

39
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA**

**AGUA RESIDUAL TRATADA PARA REUSO
EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO Y
GENERACIÓN DE VAPOR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

ERICK CRUZ TERÁN



MÉXICO, D.F.

1998

259303

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROF. TREJO CANDELAS LUIS MIGUEL

VOCAL: PROF. TORRES BARRERA RODOLFO

SECRETARIO: PROF. RAMÍREZ BURGOS LANDY IRENE

1ER SUPLENTE: PROF. VERDEJO COSS Y LEON JOSEFINA ADRIANA

2DO SUPLENTE: PROF. LUNA PABELLO VICTOR MANUEL

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

SEARLE DE MEXICO S.A. DE C.V.

ASESOR:

RAMÍREZ BURGOS LANDY IRENE

SUSTENTANTE

CRUZ TERAN ERICK

**TRABEJO PARA SER REVISADO
POR EL H. JURADO**

19 FEB. 1998

A MIS PADRES:

POR SU PROFUNDO INTERÉS Y CONFIANZA QUE DEPOSITARON EN MI, SIENDO LOS PRINCIPALES CULPABLES DE ESTE LOGRO.

A MIS HERMANOS:

POR SUS PALABRAS DE ALIENTO Y COMPRENSIÓN EN TODO MOMENTO.

A YARA Y MI ABUELITA :

LAS QUIERO MUCHO

A LALO :

POR SU AMISTAD.

A SELENE:

CON MUCHO CARIÑO, POR SER MI AMIGA Y POR SU APOYO INCONDICIONAL.

A JUAN CARLOS Y ELVIS.

A GENARO Y ALEJANDRO.

A TODOS MIS AMIGOS DE PRIMER SEMESTRE.

A MIS COMPAÑEROS Y PROFESORES.

GRACIAS.

INDICE

1. INTRODUCCION	2
1.1 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO.....	5
1.2 USO INDUSTRIAL	6
CAPITULO 2.....	11
2. ANTECEDENTES.....	11
2.1 TIPOS DE TRATAMIENTO	11
2.1.1 AIREACIÓN CON OXÍGENO PURO.....	17
2.2 MICROORGANISMOS Y SU IMPORTANCIA.....	26
2.3 TECNICAS PARA CONTROL DE PROCESO EN UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS.....	31
CAPITULO 3.....	47
3. ESTUDIO DE CASO.....	47
3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	49
3.2 ORIGEN DE CORRIENTES	50
CAPITULO 4.....	60
4. CALDERAS.....	60
4.1 TRATAMIENTO QUIMICO EN LAS CALDERAS.....	61
CAPITULO 5.....	66
5. SISTEMA RECIRCULANTE ABIERTO.....	66
5.1 TRATAMIENTO QUIMICO	74
5.2 TRATAMIENTO MICROBIOLOGICO.....	75
CAPITULO 6.....	76
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	76
7. CONCLUSIONES:	83
8. RECOMENDACIONES:.....	84
9. BIBLIOGRAFÍA	85

1. INTRODUCCION

La falta de agua en México, es un problema grave, que se manifiesta principalmente en las zonas geográficas donde hay mayor población. Paradójicamente, es esta misma circunstancia la que origina la presencia de un volumen importante de agua residual.

Por lo anterior se requiere reusar el agua para lo cual se tienen las siguientes alternativas.

- 1)Hacer que el agua tratada sea una fuente complementaria de suministro y que a corto o, mediano plazo sea para usos que no requieren de calidad potable.
- 2)Reducir el riesgo de contaminación por filtración, debido al uso de aguas residuales.
- 3)Reducir los volúmenes de agua potable que se importan o extraen de los acuíferos y reducir la sobreexplotación.
- 4)Incrementar el uso eficiente del agua, eliminando pérdidas, y controlando desechos.
- 5)A mediano plazo, lograr que el agua tenga la calidad suficiente para que sea una fuente de abastecimiento para uso doméstico y para la recarga de los acuíferos.

El aprovechamiento del potencial que tiene el reuso de agua residual doméstica tratada en México, enfrenta algunas limitaciones de orden técnico : No es suficiente la caracterización de la calidad de las aguas residuales domésticas que se generan a nivel nacional, para establecer los niveles de tratamientos necesarios para su posible reuso. Son aislados los avances sobre el desarrollo de criterios de calidad para reuso de agua renovada, y se desconoce el potencial de algunas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales. Por último, no hay una evaluación completa de los efectos en la salud de los aspectos tóxicos y epidemiológicos que apoye la determinación de los parámetros de la calidad de las aguas residuales para su reuso.

A pesar de la vigencia de las mencionadas limitaciones, es posible establecer, que los reusos posibles del agua renovada son: municipal, riego agrícola e industrial. A continuación se comenta brevemente los dos primeros tipos de reuso.

El reuso municipal, incluye varias formas de reemplazo de agua potable en usos de carácter fundamentalmente urbano, a excepción de la recarga de acuíferos y consumo humano.

FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN EL REUSO MUNICIPAL
(Tabla 1.1)

reuso	clasificación
riego de áreas verdes	***
control de incendios	*
fuentes de ornato	***
lavado de autos	**
lavado de máquinas de basura	***
recreativos	*?
Recarga de acuíferos	***(1)
consumo humano	x

- *** Altamente recomendable
- ** Medianamente recomendable
- * Poco recomendable, en función de otros usos posibles
- *? Posible en función de las condiciones particulares
- x No recomendable
- (1) Para ciertas zonas del país

Fuente: Plan Nacional Hidráulico, 1981

El empleo del agua tratada para fines recreativos, es un uso mas reciente que el de la agricultura o el enfriamiento en la industria. Estos usos comprenden llenado de lagos para pesca, navegación y eventualmente puede emplearse para abastecimiento. El reuso para control de incendios, es una opción sencilla en cuanto a tratamiento, pues incluso se puede emplear agua residual sin tratar, pero en lo que concierne al sistema de distribución y almacenamiento es complejo, por los problemas de taponamiento y azolve del sistema, y por la aleatoriedad de la demanda.

En cuanto a la recarga del acuífero, es importante precisar que ésta se logra por percolación desde la superficie o por inyección directa.

El tratamiento de agua residual, hasta obtener el grado de potable a través de procesos avanzados se le conoce como "ciclo cerrado", porque hace referencia a completar el ciclo ecológico. Dado que los estándares de potabilización, han sido desarrollados considerando que el agua de abastecimiento proviene de fuentes no contaminadas, y de primer uso, son insuficientes para agua renovada, por ello se advierte que el mejor enfoque, a corto plazo, consiste en reusar el agua para fines que liberen agua de consumo humano.

En nuestro país, el reuso del agua para riego agrícola se practica desde principios de siglo, sobre todo en zonas áridas donde existen problemas de abastecimiento.

Tomando en cuenta los cultivos que tradicionalmente se producen en el país, el tipo de suelo, y la práctica de riego con agua residual, se recomienda por su resistencia en los cultivos de maíz, frijol, avena, cebada, trigo, algodón y sorgo. El empleo adecuado del agua residual doméstica, o industrial, para este tipo de reuso depende del costo de remoción de los contaminantes orgánicos, e implica un tratamiento para eliminar a los orgánicos patógenos, reducir la DQO y las concentraciones de herbicidas y pesticidas.

1.1 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

Diversos estudios, realizados algunos hace mas de 20 años, alertan sobre la real disponibilidad de agua en varias zonas del país, las conclusiones a las que se llegan, muestran que en todo el norte, y en la parte centro de la República, se localizan las regiones con balance hidráulico desfavorable.

REGIONES CON BALANCE HIDRÁULICO DESFAVORABLE

- 1) Península de baja California
- 2) Sonora, Sinaloa
- 3) Parte de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas.
- 4) Aguascalientes, Guanajuato, parte de Jalisco, Zacatecas y Querétaro.
- 5) Edo. de México, Hidalgo, Tlaxcala, D.F.

Importantes zonas del país se evaluaron con potencial hidrológico, a pesar de las advertencias que preveían el déficit del recurso, se impulsó su desarrollo industrial y agrícola e indirectamente el crecimiento urbano, tales fueron los casos de Guadalajara, la costa noroeste del Pacífico, Mexicali, la cuenca de Lerma, la zona conurbada de la CD. de México, Puebla y, el centro y sur del estado de Veracruz. Actualmente, se advierten grandes desventajas en cuanto a disponibilidad de agua en lugares como Monterrey y las ciudades del norte del país; en San Luis Potosí, Hidalgo y partes de Querétaro, donde dependen fundamentalmente de sus recursos minerales y actividades agropecuarias y con escasa agua. El caso de Guadalajara, considerada en 1975 como una ciudad con agua conveniente al desarrollo industrial, es actualmente una ciudad con disponibilidad comprometida. Situación similar o mas seria se presenta en varias ciudades medias como Torreón-Gomez Palacio -Lerdo, en Coahuila y Durango o el caso de León Gto. por mencionar solo algunas.¹

1.2 USO INDUSTRIAL

Los criterios de calidad del agua para el reuso industrial están condicionados a la calidad requerida por cada planta industrial. Esta varía mucho de una rama a otra y es función del uso interno que se le dé, ya sea para servicios generales, para los sistemas de enfriamiento o calderas, o su empleo dentro del proceso propiamente. Por ejemplo, la calidad entre el agua de enfriamiento y el de una caldera de alta presión es muy diferente ; agua de calidad superior a la potable se requiere en algunos procesos como el de la manufactura de productos electrónicos, calderas de alta presión o en la preparación de bebidas.

CALIDAD DE AGUA REQUERIDA EN CALDERAS CON RESPECTO A SU PRESIÓN DE OPERACIÓN (LÍMITES MÁXIMOS).

(TABLA 1.2)

Presión de la caldera (psig)	Sólidos totales (ppm)	Alcalinidad (ppm)	sólidos suspendidos (ppm)	silice (ppm)
0 - 300	3500	700	300	125
301-450	3000	600	250	90
451-600	2500	500	150	50
601-750	2000	400	100	35
751-900	1500	300	60	20
901-1000	1250	250	40	8
1001-1500	1000	200	20	2.5
1501-2000	750	150	10	1.0
arriba 2000	500	100	5	0.5

Fuente: Nalco Chemical Co., Power Industry Department, Conditioning Water For Boilers, USA, 1962, Cap. I pág.11

Esta diversidad no permite establecer criterios válidos para todos los usos potenciales del agua en la industria. Sin embargo, es posible establecer 6 indicadores de calidad importantes, que son : composición de materia en suspensión, sólidos, alcalinidad total y sus componentes (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-), contenido de gases disueltos y grado de dureza. En particular, si el agua utilizada en la industria no cumple con ciertos requisitos de calidad ocasiona problemas o fallas en las instalaciones, como :

a) Tratándose de contaminantes orgánicos en estado sólido o disuelto, ocasionan fallas en los intercