serie de cuatro o más hogares, uno encima de otro. Generalmente los lodos parcialmente deshidratados, como los de la torta de un filtro de vacío, alimentan el hogar superior y se secan parcialmente por los gases calientes que llegan de los hogares inferiores. Estos lodos se hacen bajar al siguiente hogar inferior, mediante cepillos rotatorios o rastrillos mecánicos, hasta que alcanzan tal grado de sequedad que entran en ignición y se consumen.

En todos los tipos de incineradores, los gases de combustión deben tener y mantenerse a una temperatura de 675 a 760° C (1,250 y 1,400° F), hasta que queden completamente incinerados. Esto es esencial para evitar olores molestos en la descarga de la chimenea. También es necesario, para lograr una eliminación eficaz de polvo, cenizas y hollín de la descarga del tiro. Se consigue mediante una cámara de asentamiento, con un separador centrífugo, o con un precipitador eléctrico tipo Cottrell. La selección depende del grado de eficiencia eliminatoria requerido por la situación de la planta.

Oxidación Húmeda (proceso Zimmermann)

En este proceso los lodos de las aguas negras desmenuzados al ser forzados a pasar por aberturas de 6.3 mm (un cuarto de pulgada), se precalientan en un tanque mezclador hasta unos 82° C (180° F) y después se alimentan por medio de una bomba rotativa a una bomba de alta presión capaz de descargarlos a una tubería en la que se introduce aire a 84 - 126 kg por cm² (1,200 - 1,800 psi). La mezcla caliente de aire y lodos se pasa entonces por cambiadores de calor que elevan su temperatura hasta cerca de 204° C. (400° F), antes de que la mezcla entre a un reactor vertical de flujo ascendente. Dentro del reactor, el oxígeno del aire se combina con la materia orgánica de los lodos, oxidándolos hasta cenizas y liberando calor. La temperatura en el reactor se eleva hasta cerca de 260° C (500° F). El efluente del reactor pasa por los cambiadores de calor, cediendo la mayor parte de su calor a los lodos de alimentación. La porción líquida del efluente, lleva las cenizas, las cuales pueden ser eliminadas por sedimentación en tanques o, en algunos casos, descargadas con el efluente de la planta. Cuando los gases calientes y el vapor se producen en cantidad suficiente, pueden utilizarse para alimentar una turbina o máquina que produzca la energía necesaria para la compresión del aire. Otros productos de la oxidación húmeda de lodos son: amoníaco, ácidos volátiles y alguna DBO residual. El grado de oxidación depende principalmente de la temperatura en el reactor. Los requerimientos de aire para el proceso, se determinan mediante el poder calorífico de los lodos que se van a oxidar, en Calorías por kilogramo de aire (o en BTU por libra de aire); la humedad de los lodos, y por las condiciones de temperatura y presión en el reactor. El que el proceso, en una determinada planta, se sostenga por sí mismo, o no, depende principalmente del contenido de humedad de los lodos y de su poder calorífico, que a su vez depende del contenido orgánico o volátil.

CAPITULO VII

GASES EN LA DIGESTION DE LOS LODOS

Los gases que se producen en la digestión de los lodos de las aguas negras han llegado a ser el más valioso subproducto del tratamiento de las aguas negras. Su utilización puede disminuir el costo total del tratamiento de las aguas negras y han sido utilizados en numerosas instalaciones para proporcionar toda la energía que se necesita para una planta de tratamiento, incluyendo las instalaciones para bombeo. De hecho las plantas grandes sacan mayor partido del uso económico del gas que las instalaciones pequeñas.

Una vez establecido el régimen de digestión alcalina, la composición de los gases que se desprendan dependerá del proceso al que se hayan sometido las aguas negras y del tratamiento de los lodos y puede ser alterada por desechos industriales. Los gases combustibles (principalmente metano) representan generalmente del 65 - 70% del volumen total y el restante 30 - 35% formado por gases inertes (O_2 , N_2 , CO_2) pero principalmente el dióxido de carbono, pudiendo contener otros gases combustibles como el hidrógeno (H_2) y el ácido sulfhídrico (H_2S). La digestión del humus de los filtros gotteadores, con los lodos primarios mejora el rendimiento de los gases y el poder calorífico por ende, de un 10% a un 25%, en tanto que la digestión del exceso de lodos activados aumenta el rendimiento de los gases (poder calorífico) en un 25% mínimo. Puede demostrarse que cerca de la mitad del poder calorífico de los lodos frescos puede recuperarse por digestión y utilización de los gases, reteniéndose la otra mitad en los lodos digeridos.

Captación y almacenamiento de los gases de los lodos.

Existen en general tres tipos de cubiertas de tanques útiles en la captación de los gases:

- a) Cubiertas fijas
- b) Cubiertas flotantes
- c) Combinación de cubiertas flotantes y depósitos de gas.

Cubiertas fijas. - Estas generalmente forman parte de las estructuras de concreto armado aunque pueden ser de acero, el cual va empotrado en las paredes laterales de concreto. Este tipo de cubierta limita la capacidad interna del tanque, de manera que cuando se agregan lodos frescos, es necesario eliminar descargando un volumen de lodos sobrenadantes en el tanque, o descargar los gases del tal forma que se compense la adición y no se presione el tanque. Cuando se verifica la descarga debe agregarse un volumen

de agua, o de lodos frescos o de gases del depósito de gas para compensar la pérdida y así evitar que se generen presiones negativas.

Cubiertas flotantes. - Estas cubiertas y las que almacenan gases son análogas a las ollas de cocina invertidas, con los bordes sellados por el líquido. Tienen movimiento ascendente y descendente de tal forma que son de capacidad variable y compensan con su movimiento la adición y remoción de lodos y gases. Con cualquier tipo de cubierta los gases se mantienen a presiones bajas alrededor de 15 - 25 cm. de agua. Cuando la velocidad de generación de gases es insuficiente, se procede al almacenamiento de estos en el mismo tanque digestor usando la combinación de cubierta flotante con depósito de almacenamiento, o en tanques separados. Los tanques de almacenamiento pueden ser del tipo de gasómetro de baja presión (presión muy cercana a la del digestor) o de alta presión que generalmente son tanques con forma esférica de acero ya que es la forma estructural más resistente y económica. Aquí la presión de los gases es de aproximadamente 1.7 - 3.4 atmósferas (25 - 50 psi) de esta forma se disminuye el volumen hasta una tercera o cuarta parte del que correspondería a la presión del digestor.

Quando la velocidad de utilización o consumo de los gases no excede a la velocidad de producción de estos, no se requiere almacenamiento y estos pueden ser comprimidos y enviados por tuberías a las unidades de combustión pertinentes. Cualquier exceso de producción se consume en forma automática por un quemador instalado para tal propósito o simplemente se disipa a la atmósfera. Estos quemadores del gas de exceso deben situarse a una distancia segura (no menos de 8 m.) de cualquier estructura de la planta. El o los quemadores deben estar provistos de llamas piloto y deben contar con trampas antirretorno de llamas cercanas al punto de combustión. Si la planta está en un sitio aislado, pudiera descargarse el exceso de gas a la atmósfera mediante un tubo de escape terminado en U y que dé por lo menos a 3 m. sobre la superficie de tránsito. También debe protegerse con una trampa antirretorno de llama.

La tubería para el transporte de los gases debe ser de material resistente a la corrosión debido a que se tiene la presencia del ácido sulfúrico; además deberán estar diseñadas con una pendiente pronunciada para el drenaje y medios para recoger el condensado y para soplarlas a fin de mantener su capacidad. Es necesaria la instalación de medidores de flujo de gas para conocer la velocidad de producción y el volumen obtenido en un lapso determinado. Esto se logra en las plantas chicas instalando un medidor de orificio o uno de desplazamiento del tipo de fuelle. En las plantas grandes se instalan medidores rotativos, todos estos medidores requieren de mantenimiento especialmente los de fuelle que deben ocurrirse y limpiarse con mayor frecuencia.

Utilización de los gases

Se utilizan principalmente para calefacción y para generación de energía eléctrica.

de agua, o de lodos frescos o de gases del depósito de gas para compensar la pérdida y así evitar que se generen presiones negativas.

Cubiertas flotantes. - Estas cubiertas y las que almacenan gases son análogas a las ollas de cocina invertidas, con los bordes sellados por el líquido. Tienen movimiento ascendente y descendente de tal forma que son de capacidad variable y compensan con su movimiento la adición y remoción de lodos y gases. Con cualquier tipo de cubierta los gases se mantienen a presiones bajas alrededor de 15 - 25 cm. de agua. Cuando la velocidad de generación de gases es insuficiente, se procede al almacenamiento de estos en el mismo tanque digestor usando la combinación de cubierta flotante con depósito de almacenamiento, o en tanques separados. Los tanques de almacenamiento pueden ser del tipo de gasómetro de baja presión (presión muy cercana a la del digestor) o de alta presión que generalmente son tanques con forma esférica de acero ya que es la forma estructural más resistente y económica. Aquí la presión de los gases es de aproximadamente 1.7 - 3.4 atmósferas (25 - 50 psi) de esta forma se disminuye el volumen hasta una tercera o cuarta parte del que correspondería a la presión del digestor.

Quando la velocidad de utilización o consumo de los gases no excede a la velocidad de producción de estos, no se requiere almacenamiento y estos pueden ser comprimidos y enviados por tuberías a las unidades de combustión pertinentes. Cualquier exceso de producción se consume en forma automática por un quemador instalado para tal propósito o simplemente se disipa a la atmósfera. Estos quemadores del gas de exceso deben situarse a una distancia segura (no menos de 8 m.) de cualquier estructura de la planta. El o los quemadores deben estar provistos de llamas piloto y deben contar con trampas antirretorno de llamas cercanas al punto de combustión. Si la planta está en un sitio aislado, pudiera descargarse el exceso de gas a la atmósfera mediante un tubo de escape terminado en U y que dé por lo menos a 3 m. sobre la superficie de tránsito. También debe protegerse con una trampa antirretorno de llama.

La tubería para el transporte de los gases debe ser de material resistente a la corrosión debido a que se tiene la presencia del ácido sulfúrico; además deberán estar diseñadas con una pendiente pronunciada para el drenaje y medios para recoger el condensado y para soplarlas a fin de mantener su capacidad. Es necesaria la instalación de medidores de flujo de gas para conocer la velocidad de producción y el volumen obtenido en un lapso determinado. Esto se logra en las plantas chicas instalando un medidor de orificio o uno de desplazamiento del tipo de fuelle. En las plantas grandes se instalan medidores rotativos, todos estos medidores requieren de mantenimiento especialmente los de fuelle que deben escurrirse y limpiarse con mayor frecuencia.

Utilización de los gases

Se utilizan principalmente para calefacción y para generación de energía eléctrica.

Los gases de los lodos destinados a la calefacción de edificios o tanques de digestión se queman en mecheros de baja presión del tipo de rejilla, instalados bajo calderas de hierro colado, o también en quemadores de tipo industrial, en calderas estándar o compactas. En los quemadores de tipo industrial se pueden quemar los gases en un aro concéntrico con un atomizador de aceite combustible. Este sistema es conveniente y económico en aquellas plantas donde la producción de gases no alcanza para todas las necesidades y es menester un combustible adicional. Cuando se usan los gases de los lodos como combustible para la generación de energía eléctrica es conveniente contar con un combustible auxiliar para el caso en que se presenten dificultades en la digestión o cuando la producción de gases o su almacenamiento no sean adecuadas. Como las necesidades energéticas de una planta a otra son muy diferentes y es función de la capacidad de la misma, estas necesidades deben ser calculadas perfectamente para satisfacerlas exclusivamente con los gases producidos en la digestión si así se planea o la conveniencia de contar con un respaldo energético de otro tipo. Los motores de gas pueden conectarse directamente a bombas y sopladores o emplearse para accionar generadores que a su vez suministran la energía eléctrica requerida para bombas, sopladores, motores de rastras, tableros, alumbrado, etc.

Medidas de seguridad para el manejo de los gases de los lodos

Como estos gases pueden contener ácido sulfhídrico en concentraciones que resultan tóxicas, pueden causar asfixia por la falta de oxígeno, además son inflamables y altamente explosivos cuando se mezclan con el aire, pueden ser inodoros y por lo tanto no perceptibles por el olfato cuando no esté presente el ácido sulfhídrico ya que si está presente, éste tiene un olor característico a huevo podrido, (se percibe aún en concentraciones de 0.001%), sin embargo a altas concentraciones puede embotarse el sentido del olfato y resultar fatales, una breve exposición a concentraciones tan bajas como del 0.1%. Si su concentración en los gases es superior a 0.25% es mejor tomar medidas para extraerlo por medio de un lavado ya que además es extremadamente corrosivo dañando toda la instalación en contacto con él. Los gases son violentamente explosivos en mezclas de una parte de gas con 10 o 15 partes de aire. El metano es más ligero que el aire pero el ácido sulfhídrico es más pesado. Por esta razón es conveniente que exista ventilación natural o forzada en todos los espacios donde pudiera acumularse. En espacios encerrados donde exista la posibilidad de formación de mezclas de aire y gases por rupturas u otras causas, las instalaciones eléctricas deberán ser a prueba de explosiones en su totalidad, ya que de otra forma resultarían inútiles. Otra precaución necesaria en las instalaciones modernas de calefacción es un mecanismo que permita purgar con aire y en forma automática la cámara de combustión de la unidad de calefacción después de un apagado o una falta en la flama del piloto, así como antes de que pueda encenderse de nuevo, para estar seguro de que no existe ninguna mezcla explosiva dentro de la unidad. A continuación se enumeran una lista de las medidas de seguridad con las que se debe contar.

1. No permitir fumar ni producir chispas al descubierto en lugares factibles de acumulación de gases.
2. Revisar frecuentemente los dispositivos de seguridad, tales como escapes de alta presión, interruptores de baja presión o alarmas propias para tales situaciones, procurando artificialmente las condiciones que los hagan operar.
3. Revisar frecuentemente las trampas antirretorno de llama para cerciorarse de que no se encuentren obstruidas con basura.
4. Revisar las trampas para recoger condensados y establecer un plan regular de drenaje.
5. En los lugares donde se hayan instalado líneas a prueba de explosión y accesorios eléctricos, vigilar que se mantenga adecuadamente tal protección, reemplazando cuidadosamente los enchufes y cubiertas protectoras cuando sea necesario.
6. Efectuar pruebas periódicas en los lugares peligrosos para saber si hay mezclas inflamables o explosivas mediante el empleo de un explosímetro.
7. No confiar en el olfato para descubrir si hay fugas.
8. Vigilar el funcionamiento de los manómetros.

CAPITULO VIII

DESECHOS INDUSTRIALES

Este término es sumamente amplio ya que incluye todos los desechos sólidos, líquidos y gaseosos que producen todas las industrias de transformación y otras. Es por ello que la cantidad y composición es tan variable. Se comprende de esto que el problema de la recolección, tratamiento y disposición de los desechos industriales es un problema de gran magnitud por su complejidad.

Desechos sólidos. - En general no deben descargarse en los sistemas de alcantarillado porque aumentarían la carga en los desarenadores, tanques de sedimentación y tanques de digestión; ejemplos de este tipo de desecho son los provenientes de minas, las escorias, el aserrín, las cenizas y materiales de desecho de las empacadoras de alimentos. Estos sólidos deben excluirse del desecho líquido porque su eliminación resulta más fácil y barata en su forma original. Para separar de la forma más económica y eficiente los sólidos de los desechos líquidos se requiere de un estudio cuidadoso para cada planta en especial.

Desechos gaseosos. - En épocas recientes se ha hecho hincapié en la necesidad de proteger la atmósfera de contaminantes gaseosos, cosa bastante complicada de llevar a cabo en la forma por todos deseada, ya que es necesario limpiar por difusión de los gases al través de lechos húmedos los materiales o sustancias contaminantes; pero de esto resulta la necesidad de tratar antes de disponer de ella la sustancia líquida limpiadora ahora ya contaminada. Una gran parte de la contaminación atmosférica se debe a procesos de tratamiento de los desechos líquidos. El tratamiento de desechos de cianuro con ácidos y aire transforma a los cianuros en ácido cianhídrico gaseoso que pasa a la atmósfera. El amoníaco (NH_3), los cianuros (CN), los fenoles (OH) y otros pueden ser amarrados a la atmósfera por el vapor originado de las aguas de las plantas de coque.

Desechos líquidos. - Estos se producen en todas las industrias que verifiquen procesos húmedos. Por lo general las aguas industriales de desecho contienen materia mineral suspendida disuelta o en forma coloidal, además de sólidos orgánicos, concentraciones bajas o altas de colorantes, condiciones ácidas o alcalinas, materiales inertes o tóxicos y posiblemente bacterias patógenas. Gran parte de los desechos orgánicos son atribuibles a tratamientos biológicos, tales son los desechos líquidos de la industria lechera, enlatadoras, empacadoras, textiles y papeleras. Los desechos tóxicos que son los que originan gases o vapores venenosos o aquellos que contienen productos químicos o metales capaces de aniquilar el proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas negras, todos los desechos mencionados pueden ser descargados en la corriente receptora siempre y cuando sus concentraciones sean tan bajas que no representen ningún problema para el personal que opera la planta de tratamiento de aguas negras ni para el proceso de degradación bioquímica y que además no sean problema para la actividad biológica natural de las corrientes fluviales.

A continuación se presenta un resumen de las combinaciones de procesos de tratamiento que se usan comúnmente para tratar desechos industriales:

A) Eliminación de los sólidos suspendidos de tamaño apreciable, por medio de cribado o sedimentación.

B) Eliminación de grasas, aceites y sólidos grasos por medio de flotación y desnatado, auxiliado en algunos casos, por tratamiento químico.

C) Eliminación de los sólidos coloidales por floculación con coagulantes químicos y electrolitos seguida de sedimentación o incluso filtración.

D) Neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas por adición de productos químicos.

E) Eliminación o estabilización de los sólidos disueltos mediante precipitación química, permutación iónica, procesos biológicos o combinaciones de estos.

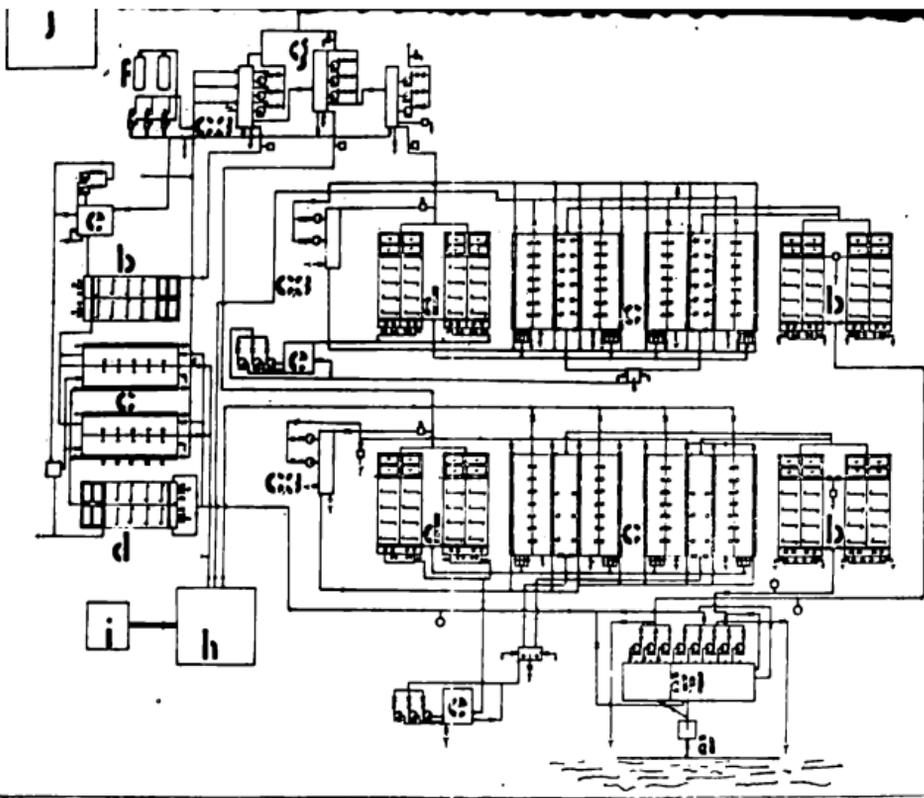
F) Decoloración por tratamiento químico con sedimentación o filtración o con ambas.

G) Reoxigenación de los desechos por medios adecuados de aereación.

H) Disminución de la temperatura de los desechos cuando estos fluyan excesivamente calientes, etc.

CAPITULO IX**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS****NEGRAS**

A) Diagrama de flujo .



f) Descripción del equipo

La planta de tratamiento de aguas negras consta de los siguientes equipos:

- a) Obra de toma, que está formada por:
 1. Compuerta de entrada de agua negra cruda
 2. Rejillas
 3. Desmenuzador, colector
 4. Cárcamo de agua negra cruda
 5. Bombas de agua negra cruda
 6. Cabezal de descarga
 7. Válvulas de salida a los sedimentadores primarios
 8. Válvulas de recirculación al cárcamo
 9. Estructura para maniobras
 10. Válvula de retorno al canal
 11. Medidores de flujo de agua a los primarios
- b) Sedimentadores primarios, que están compuestos de:
 1. Tanque de sedimentación
 2. Rastras eliminadoras de lodos
 3. Desnataores
 4. Tolvas para purga de lodos
 5. Válvulas de admisión de agua negra cruda
 6. Válvulas de sifón para purga de lodos
 7. Válvulas para drenado del tanque
 8. Vertedores de agua decantada

c) **Aeradores que están formados por:**

1. **Tanques de aeración en U**
2. **Sistema de alimentación de aire**
3. **Sistema de eliminación de espuma por aspiración**
4. **Válvulas de admisión de agua effluente del primario**
5. **Válvula de entrada de lodos activados**
6. **Válvulas salida de licor mezclado**
7. **Válvula de drenado**

d) **Sedimentadores secundarios compuestos de:**

1. **Tanque de sedimentación de lodos activados**
2. **Rejas para eliminación de lodos**
3. **Válvulas de admisión de licor mezclado**
4. **Válvulas de salida para enviar lodos al sistema de recirculación de lodos activados**
5. **Válvulas de drenado**
6. **Vertedores de agua tratada**

e) **Sistema de recirculación de lodos activados compuestos de:**

1. **Cárcamo de lodos activados**
2. **Bombas de recirculación de lodos**
3. **Caja partidora de lodos o caja distribuidora**

f) **Sistema de cloración, compuesto de:**

1. **Cloradores**
2. **Evaporador**
3. **Línea de agua tratada para alimentación de los cloradores**
4. **Bombas de cloradores**
5. **Caseta de cilindros de cloro**

6. Línea de clozación al efluente final

- g) Sistema de bombeo de agua negra tratada, compuesto de:
1. Medidor Parshall
 2. Cárcamo de agua negra tratada
 3. Bombas de agua negra tratada
 4. Válvulas de descarga de agua negra tratada
 5. Cabezal
 6. Línea de conducción
 7. Líneas de interconexión de cárcamo, derrame al drenaje y purga de cárcamo
 8. Válvula de recirculación de cárcamo
- h) Caseta de control y sopladores, compuesta de:
1. Tableros de control
 2. Sopladores de aire (3/unidad)
 3. Grúa viajera
 4. Compresor de aire para instrumentos
- i) Subestación, compuesta de:
1. Transformadores de 220 Kv.
 2. Transformadores de 400 Kv.
 3. Interruptor principal
 4. Transformador de 110 KV. para alumbrado
- j) Departamento de control, compuesto de:
1. Oficina del ingeniero químico
 2. Laboratorio químico

3. Cuarto de control
4. Comedor
5. Cuarto de herramientas
6. Almacén

DESCRIPCION DEL PROCESO

El agua del gran canal pasa por la compuerta de entrada a la obra de toma, donde se regula la cantidad o gasto según las necesidades de la planta; atraviesa las rejillas cuya misión es la de impedir el paso de sólidos de gran tamaño tales como maderas, huesos, cartones, recipientes de plástico, etc., y llega al desmenzador que en esta planta se utiliza únicamente para eliminación de tapos, bolsas de plástico, estopas y demás basuras (no conviene desmenuzar estos materiales porque se aumentaría la carga de materia orgánica).

El agua después de pasar por las rejillas llega al cárcamo de agua negra cruda, donde la succiona las bombas respectivas para mandarla a un cabezal de distribución, en donde mediante el manejo de válvulas, se controla el envío de agua negra cruda a las plantas de tratamiento 1, 2, 3, la recirculación al cárcamo y el retorno de agua al gran canal.

Hay dos medidores que registran la cantidad de agua que se está enviando a la planta No. 1 y a las plantas 2 y 3 ya que éstas últimas funcionan en realidad como una sola unidad dividida en varias secciones.

El agua procedente de la obra de toma pasa a los tanques de sedimentación primarios, en donde al disminuir su velocidad lineal, se favorece que se depositen en el fondo los lodos primarios. Las materias cuya densidad es menor que la del agua, tales como los aceites, grasas, jabones y productos de origen vegetal y animal, flotan en la superficie del agua cruda, formando una capa o nata que se elimina mediante unos canales tubulares o desnatadores colocados antes de los vertedores. Las rastras conducen los lodos en el fondo del tanque que tiene una ligera pendiente hacia el extremo del mismo, donde las válvulas de sifón succionan el lodo y lo envían al drenaje, agua abajo del gran canal.

Las rastras, después de enviar los lodos hacia las tolvas, suben hasta la superficie del tanque y van empujando la capa superficial de impurezas hacia los desnatadores, donde son conducidas al drenaje, mediante palancas que controlan la cantidad de agua requerida para la desnatación.

El agua decantada y desnatada después de un tiempo de retención de aproximadamente 2 - 3 horas promedio, sale del tanque sedimentador primario por los vertedores (en donde se disminuye la velocidad de salida mediante unas cimas dentadas con ranuras en V) y se envía por gravedad y mediante canales a los tanques de aereación o aeradores.

La remoción de materia orgánica en el sedimentador primario es aproximadamente de 35%, de modo que el 65% restante pasa a los tanques de aereación. El volumen de lodos en el sedimentador primario es de 1 a 2% del volumen del caudal tratado.

De manera que para un gasto de 300 lps - $300 \times 86,400 = 25,920,000$ l./día, se tendrá una producción de lodos de 259,200 a 518,400 l./día, los cuales deben eliminarse mediante las purgas con las válvulas de sifón que deberán ser operadas cada tres a cuatro horas aproximadamente, dejándolas abiertas de 5 a 6 minutos durante cada purga.

La desnatación deberá hacerse de modo que se elimine la mayor cantidad de impurezas, cuidando de no tirar demasiada agua ni inundar los canales desnatadores, pues se perdería su función; pero la desnatación debe hacerse en forma continua.

El agua decantado y desnatado al llegar a los tanques de aeración recibe la cantidad de aire requerida para el desarrollo de los microorganismos aeróbicos o sea los que necesitan aire para vivir y reproducirse. Esta cantidad de aire es controlada mediante los análisis periódicos de oxígeno disuelto.

El aire se envía a los tanques de aeración mediante los sopladores, las líneas de conducción y los cabezales de distribución. Los cabezales de distribución en la unidad No. 1 tienen difusores de un material poroso, de modo que el aire sale en burbujas muy pequeñas, obteniéndose de ese modo un mayor contacto con el agua y por tanto la cantidad de aire necesario para la correcta aeración no es muy grande, consumiéndose relativamente poca energía eléctrica.

En las unidades 2 y 3 los cabezales de distribución tienen orificios de $\frac{1}{2}$ " ϕ , por lo que las burbujas salen de un tamaño mucho mayor que en la unidad No. 1; por esta circunstancia la cantidad necesaria de aire para una correcta aeración es mucho mayor, consumiéndose también mayor energía eléctrica en los sopladores que desde luego son de mayor tamaño y capacidad.

Los microorganismos al encontrarse en un medio propicio para su desarrollo con suficiente aire y suficiente alimento que es la materia orgánica presente en el agua, se multiplican rápidamente, consumiendo esta materia orgánica y formando lo que se llama lodos activados.

El tiempo de retención del agua en los tanques de aeración es de aproximadamente 6 horas en la unidad No. 1, 8 horas en la unidad No. 2, y durante este tiempo se mezclan primero el agua efluente del sedimentador primario, luego esta mezcla recibe el oxígeno del aire procedente de los sopladores, comenzando el proceso de lodos activados, consistente en la eliminación de la materia orgánica disuelta, suspendida y coloidal por los microorganismos.

Para el correcto control de este proceso biológico se debe atender lo siguiente:

a) El ajuste de la cantidad de lodos de retorno que entran al tanque de aeración.

b) El control del oxígeno disuelto tanto en el efluente del tanque de aeración, llamado también licor mezclado, como en el efluente del sedimentador secundario denominado también efluente final. Este control se debe llevar de modo que se mantengan las condiciones de vida en los lodos activados, tanto en los tanques de aeración como en el sedimentador secundario y en los lodos de retorno.

El control de la cantidad de sólidos suspendidos (lodos activados) en el licor mezclado es de vital importancia para obtener la máxima calidad de agua en el efluente final.

A continuación el efluente de los tanques de aeración, o sea el licor mezclado pasa por gravedad al tanque de sedimentación secundaria, en donde se tiene un tiempo de retención de aproximadamente dos horas para permitir el asentamiento o sedimentación de los lodos activados. Las mallas de este tanque conducen los lodos en el fondo que tiene una ligera inclinación hacia el extremo donde están las tolvas y las válvulas de sifón.

Por medio de las válvulas de sifón el lodo activado se envía al cárcamo de lodos, en donde las bombas correspondientes lo recirculan a la caja partidora de lodos y allí una parte pasa a los tanques de aeración y el exceso de lodos es enviado al drenaje.

El agua clarificada sale del sedimentador secundario en el extremo donde se encuentran los vertedores. A esta agua se le llama efluente final.

El efluente final pasa por un canal hasta el medidor Parshall y llega al cárcamo de agua negra tratada, en donde las bombas correspondientes la succionan y la envían mediante la línea de conducción hasta la termoelectrica "Valle de México" en donde se utiliza en los sistemas de enfriamiento.

El efluente final recibe una cloración continua con el objeto de destruir a los microorganismos que hayan sido arrastrados, ya que son perjudiciales, atacan la madera de las torres y los metales de los sistemas de enfriamiento.

Las bombas de agua negra tratada operan en automático, de modo que si el nivel disminuye se para la bomba No. 1, si continúa bajando el nivel se para la No. 2 y lo mismo sucede con la No. 3. Cuando el nivel sube, sucede exactamente lo contrario, es decir, arrancan primero la bomba No. 3, después la No. 2 y por último la No. 1.

CAPITULO X

MUESTREO DE LAS AGUAS NEGRAS

El valor de cualquier resultado de laboratorio depende de la integridad de la muestra. El objeto del muestreo es recoger una porción de aguas negras lo suficientemente pequeña en volumen para ser manejada convenientemente en el laboratorio y no obstante ser representativa de las aguas negras a examinar. La toma de la muestra debe realizarse con todo cuidado a fin de no perder ni agregar nada en la porción tomada y además evitar que se produzca algún cambio durante el tiempo que transcurre a partir de la recolección hasta la prueba de laboratorio. De no satisfacer lo anterior, los resultados obtenidos en el laboratorio carecerán de representatividad y serán de peores consecuencias que la falta de ellos. En general la toma de muestras debe considerar los siguientes puntos:

- a) La muestra debe ser extraída en el punto donde se asegure que existe el mayor grado de mezcla.
- b) Deben excluirse las partículas grandes, considerándose como grandes las que sean mayores de 6 mm. (un cuarto de pulgada).
- c) No debe incluirse en el muestreo los sedimentos, crecimientos o materia flotante que se haya acumulado en la región de muestreo.
- d) Los exámenes de laboratorio deben efectuarse lo más rápido posible, si se retienen por más de una hora deben enfriarse sumergiendo el vaso de muestra en agua helada lo que retarda la acción bacteriana.
- e) Debe procurarse que las zonas seleccionadas para la toma de muestras queden lo más accesible posible ya que de esta forma la ejecución será más fácil. Existen dos tipos de muestras para recolectarse dependiendo del tiempo disponible de los análisis que hayan de verificarse y del propósito de estos:
 1. Muestras instantáneas y
 2. Muestras integrales o compuestas.

Muestras instantáneas . .

No son representativas de las aguas negras de composición media, puesto que reflejan únicamente las condiciones en el momento del muestreo. A pesar de esto, en muchas plantas el tiempo disponible para el muestreo es tan corto que se tienen que usar muestras instantáneas. Estas muestras deben recogerse cuando la planta esté operando a su máxima capacidad, es decir en el momento de mayor gasto, si en este momento los resultados de los análisis son satisfactorios, será razonable

suponer que estos resultados se conservarán en otros períodos de menor gasto (menor carga orgánica). Para la determinación del pH y del cloro residual se sacan muestras instantáneas para conocer con exactitud las variaciones de estos parámetros en el agua negra.

Muestras integradas o compuestas.

Indican las condiciones de las aguas negras durante cierto período, ya que el muestreo se verifica en intervalos iguales de tiempo y después se mezclan todas las muestras en una sola muestra representativa. Aquí quedan eliminados los efectos de los cambios intermitentes de gasto y concentración. De esta forma se obtiene un resultado promedio. Si las fluctuaciones de gasto y concentración no son repentinas, basta con tomar porciones cada hora durante períodos de 12 horas. Si son repentinas y bruscas puede requerirse muestras cada media hora o cada cuarto de hora. Por razones obvias, las muestras integradas se usan para determinar las características de las aguas negras que se van a tratar y la eficiencia de las unidades de tratamiento.

Muestreo de lodos

Para recoger muestras de lodos a diferentes profundidades en un tanque se puede utilizar un aparato muestreador hecho de hierro fundido o de bronce con contrapesas de plomo. Este puede introducirse en el tanque por medio de una cadena marcada para identificar la profundidad a la cual se está llevando a cabo el muestreo.

El aparato está provisto de válvulas que operan mediante una cuerda, de manera que un tirón de la cuerda, en la profundidad deseada, abra las válvulas y entren los lodos desde el fondo mientras escapa el aire por la boca. Para recoger muestras de lodos cuando éste se esté descargando o bombeando, tómense muestras instantáneas del mismo tamaño en un cucharón al empezar, durante y al final del período de descarga, mézclense estas muestras y tómense unos 500 ml. para los análisis de laboratorio.

ANÁLISIS DE CONTROL EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Sólidos suspendidos. - Es recomendable usar muestras instantáneas durante el período de gasto máximo, o bien una muestra integrada y refrigerada. El equipo que generalmente se usa para esta prueba consta de crisoles Gooch, un matríz de filtración al vacío, bomba de vacío, estufa para secado, desecador, balanza analítica, probeta graduada de 100 ml., medio filtrante de asbesto lavado y calcinado y un mechero de gas o un horno eléctrico (mufla).

Técnica

- a) Prepárese una suspensión de 15g. de medio filtrante de fibra de asbesto en 1000 ml. de agua destilada y viértase una porción a través de un crisol Gooch en el matríz de filtración al vacío para dejar una capa de unos 3 mm. de espesor.
- b) Quítase cuidadosamente la capa de asbesto con una espátula o unas tenazas. Inviértase y vuélvase a poner en el crisol Gooch.
- c) Lávese con agua destilada (100 ml.)
- d) Procédase a secar el crisol con una capa en la mufla a 103° C.
- e) Caléfnese el crisol con su capa en la misma o sobre un mechero de gas.
- f) Enfréese en el desecador y pésele.
- g) Vuélvase a colocar el crisol en el matríz de filtración al vacío y viértase una cantidad medida de la muestra dentro del crisol filtrando. Esto será más rápido si la muestra se agrega paulatinamente.
- h) Enjuéguese la probeta con agua destilada y viértase el enjuague en el crisol filtrando.
- i) Séquese el crisol en la estufa durante una hora a 103° C.
- j) Enfréese en el desecador y pésele.
- k) Caléfnese el crisol al rojo pardo hasta que las cenizas queden blancas o rojas.
- l) Enfréese en el desecador y pésele rápida mente.

La diferencia entre el peso del crisol antes de la filtración (f) y el peso del crisol después de la filtración (j) es el peso en gramos de los sólidos suspendidos totales.

$$\text{Peso de los sólidos suspendidos en g.} \times \frac{1,000,000}{\text{ml. de muestra}} = \text{ppm de sólidos suspendidos totales.}$$

La diferencia entre el peso del crisol después de la filtración (j) y el peso del crisol después del calcinado (l) es el peso, en gramos de las pérdidas por calcinación.

$$\text{Peso de las pérdidas por calcinación en g.} \times \frac{1,000,000}{\text{ml. de muestra}} = \text{mg/l de materia suspendida volátil.}$$

$$\frac{1000 \text{ mg.}}{\text{g.}} \times \frac{1000 \text{ ml.}}{\text{l.}}$$

La diferencia de sólidos suspendidos totales y materia suspendida volátil es igual a los sólidos suspendidos fijos.

Sólidos sedimentables. - También se usan muestras instantáneas durante el período de gao máximo, dejando que transcurra de ser posible un período igual al tiempo de retención total de las diversas unidades de la planta.

Equipo. - Dos o más conos de Imhoff dependiendo del número de lugares donde se haya tomado la muestra. Estos son grandes conos de cristal de un litro, con el extremo inferior graduado en ml. Mojando el cono con agua destilada antes de usarlo para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.

Técnica.

- Una muestra medida generalmente de un litro, se vierte suavemente en un cono y se deja reposar durante 45 minutos aproximadamente.
- Después del reposo, hágase girar el cono entre las manos lentamente para desprender los sólidos que se hayan adherido a las paredes.
- Déjese sedimentar por espacio de 15 - 20 minutos más.
- Léase, con ayuda de las graduaciones, el volumen del material depositado, haciéndose ajustes por cualquier porción vacía del cono, por debajo del nivel de los sólidos sedimentados.

$$\text{ml. de sólidos} \times \frac{1000 \text{ ml./l.}}{\text{ml. de muestra}} = \text{ml. de sólidos sedimentados por litro.}$$

Si las muestras se recogen del influente y del efluente de cualquier unidad de la planta, puede calcularse la eficiencia del tanque de la siguiente forma:

$$\frac{\text{ml. de sólidos por litro del influente} - \text{ml. de sólidos por litro del efluente}}{\text{ml. de sólidos por litro del influente}} \times 100 = \text{Porcentaje de sólidos sedimentables eliminados.}$$

Oxígeno disuelto. - Las muestras deben tomarse de tal forma que el frasco quede completamente lleno de líquido que no haya estado en contacto con el aire y que no quede ninguna burbuja de aire bajo el tapón. Debe anotarse la temperatura de las muestras en el momento del muestreo.

Equipo. - Un frasco para muestras de 300 ml. con tapón esmerilado; pipetas graduadas en 0,1 ml. de 5 ml.; probeta graduada; matríz Erlenmeyer de 500 ml. bureta con su soporte y pinzas; ácido sulfúrico concentrado, soluciones normales de alcali - yoduro - nitruro y de sulfato manganoso, frasco gotero de 30 ml., solución indicadora de almidón, tiosulfato de sodio 0,025 N y un termómetro.

Técnica. -

- a) Agréguese a la muestra 2 ml. de solución de sulfato manganoso y 2 ml. de solución alcalina de yoduro-nitruro.
- b) Agítase durante 15-20 segundos invirtiendo el frasco.
- c) Déjese reposar para el asentamiento del precipitado formado.
- d) Agréguese 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado y agítase.
- e) Tómense 200 ml. y pénsense al matríz Erlenmeyer procurando que sean mínimas las pérdidas.
- f) Valórese el yodo liberado con tiosulfato 0,025 N, hasta el vire a un color amarillo pálido.
- g) Agréguese un ml. de almidón y continúese la titulación cuidadosamente hasta la decoloración, sin tomar en cuenta ninguna reaparición de color.

El resultado se expresa en ppm de oxígeno disuelto o en porcentaje de saturación. El número de ml. de tiosulfato gastado es equivalente a las ppm de oxígeno disuelto. El porcentaje de saturación se calcula dividiendo el oxígeno disuelto de la muestra en mg/l. entre el oxígeno disuelto en agua limpia o agua de mar de salinidad adecuada saturada a la temperatura de la muestra y multiplicando por 100.

ml. gastados de tiosulfato = ppm de O₂ disuelto

$$\frac{\text{ppm de O}_2 \text{ disuelto encontrado a } T^{\circ}C}{\text{ppm de O}_2 \text{ disuelto en agua saturada a } T^{\circ}C} \times 100 = \text{Porcentaje de saturación.}$$

Índice volumétrico. - Se toman muestras instantáneas del licor mezclado a la salida del tanque o de los tanques de aeración, procurando el mínimo de agitación.

Equipo. - Crisoles Gooch, matriz de filtración al vacío, bomba de vacío, probeta graduada de 1 litro, estufa secadora, desecador, balanza analítica, probeta graduada de 100 ml. fibra de asbesto lavada y calcinada y mufla o mechero de gas.

Técnica.

- a) Viértase la muestra poco a poco en la probeta graduada de 1000 ml. hasta la marca.
- b) Déjese en reposo durante 30 minutos, para lograr el asentamiento.
- c) Una vez asentado el lodo, mézclase el volúmen ocupado por estos.
- d) Mézclase bien la muestra o úsese otra porción de la muestra original, y determínense los sólidos suspendidos.

El índice volumétrico de los lodos como se definió en el capítulo IV es el volúmen en ml. de un gramo de lodos activados en el licor mezclado, después de 30 minutos de sedimentación, y se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Volúmen de los lodos sedimentados}}{\text{ppm de sólidos suspendidos}} \times 1000 = \text{Índice volumétrico (ml/g)}$$

Demanda bioquímica de oxígeno (D₅O). - La muestra debe tomarse de la misma forma en que se toma para la prueba de oxígeno disuelto. Pueden usarse muestras instantáneas, pero es preferible una muestra integrada, ya que es más representativa de la composición media. Generalmente esta prueba se realiza en el influente a la planta (agua negra cruda) y en el efluente (agua negra tratada) antes de la cloración.

Equipo.

Un cucharón de aluminio para el muestreo, frascos claros de cristal con tapón esmerilado de 300 ml., pipetas graduadas en 0.1 ml. de 5 ml., pipetas graduadas en 0.1 ml. de 1 ml., probeta graduada de 250 ml., matriz Erlenmeyer de 500 ml., bureta con soporte y pinzas, frasco coterio de 50 ml.

frasco de 20 l. (5 galones), bomba de vacío para la filtración, pipetas para transferir de 5, 10, 20, 50 y 100 ml., balanza analítica, baño de agua a 20° C., termómetro sifón de vidrio, tubo de hule latex y pinza para el tubo de hule.

Reactivos

- 1) Acido sulfúrico concentrado
- 2) Sulfato manganoso, 480 gramos de $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, ó 400 g. de $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ por litro.
- 3) Alcali-yoduro-azida, 500 g. de NaOH y 135 g. de NaI se disuelven por separado y se mezclan para ajustarse a un litro. Justamente antes de usarse se disuelve un gramo de NaN_3 en 100 ml. de la solución alcalina de yoduro, no se calienta. Se requieren tres horas para que se disuelva el NaN_3 . La solución alcali-yoduro-azida es estable solamente durante dos semanas.
- 4) Tiosulfato de sodio N/40. Dilúyase un volumen de N/10 con tres volúmenes de agua destilada para hacer tiosulfato de sodio N/40 el cual es estable solamente durante unas dos semanas y debe usarse recientemente preparado o revalorarse.
- 5) Indicador de almidón de cinco gramos por litro; se preserva con 1.25 g. de ácido salicílico.
- 6) Cloruro férrico; 0.25 g. de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ por litro.
- 7) Cloruro de calcio; 27.5 g. de $CaCl_2$ por litro .
- 8) Sulfato de magnesio; 22.5 g. de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ por litro.
- 9) Solución reguladora de fosfato de amonio. Disuélvanse 8.5g. de KH_2PO_4 , 21.75 gramos de K_2HPO_4 , 33.4 g. de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ y 1.7 g. de NH_4Cl en unos 500 ml. de agua destilada y dilúyase a un litro. El pH de esta solución reguladora debe ser de 7.2 sin ulterior ajuste.

Técnica. -

1. Aerócese 20 litros (5 galones) de agua destilada.
2. Agréguese 18.9 ml. de solución de cloruro férrico 18.9 ml. de solución de cloruro de calcio, 18.9 ml. de solución de sulfato de magnesio y 18.9 ml. de solución reguladora de fosfato de amonio (pH 7.2) al agua de dilución y mézclase bien.
3. Por medio de sifón pásese agua de dilución a un frasco de 300 ml. de tapón esmerilado hasta que quede lleno aproximadamente a la mitad.

4. Al frasco lleno hasta la mitad agréguese con una pipeta la cantidad de muestra deseada. Las cantidades podrían ser:

Aguas negras crudas 3.0 a 6.0 ml.

Aguas negras sedimentadas 6.0 a 12.0 ml.

Efluente final 50 a 100 ml.

5. Lléñese el frasco hasta el cuello con el agua de dilución y tápese de manera que no queden atrapadas burbujas de aire.

6. Lléñese otro frasco de 300 ml. con agua de dilución solamente.

7. Colóquense ambos frascos en un baño de agua a 20° C.

8. Determinese el oxígeno disuelto de la muestra si es de un efluente o de una corriente. El oxígeno disuelto de las aguas negras crudas o sedimentadas puede considerarse como igual a cero.

9. Después de cinco determinese el oxígeno disuelto en cada una de las muestras incubadas por el procedimiento descrito al principio.

10. Determinese el volumen exacto de cada uno de los frascos de 300 ml.

Cálculo. -

Los resultados se expresan en ppm de demanda bioquímica de oxígeno.

Identificación de Frasco	A	B
Volúmen del frasco	305	295
Volúmen de la muestra	0	5
Valoración de 200 ml. después de 5 días de incubado:		
1. Lectura de la bureta después de la titulación	8.2	12.7
2. Lectura de la bureta antes de la valoración	0	8.2
3. ml. de tiosulfato N/40 usado: (1) - (2)	8.2	4.5

Oxígeno disuelto en la muestra de aguas negras	A	B
Oxígeno disuelto inicial calculado	8.2	8.1
Oxígeno disuelto final	8.2	4.5
Disminución del oxígeno disuelto	0	3.6
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días 212 mg/l		

Volúmen del frasco. - Debe determinarse el volúmen de cada frasco llenándolo con agua, poniéndole su tapón y midiendo después su contenido en una probeta graduada; también pueden comprarse frascos de 300 ml.

Volúmen de la muestra. - Es el volúmen de muestra que se vierte en cada frasco.

Cálculo del oxígeno disuelto inicial. - Es el oxígeno disuelto disponible del agua de dilución con la muestra.

Volúmen del agua de dilución = $295 - 5 = 290$ ml.

Volúmen de la muestra = 5 ml.

Oxígeno disuelto de agua de dilución = 8.2 ppm

Oxígeno disuelto de la muestra = 0.

Oxígeno disuelto inicial = Volúmen del agua de dilución por oxígeno disuelto de agua de dilución, más el volúmen de muestra por oxígeno disuelto de la muestra y todo dividido entre el volúmen de la muestra más el agua de dilución.

$$\frac{290 \times 8.2 + 5 \times 0}{295} = 8.1 \text{ ppm}$$

Oxígeno disuelto final es el oxígeno disuelto determinado por la valoración; ml. de tiosulfato N/40 gastados, igual a las ppm de oxígeno disuelto cuando se valora una muestra de 200 ml.

Abatimiento del oxígeno disuelto es la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial calculado 8.1 ppm y el oxígeno disuelto final 4.5 ppm.

Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días es el oxígeno disuelto requerido por la muestra sin diluir, expresado en ppm.

$$\text{Abatimiento del oxígeno disuelto} \times \frac{\text{Volúmen del frasco}}{\text{Volúmen de la muestra}} = 3.6 \times$$

$$\frac{295}{5} = 212 \text{ mg/l.}$$

Demanda química de oxígeno

1. - Discusión general

a) Principio

La determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), proporciona la medida del oxígeno que es equivalente a la porción de materia orgánica, presente en una muestra de agua, capaz de oxidarse por procedimientos químicos (oxidante fuerte).

Una de sus principales limitaciones es su incapacidad para diferenciar la materia orgánica biológicamente oxidable de la inerte. Además, no proporciona una evidencia de la velocidad a la cual el material biológicamente activo se estabilizaría en las condiciones que existen en la naturaleza.

Su mayor ventaja es la rapidez con que se efectúa, ya que se necesitan tres horas como máximo para su valoración, en lugar de los cinco días que se requieren para medir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

b) Muestreo y almacenamiento de las muestras

Las muestras que contienen sólidos sedimentables deben homogenizarse suficientemente por medio de un mezclador para que sean representativas. Deben analizarse inmediatamente después de su colección, si no es posible, deben preservarse con 5 ml. de ácido sulfúrico 1 - 1 o refrigerarse a 4°C.

c) Relación entre DQO y DBO

No es posible establecer relaciones fijas entre la DBO y la DQO antes de que una muestra de la haya sido determinada por ambos parámetros.

Sólo se podrá establecer si la muestra está compuesta principalmente por sustancias oxidables por ambos procedimientos.

Cuando los desechos se caracterizan por el predominio de materia que puede ser química y no bioquímicamente oxidada, la DQO será mayor que la DBO. Desechos textiles, de fábricas de papel o aguas residuales domésticas, conteniendo concentraciones elevadas de celulosa, tendrán una DQO mayor que la DBO.

Cuando los desechos contienen sólo alimento bacterial orgánico, fácilmente degradable y no materia tóxica, la DBO será mayor que la DQO, como en los desechos de destilerías o refineras.

Con ciertos desechos que contienen sustancias tóxicas, la DQO puede ser el único método para determinar la carga orgánica.

2. - Significado sanitario

La demanda química de oxígeno es un parámetro importante y rápido para determinar el grado de contaminación de corrientes y aguas residuales industriales y para el control de las plantas de tratamiento de aguas de desecho. Junto con la prueba de DBO, la DQO es útil para indicar la presencia de sustancias tóxicas y de sustancias orgánicas resistentes biológicamente.

3. - Selección del método (Método del dicromato de potasio)

a) Principio

Se han propuesto varias sustancias para la determinación de la demanda química de oxígeno, pero se ha encontrado que el dicromato de potasio es el más práctico de todos, ya que es un oxidante potente en soluciones fuertemente ácidas; es capaz de oxidar una amplia variedad de sustancias orgánicas casi completamente a dióxido de carbono y agua. Además, es un compuesto relativamente barato y puede ser obtenido en un elevado estado de pureza. Este método se basa en que muchos tipos de materia orgánica son destruidos por una mezcla de ácidos crómico y sulfúrico en ebullición. Consiste en someter una muestra a reflujo, contentando materia orgánica con ácido sulfúrico y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) valorado. Durante el período de reflujo, la materia oxidante reduce una cantidad equivalente de $K_2Cr_2O_7$; el remanente es valorado con una solución de sulfato ferroso amoniacal de concentración conocida. La cantidad de $K_2Cr_2O_7$ reducido (cantidad de $K_2Cr_2O_7$ agregado menos cantidad de $K_2Cr_2O_7$ restante) es una medida de la cantidad de materia orgánica oxidada.

El ion ferroso es un agente reductor excelente para el dicromato de potasio. Sus soluciones se preparan mejor con sulfato ferroso amoniacal, el cual se obtiene en forma pura y estable. En solución, sin embargo, como casi todas las soluciones de agentes reductores, es lentamente oxidado por el oxígeno del aire, por eso se requiere que se valore cada vez que se use, esto se hace con solución de dicromato de potasio de concentración conocida. La reacción entre el sulfato ferroso amoniacal y el dicromato de potasio se representa como sigue:



Como en el caso de la oxidación biológica no todos los compuestos son oxidados por este método químico. Algunos compuestos son oxidados completamente, sin dificultad, como: azúcares, cadenas alifáticas ramificadas y anillos bencénicos sustituidos. Otros compuestos no son oxidados por este método, entre los principales se encuentran: benceno, tolueno y piridina.

Algunos compuestos son parcialmente oxidados, pero se puede aumentar la eficiencia de la oxidación mediante la adición de sulfato de plata como catalizador a la solución de reflujo, dichos compuestos son por ejemplo: cadenas de ácidos lineales, alcoholes y aminoácidos. No hay ventaja en usar el catalizador en presencia de hidrocarburos aromáticos.

Generalmente se podría esperar que la DBO última de una agua residual se aproximara a la DQO, pero hay muchos factores que desmenten esta información, incluyendo:

- 1) Muchos compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato de potasio no son oxidables bioquímicamente.
- 2) Ciertas sustancias inorgánicas como hierro ferroso, sulfuros, sulfitos, tiosulfatos y nitritos son oxidadas por el dicromato, creando una DQO inorgánica, la cual interfiere cuando se estima el contenido orgánico de una agua residual.
- 3) Los resultados de DBO pueden estar afectados por la carencia de un inóculo aclimatado dando resultados erróneamente bajos. Los resultados de DQO son independientes de esta variable.
 - b) Ciertos iones inorgánicos reducidos pueden ser oxidados en las condiciones de la prueba DQO y, por consiguiente, ocasionar resultados erróneamente altos. Los cloruros causan el problema más serio, debido a su concentración relativamente grande en la mayoría de las aguas residuales:



Afortunadamente esta interferencia se puede eliminar por la adición de sulfato mercuríco a la muestra antes de la adición de los otros reactivos. El ion mercuríco se combina con el ion cloruro para formar cloruro mercuríco escasamente ionizado:



Si se agrega una cantidad insuficiente de sulfato mercuríco, HgSO_4 el exceso de cloruros precipitará el catalizador como sigue:



Como la presencia del catalizador de plata es esencial para la oxidación de los compuestos anteriormente citados, se pueden esperar resultados erróneamente bajos de DQO.

c) Equipo

1. Matraces Erlenmeyer de 500 ml. con cuello esmerilado de 24/40.
2. Refrigerantes Friedrich, Liebig, West u otro equivalente de 300 mm. con uniones esmeriladas de 24/40.
3. Tubo de hule de 0.6 cm. de diámetro
4. Parrillas con soporte o mecheros Bunsen, soportes metálicos, triplés, tela de alambre con asbesto.
5. Pinzas para soporte con abrazaderas
6. Pinzas para bureta
7. Matraces aforados de 1000, de 500 y de 100 ml.
8. Bureta graduada de 50 ml.
9. Matraces Erlenmeyer de 500 ml.
10. Probeta graduada de 100 ml.
11. Pipetas volumétricas de 20, 10 y 5 ml.
12. Pipetas serológicas de 10, 5 y 1 ml.
13. Codos de vidrio de 90° con 0.6 de diámetro
14. Tes de vidrio
15. Frascos gotero.

d) Reactivos:

1) Solución de 0,25 N de dicromato de potasio. Disuelva 12,250 g. de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, de calidad patrón primero, previamente secado a 103°C por dos horas, en agua destilada y diluya a 1,000 ml. Para eliminar la

Interferencia de nitritos se puede agregar ácido sulfámico en cantidad de 10 mg. por cada mg. de nitrógeno de nitritos en el matríz de reflujo, a la solución de dicromato. Así, 0.12 g. de ácido sulfámico por litro de solución de dicromato eliminarán la interferencia de nitritos arriba de 6 mg./l. si se usa una muestra de 20 ml.

Por conveniencia, se recomienda que el ácido sulfámico se agregue a la solución de dicromato, ya que debe ser incluido en el testigo de agua destilada.

2) Acido sulfúrico concentrado. - conteniendo 22 g. de Ag_2SO_4 por franco de 9 lbs., 4082.3 g. (se requieren 1 o 2 días para su disolución).

3) Solución 0.10 N de sulfato ferroso amoniacal: disuelva 39 g. de $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$ en agua destilada. Agregue 20 ml. de H_2SO_4 concentrado, enfríe y diluya a 100 ml. Esta solución se debe valorar con la solución de $K_2Cr_2O_7$ el día que se vaya a usar.

Valoración:

Diluya 10 ml. de la solución a 0.25 N de $K_2Cr_2O_7$ a unos 100 ml. Agregue 30 ml. de H_2SO_4 concentrado y deje enfriar. Valore con el sulfato ferroso amoniacal, usando 2 o 3 gotas del indicador de ferrofn.

$$\text{Normalidad} = \frac{\text{ml de } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ml de } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4) Indicador de ferrofn: disuelva 1.485 g. de 1,10 - fenantrolina monohidratada, junto con 0.695 g. de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua destilada y diluya a 100 ml. Esta solución se puede adquirir ya preparada.

5) Sulfato de plata en polvo

6) Sulfato mercúrico en cristales, grado analítico.

7) Acido sulfámico

e) Procedimiento

1) Coloque 0.4 g. de $HgSO_4$, el cual puede medirse convenientemente con una cuchara No. 638 de Hach Company o igual, en un matríz de reflujo. Agregue 20.0 ml. de muestra, o una alícuota diluida de 20.0 ml con agua destilada y mezcle. Luego agregue 10.0 ml. de dicromato de potasio y varios trocitos de piedra pómez o perlas de vidrio, los cuales han sido calentados previamente a $600^\circ C$. por una hora. Conecte el matríz al condensador. Lentamente agregue 30 ml. de H_2SO_4 concentrado que contiene Ag_2SO_4 , a través del condensador, mezclando cuidadosamente mientras se agrega el ácido. Mezcle perfectamente antes

de aplicar el calor; si no se hace esto, hay calentamientos locales en el fondo del matraz y la muestra puede ser expulsada del condensador.

El uso de 0,4 g. es suficiente para formar un complejo con 40 mg. de ion cloruro o 2 g/l. cuando se usan 20 ml. de muestra. Si hay más cloruros se debe agregar más $HgSO_4$ para mantener una proporción $HgSO_4$: Cl^- de 10: 1. Si se desarrolla un ligero precipitado no afecta a la determinación.

Lleve a reflujo por dos horas (el aparato debe tenerse ya listo con las conexiones de agua corriente). Un período más corto de reflujo puede ser usado para desechos particulares si se encuentra que da la máxima D_{720} . Enfríe y lave el condensador con agua destilada. (Es recomendable usar una piseta de plástico.)

Diluya la mezcla a 150 ml. aproximadamente con agua destilada, enfríe a la temperatura ambiente y valore el exceso de dicromato con la solución 0,1 N de sulfato ferroso amoniacal usando ferroína como indicador. Use generalmente 2-3 gotas (0,10-0,15 ml.) del indicador.

Aunque la cantidad de ferroína no es crítica, no debe variar en las muestras siguientes. El cambio de color es claro, el cual va del azul verdoso al café rojizo y debe tomarse como punto final aunque el color azul verdoso vuelva a aparecer. Lleve a reflujo un testigo con 20,0 ml de agua destilada en lugar de la muestra, junto con la misma cantidad de los reactivos, cuidando que la ebullición empiece al mismo tiempo que en la muestra.

2) Procedimiento alternativo para otras cantidades de muestra. En situaciones particulares, una cantidad de muestra en el ámbito de 10,0 a 50,0 ml. puede ser usada con tal que los otros reactivos estén en proporción.

Los ejemplos típicos están dados en la siguiente tabla:

Muestra en ml.	Dicromato 0,25 N en ml.	H_2SO_4 conc. con Ag_2SO_4 en ml.	H_2SO_4 en g.	Normalidad del $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$	Volúmen final antes de la titulación en ml.
10	5,0	15	0,2	0,05	70
20	10,0	30	0,4	0,10	140
30	15,0	45	0,6	0,15	210
40	20,0	60	0,8	0,20	280
50	25,0	75	1,0	0,25	350

Los resultados serán satisfactorios si se mantienen estas proporciones.

f) Cálculo:

$$\text{mg/l de DQO} = \frac{(a-b) \text{ c x meq. x } 10^6}{\text{ml. de muestra}} = \frac{(a-b) \text{ c x } 8000}{\text{ml. de muestra}}$$

Donde:

DQO- Demanda química de oxígeno al dicromato

a - ml. de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2$ usados para el testigo

b - ml. de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2$ usados para la muestra

c - normalidad del $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

meq - miliequivalente del oxígeno

Prueba de la demanda de cloro

Muestra. - Solamente deben usarse muestras instantáneas y deben recolectarse durante el período de carga máxima en el proceso de tratamiento.

Equipo. - Un comparador de discos coloreados estándar de cristal, con cuatro celdas adicionales, o colores estándar para cloro en frascos rectangulares de French de 60 ml. (2 onzas); una probeta graduada de 250 ml; cinco frascos de 500 ml. de boca ancha; bureta; soporte para bureta; gotero medicinal; solución de ortotolidina; placa de prueba, pipeta de 1 ml.; agitador; solución de cloro de 1,000 ppm obtenida preferentemente por dilución y titulación de la solución de cloro de un clorador alimentador de solución, pero puede obtenerse diluyendo 10 ml. de solución de zonite hasta 100 ml. con agua.

Técnica. -

1. Viértanse 250 ml. de muestra en cada uno de los cinco frascos de 500 ml. de boca ancha.
2. A uno de estos frascos agréguese solución valorada de cloro en porciones de 0.5 ml. mezclando, hasta que una prueba en la placa señale la presencia de cloro residual.
3. Agréguese esta cantidad de agua de cloro a la primera porción de muestra de 250 ml.; agréguese esta misma cantidad más un aumento de 0.5 ml. de agua de cloro, a la segunda porción; agréguese a la tercera porción la misma cantidad más 1 ml.; y a la cuarta porción de la misma cantidad más 1.5 ml.
4. Mézclase y déjese reposar por quince minutos.
5. Determinese el cloro residual en cada frasco.

Los resultados se expresan en ppm de cloro que se requirieron para que quede un valor de cloro residual de 0.5 ppm después de un período de contacto de quince minutos. Cada mililitro de la solución valorada de cloro que se agregue a 250 ml. de muestra, equivale a una dosificación de:

$$\frac{4X \text{ mg. de cloro por litro de solución valorada}}{1,000} = \text{ppm de cloro}$$

La cantidad de cloro en ppm que se use para tratar la muestra que de un cloro residual de 0.5 ppm es la dosificación de cloro. La dosificación de cloro menos 0.5 ppm, es la cantidad de cloro consumida por la materia orgánica y se conoce como demanda de cloro.

Se verifican generalmente otras dos pruebas más que son el potencial de H⁺ - (pH) y la conductividad, el primero se determina directamente en un potenciómetro y el segundo en un conductímetro.

Las pruebas mencionadas constituyen los parámetros más importantes a determinar que orientan sobre la calidad del tratamiento.

Sin embargo existen otras pruebas que se realizan no tan frecuentemente como las antes mencionadas, las cuales es necesario realizarlas por lo menos tres veces al día, éstas, con que se determinen una vez al día, es suficiente y tales pruebas son:

1. Alcalinidad a la fenolftaleína y al amoníaco de metilo
2. Cloruros
3. Dureza de Ca de Mg y total
4. Fosfatos
5. Sílice
6. Sulfatos
7. Detergencia (ABS)

De la uno a la seis son las mismas pruebas relatadas en los análisis de control de aguas de enfriamiento.

CAPITULO XI
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE AGUAS
NEGRAS

El término mantenimiento desde el punto de vista ingeniero, puede definirse como el arte de conservar el equipo de la planta, sus estructuras y otros anexos, en condiciones apropiadas para llevar a cabo las operaciones o maniobras para lo que están destinadas.

Con un buen programa de mantenimiento apropiado se previenen las emergencias o descomposturas imprevistas. Para el debido mantenimiento tres factores son de tomarse en cuenta: Diseño, construcción y operación.

Si el diseño básico es el adecuado y se construye el aparato con el mejor material y según las reglas del arte, la operación debe lograrse con un mínimo de mantenimiento. Los planos del diseño de la planta mostrando dimensiones y características de cada equipo así como de tuberías y válvulas, etc., debe tomarse siempre a la mano para referencia inmediata.

Un mantenimiento adecuado requiere una pericia considerable que solamente se adquiere con experiencia y estudio. Básicamente para cualquier programa de mantenimiento hay que empezar por una buena dirección y observar las siguientes reglas:

- a) Conservar la planta aseada y ordenada
- b) Establecer un plan sistemático para la ejecución de las operaciones rutinarias.
- c) Establecer un programa de inspección y lubricación.
- d) Llevar todos los datos referentes al equipo (registro de piezas del equipo), destacando lo relativo a incidentes poco usuales y condiciones operatorias deficientes.
- e) Observar cuidadosamente todas las medidas de seguridad.

Es de suma importancia el control de registro de equipo ya que mediante su revisión, un operador puede determinar el desgaste o debilidad de las diversas piezas del equipo y así determinar cuántas y cuáles refacciones se deben tener en existencia. Estos registros pueden llenarse en tarjetas, destinando una para cada pieza del equipo. En estas tarjetas se llevará el registro periódico de la lubricación, revisión, limpieza y reposición de piezas gastadas; la fecha en que deba verificarse el siguiente

servicio al equipo, etc. Todos los datos que se juzguen de importancia deben incluirse en estas tarjetas.

Una forma útil de planeación del mantenimiento preventivo consiste en revisar las tarjetas de mantenimiento y establecer con anticipación listas de operaciones a efectuar en determinadas fechas. Para que un programa tenga éxito debe ser aceptado por el personal de la planta. Esto es de fundamental importancia ya que el personal debe estar convencido del valor e importancia del programa.

Todos los fabricantes de equipos proporcionan información básica que generalmente está respaldada por años de experiencia y debe ser seguida cuidadosamente por el operador de la planta. Esta información incluye:

- a) Instrucciones para la instalación
- b) Instrucciones para la lubricación
- c) Instrucciones de operación
- d) Procedimientos para armar y desarmar
- e) Lista de partes e instrucciones para las reparaciones.

Cualquier programa de mantenimiento para una pieza o equipo debe estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Además es preciso que concuerden cuatro condiciones:

- a) Completo conocimiento del equipo
- b) Empleo de la herramienta adecuada
- c) Reparación total de las piezas
- d) Programa perfectamente meditado

Equipo eléctrico. - Prácticamente todas las plantas funcionan con electricidad. Ninguna planta puede operar segura y continuamente sin un programa eficiente de mantenimiento de todas sus unidades eléctricas. Es bien sabido que la mayor parte de las fallas de los motores es debida a cuatro factores: suciedad, humedad, fricción y vibración. El programa rutinario elimina la suciedad, las precauciones corrientes contra la humedad son eficaces para combatirla. El uso de grasa y aceite adecuado sirve para eliminar la fricción, las revisiones regulares de los puntos de apoyo del equipo y la cimentación evitarán las vibraciones. Debe comprobarse que todos los controles eléctricos (interruptores, etc.) funcionen libremente y ofrezcan protección al motor.

La mayoría de los motores están protegidos por un interruptor con fusibles en la línea de toma y por un arrancador o mecanismo de puesta en marcha escalonada. Estos fusibles y las unidades térmicas generalmente están graduadas para un 125% del amperaje nominal. Es por ello que estos dispositivos deben ser revisados para comprobar que el o los motores estén debidamente protegidos.

Lubricación. - Esta constituye lo más importante de un programa de mantenimiento y de ser posible debe responsabilizarse de ello a una sola persona. La economía aconseja el empleo de la mejor calidad obtenible de aceites y grasas. Se insiste aquí sobre el hecho de consultar al fabricante, pues él es quien mejor conoce los requerimientos de lubricación de las máquinas que diseña y vende.

Es conveniente la inspección y limpieza regular de los cárteros de las bombas principalmente de las de agua negra cruda.

CAPITULO XII

CONSIDERACIONES SOBRE SEGURIDAD E HIGIENE

"Los accidentes no se generan, son provocados", son las palabras iniciales de una excelente serie de artículos escritos por el Sr. Le Roy Van Kleeck, Presidente del Comité de Riesgos Profesionales en la Operación y Mantenimiento de Aguas Negras de la Federation of Sewage and Industrial Wastes Association, U. S. A. Se ha mencionado que el A. B. C. de la prevención de accidentes se resume en la siguiente afirmación "siempre sea cuidadoso". No obstante hay que saber cómo ser cuidadoso y qué se debe evitar. En general los peligros de accidentes consisten en:

- 1) Daños físicos
- 2) Infecciones corporales
- 3) Intoxicaciones por gases nocivos, vapores venenosos o falta de oxígeno
- 4) Riesgos radiológicos

Algunos de estos riesgos pueden ser inherentes al diseño, de tal forma que una vez reconocidos pueden corregirse fácilmente o, al menos, protegerse mediante advertencia y procedimientos adecuados.

1. Daños físicos. - La prevención de estos comienza por un buen orden interno. Todas las herramientas y piezas de repuesto no deben dejarse en cualquier lugar sino que siempre deben guardarse en el lugar destinado para ello. Se debe contar con señalamientos adecuados en aquellas zonas donde se esté verificando algún trabajo.

2. Infecciones corporales. - Todo el personal en contacto con una planta de tratamiento de aguas negras está expuesto a todos los peligros de las enfermedades de origen hídrico, incluyendo la fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería amibiana, ictericia infecciosa y otras infecciones intestinales. También están expuestos al tétanos y a infecciones de la piel, excepto en el caso de lesiones leves, deberá ser un médico el encargado de tratar las heridas e informar para una incapacidad y/o compensación al trabajador. Todos los operarios de la planta deben conocer cómo suministrar los primeros auxilios. Cualquier rasguño por pequeño que pueda parecer deberá recibir atención y deberá aplicarse inmediatamente tintura de yodo al 2% o mercuriato. Es de gran importancia el contar con ropa adecuada para efectuar las maniobras tanto de operación como de mantenimiento, guantes, botas, chamarras recubiertas de hule. No se debe fumar en ningún sitio donde pudiese encontrarse desprendimiento de gases inflamables, (alcantarillas, digestores, etc.). Es bastante difícil evitar contaminaciones en las boquillas de pipas, cigarras, puros, etc. Deberá contarse con vasos de papel para ingerir agua y no con vasos convencionales.

Es por ello que el personal deberá estar debidamente instruido para que entienda que el uso de las ropas adecuadas y las restricciones necesarias son o tienen como única finalidad el protegerlos contra cualquier tipo de infección.

3. Intoxicaciones por gases nocivos .- Los gases que normalmente se desprenden de una planta de tratamiento de aguas negras o de los alcantarillados son mezclas de gases que proceden de los lodos de las aguas negras formados por dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S), y oxígeno (O_2). El peligro consiste usualmente en que se forma una mezcla explosiva de metano-oxígeno, o con mayor frecuencia en una deficiencia del porcentaje de oxígeno en el aire. Cuando estos gases inflamables se mezclan en ciertas proporciones con el oxígeno del aire, explotan violentamente por ignición. No habrá explosión cuando la mezcla se salga de estas proporciones. La concentración mínima de una mezcla de gases y aire o vapores y aire, que explota por ignición, se conoce como límite inferior de explosión y la concentración máxima de explosión se conoce como límite superior de explosión.

La tabla siguiente señala estos límites para los gases y vapores que más probablemente se encuentran en una planta de tratamiento de aguas negras.

Los sitios donde con mayor frecuencia puede haber peligro debido a un gas o vapor nocivo o a la falta de oxígeno y que deben inspeccionarse cuidadosamente antes de entrar en ellos son:

- a) Todas las alcantarillas ya sea que cuenten o no con pozos de inspección.
- b) Cualquier socavón, tanque o cámara de válvulas que esté bien cerrado sin importar cuál sea su profundidad.
- c) Tanques profundos, tanques de digestión de lodos y pozos de succión.

El localizar la existencia de un peligro por gases o vapores y después dar los pasos necesarios para eliminarlo o protegerse de él, es el camino seguro para prevenir accidentes y pérdidas de vidas.

Se dispone de métodos y aparatos para localizar los peligros más comunes los cuales se detallan a continuación:

Primera Prueba. Para gases explosivos. - Pueden ser cualesquiera de los gases clasificados como explosivos en la tabla dada anteriormente. Se identifican por medio de instrumentos que son operados por pilas, las cuales oxidan o queman una muestra de la atmósfera en prueba, sobre un filamento catalítico caliente que forma parte de un circuito eléctrico compensado. Cualquier gas o vapor que haya en la muestra descompensará el circuito causando una desviación de la aguja indicadora que señalará sobre una escala la concentración presente. Esta escala está graduada en porcentajes del límite inferior de explosión. Por ejemplo, si solamente hay metano y la aguja indicara 50%, entonces hay 2½% en volúmen de metano en la muestra ya que el límite inferior para este gas es de 5%. Este indicaría condiciones peligrosas y por tanto debe ventilarse. Por lo general lecturas mayores del 20% del límite inferior deben considerarse como peligrosas. La muestra debe tomarse con un tubo o probador que se baje a la profundidad deseada, usando un bulbo para aspirar la muestra a través de esta unidad.

Segunda Prueba. Para ácido sulfhídrico. - El acetato de plomo contenido en una ampollita protegida por una malla de algodón, la cual puede romperse para exponerse a la atmósfera en prueba durante un minuto, adquirirá un color entre amarillo y café en presencia de ácido sulfhídrico. Esta coloración se compara con una escala de colores que marca concentraciones de 5-25 ppm. Una concentración de 20 ppm es la máxima permisible para 8 hrs. de exposición.

Tercera Prueba. - Monóxido de carbono. - Para este caso la ampolla contiene cloruro de paladio, el cual toma un color que varía del amarillo al gris oscuro expuesto a este gas. El tiempo de exposición es de 10 minutos a temperaturas normales y de 20 minutos a temperaturas inferiores a la de congelación. La concentración máxima tolerable es de 100 ppm para 8 horas de exposición.

Cuarta Prueba. - Deficiencia de oxígeno. - A través de un tubo muestreador se aspira una muestra y sobre una llama en un indicador de deficiencia de oxígeno. Este es una adaptación de la lámpara de seguridad de los números. El instrumento va equipado con un interruptor de retroceso de la llama de hidrógeno. La deficiencia de oxígeno queda indicada por la extinción o disminución de la llama. Si hay una cantidad explosiva de gases inflamables, la llama relampaguea y se extingue. La llama se extingue igualmente en una atmósfera que contenga menos del 16% de oxígeno. Dicha extinción es una buena indicación de deficiencia de oxígeno. En alturas mayores de 1500 m. (5,000 pies) sobre el nivel del mar, la llama puede seguir ardiendo en una atmósfera peligrosa para la vida.

Resultados de las pruebas efectuadas :

Primera situación. - Las pruebas muestran que no existe una situación peligrosa debida a gases, vapores o falta de oxígeno. Los operarios que entren a las alcantarillas o lugares encerrados más abajo de 3 metros (10 pies), deben llevar cinturones de seguridad y dejar cuando menos dos hombres disponibles arriba. Aunque las pruebas muestren que no hay peligro, la situación puede cambiar o puede accidentarse el trabajador. Nadie debe fumar cerca del pozo de inspección y hay que evitar las chispas producidas por la herramienta, mediante el empleo de herramientas de aleaciones de cobre y berilio que no producen chispas. Deben usarse zapatos de hule y solamente alumbrado de seguridad ya probado. Si el trabajo se prolonga, deben repetirse las pruebas a intervalos convenientes.

Segunda situación. - Las pruebas muestran que hay gases o vapores nocivos o deficiencias de oxígeno. La estructura se ventilará con sumo cuidado para evitar la ignición de los gases inflamables, volviéndose a analizar. La ventilación puede llevarse a cabo en una de las siguientes formas:

- 1) Colocando lonas o deflectores metálicos para dirigir las corrientes naturales de aire al interior del pozo de inspección, quitando las tapaderas de los pozos. Es necesario un viento moderado o fuerte.
- 2) Un chorro de la manguera contra incendios, dirigido hacia el interior del pozo destajado puede crear un tiro suficiente.

3) Introduciendo aire comprimido mediante una manguera, hasta un punto cercano al fondo del pozo de inspección.

4) Usando un soplador portátil con su manguera de descarga bien abajo del pozo y con la unidad propulsora o motor lejos del pozo para prevenir la ignición y mantener los humos de escape bien alejados. Después de una completa ventilación y de que las pruebas indiquen condiciones seguras, proceder como en la primera situación.

Tercera situación .- Las pruebas muestran una situación peligrosa, pero existe una emergencia debido a que un operario se ha accidentado o hay inundación. Los operarios deben equiparse con aparatos de respiración adecuados, además de tomarse las medidas indicadas en la primera situación. Si se necesita herramienta, solamente deben usarse las de aleación de berilio y cobre que no producen chispas. Hay que tener mucho cuidado para evitar cualquier causa de ignición. Trabajar en atmósferas de gases inflamables es extremadamente peligroso y nunca debe intentarse sino por aquellos que conozcan a fondo los peligros. Debe recurrirse a las máscaras de gas solamente cuando la situación no permita crear una atmósfera segura mediante la ventilación. La mayor parte de los aparatos para respiración consisten en una careta con cintas ajustables a la cabeza que se atan firmemente; una manguera flexible conecta la máscara con una fuente de aire puro o con un suministro de oxígeno, y una válvula de escape o un tubo de salida para el aire espirado. Es esencial que la máscara se ajuste bien, de manera que los gases no penetren por debajo. La prueba usual para esto consiste en cerrar con una pinza el tubo de entrada y hacer una profunda inspiración. Si la máscara está bien ajustada, se aplastará sobre la cara.

Máscaras de cartucho .- Las máscaras de cartucho del tipo de filtro, nunca deben usarse en los pozos de inspección, en los pozos de bombeo u otros lugares donde pueda haber una deficiencia de oxígeno. Estas sirven solamente para filtrar o neutralizar bajas concentraciones de un gas determinado para el que se suministra el cartucho especial. Con el cartucho apropiado, estas máscaras son adecuadas para atender a pequeñas fugas de cloro gaseoso, donde no hay deficiencia de oxígeno y menos del dos por ciento de gases nocivos. Estas máscaras no suministran oxígeno.

La máscara de manguera .- La máscara de manguera es adecuada para todas las situaciones donde pueda obtenerse un suministro de aire puro mediante el uso de una manguera de hasta unos 6 metros (25 pies) sin soplador y hasta de unos 45 metros (150 pies) para uno o dos hombres, con un soplador. Es el dispositivo más seguro y en el que puede tenerse más confianza.

Aparatos de respiración de autoabastecimiento. - Es un tipo de equipo abastecedor de oxígeno consistente en un cartucho que contiene una sustancia química, tetróxido de potasio, que es un vigoroso agente oxidante que desprende oxígeno. Este aparato no conviene usarlo en los pozos de inspección o visita de las alcantarillas, en los en los pozos de succión de las bombas o en otros lugares donde pueda llegar a ponerse en contacto aceite, grasa o gasolina con el cuello del cartucho y provocar su deterioración y combustión con terribles resultados.

Otro aparato de autoabastecimiento suministra el oxígeno contenido en un cilindro y consta de un fuelle de hule para respiración, un regenerador y una boquilla, además de las válvulas reguladoras necesarias. Este artefacto también es peligroso en atmósferas que contengan vapores de petróleo porque lo deterioran y solamente debe usarse cuando se tenga la seguridad de que no los hay.

Otro aparato de autoabastecimiento o de demanda. - Los aparatos de demanda según los surten diversos fabricantes, proporcionan oxígeno de un cilindro o aire comprimido, según sea requerido en la máscara. El límite seguro de tiempo, para trabajo extenuante, con este dispositivo usando oxígeno es la media hora. Existe el mismo peligro con este tipo de aparato para oxígeno, en presencia de vapores de petróleo, aceite o grasa, por lo cual la práctica más segura aconseja que no se use en pozos de inspección del alcantarillado y en pozos de succión de bombas. El peligro anterior se elimina con un cilindro de aire comprimido que se coloca en la espalda para una duración de 30 minutos, o bien con un cilindro grande colocado aparte, que por medio de una manguera reforzada, permite trabajar de seis a ocho horas.

Es vital el mantenimiento adecuado y la custodia de las máscaras de gas, así como la renovación de cartuchos.

Resucitación. - Cuando una persona es abatida por los gases, vapores o deficiencia de oxígeno su rescate debe ir seguido de inmediata resucitación. El corazón cesa de palpar a los seis o diez minutos después de que hayan dejado de funcionar los pulmones. Esto muestra la extrema importancia que tiene el que el personal opere con cinturones de seguridad en los sitios peligrosos.

La respiración artificial consiste en el uso del aliento de una persona para revivir a alguna otra incapaz de respirar por sí misma. Es el método de resucitación más antiguo y eficaz.

La ausencia de movimientos respiratorios o el color azul de los labios, lengua y uñas, son signos peligrosos que indican la falta de oxígeno en la sangre y la necesidad de ayuda para respirar. Cuando se tenga dudas, empíese por la respiración artificial. Ningún daño puede originarse por ello, y en cambio sí pueden resultar graves consecuencias si no se emplea con prontitud.

Ya sea que la persona inconsciente esté tratando de respirar o no, es probable que su respiración esté completa o parcialmente interrumpida por su lengua. Al echar su cabeza hacia atrás o mover su quijada hacia adelante, hará que la lengua se desplace de la garganta dejando que pase el aire a los pulmones. Algunas veces la víctima que no respira comienza a hacerlo por sí misma al aliviar la obstrucción producida por la lengua.

El aire que usted espira no está "gastado". Contiene el oxígeno suficiente para salvar la vida de una persona. Respirando a doble profundidad de lo usual, el aliento espirado contiene más que suficiente oxígeno para cualquier víctima adulta. Cuando cada insoflación expande el pecho de la víctima, se puede tener la seguridad de que está funcionando la respiración artificial. Inflase el pecho del adulto cuando menos diez veces por minuto. Los niños requieren menores y más frecuentes insoflaciones, al menos 20 por minuto.

4. Riesgos Radiológicos. - El uso creciente de isótopos radiactivos en la medicina, en la industria y en la investigación, puede dar lugar también a descargas accidentales o pérdidas de tales materiales en las alcantarillas que llegan a las plantas de tratamiento de aguas negras. Los estudios hechos por la United States Public Health Service, indican que la dilución media en los sistemas de alcantarillado, junto con las usuales precauciones que se tienen en el manejo de tales materiales, son normalmente adecuadas para prevenir cualquier peligro para la salud. En tiempo de guerra podría presentarse un peligro radiactivo en las alcantarillas y plantas de tratamiento después de un estallido bajo el agua o en tierra, de una bomba atómica.

Un artículo excelente acerca de este asunto, apareció en la revista Sewage and Industrial Wastes, de octubre de 1951. El artículo proporciona información básica acerca de la terminología y mediciones de la radiación. Existen medidores portátiles Geiger, que serían adecuados para determinar la radiación de fondo o conteo de actividad normal, y su uso periódico determinaría cualquier aumento que sobrepase los límites mínimos establecidos tentativamente por el National Bureau of Standards.

Al final de este capítulo sobre Seguridad es bueno recordar y repetir la afirmación del principio de que el "ABC" de la seguridad es "SIEMPRE SEA CUIDADOSO", y agregar a esto el lema acerca de la seguridad que encabeza un código adoptado hace algunos años por las New England and New York State Sewage Works Association. "ALERTA HOY, SANO Y SALVO MAÑANA".

COMENTARIOS FINALES

Los tratamientos actuales de las aguas de desecho como se observa del trabajo antes presentado, son básicamente los mismos procesos naturales de purificación que realiza la naturaleza, sólo que estos se ven acelerados en las áreas así diseñadas con la multitud de variaciones que dichos tratamientos permiten y que redundan en la obtención de diferentes calidades en las aguas producto de dichos tratamientos. Debido a la relativa simpleza del proceso es que se antoja indispensable el logro reglamentario de estos tratamientos en toda la industria de transformación y principalmente en la industria química. Es bien sabido en México y en todo el mundo que son éstas las principales fuentes de contaminación de las aguas, es por este motivo que debiera considerarse dicho tratamiento como parte integrante del diseño de cada nueva industria a fin de lograr un crecimiento paralelo con éstas.

Hasta el día de hoy dichos tratamientos se aplican en escala muy reducida, con fines de reutilizarla principalmente en los circuitos de enfriamiento o para el riego de ciertos cultivos. Su reutilización con estas finalidades es muy recomendable y viable, sin embargo no se le ha dado el apoyo necesario para su extensión absoluta en toda la industria en donde en algunos casos, (aíno es que en todos) pudiera constituir el agua de proceso, en el campo para el riego de ciertos cultivos, riego de zonas áridas, riego de jardines, etc.

Esto constituye un problema grave que tiende a agudizarse debido a que las fuentes de agua provenientes de la hidrosfera terrestre son un recurso finito y vulnerable y por tanto es que se siente como una necesidad inaplazable que las nuevas generaciones de técnicos, ingenieros y científicos se avoquen a la ampliación de las capacidades de las tecnologías actuales en términos de eficiencia así como en términos de extensión física de dichos tratamientos, o bien al desarrollo de nuevas técnicas que permitan responder adecuadamente a las demandas crecientes de "agua para beber" y de agua para utilización industrial y agrícola.

El control óptimo en una planta de tratamiento de aguas residuales requiere de personal especializado para su logro, pero una vez alcanzada dicha situación sólo se requiere de una supervisión cuidadosa para el mantenimiento de la misma.

Los costos de operación y mantenimiento son despreciables cuando se comparan con los beneficios sanitarios y por tanto ecológicos que el tratamiento arroja al permitir su reutilización con lo que se ahorra agua potable, y al permitir también su disposición final sin correr el riesgo de continuar contaminando las aguas de ríos, lagos, pozos profundos, mares y océanos con el consecuente riesgo para la vida que esto representa.

LIBROS Y REVISTAS DE CONSULTA

1. **BABBIT H. E., BAUMANN E. R.**
Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras
Cecaa 6a. Impresión - México 22, D. F. 1977
2. **VAN KLEECK L. W.,**
Wastes Engineering
Enero, febrero, marzo, abril y mayo de 1956.
3. **TORPY W. N.**
Step Aeration for Activated Sludge
Sewage Works Journal 20 Septiembre de 1958
4. **MANUAL OF INSTRUCTION FOR SEWAGE TREATMENT
PLANT OPERATION**
Department of Health N. Y., USA 1962
5. **MANUAL OF INSTRUCTION FOR WATER TREATMENT PLANT
OPERATION**
Department of Health N. Y., USA 1962
6. **BECHTEL BRIEFS - The World's Water**
Julio - Agosto 1977 volumen 32 No. 5
7. **INDUSTRIAL WORLD**
Septiembre 1976 - Volumen 199 No. 3
8. **INDUSTRIAL WORLD**
Volumen 197 No. 4 - Octubre de 1975
9. **POWER a McGraw Hill Publication**
Octubre 1976 Volumen 120 No. 0 Año 94 Parte II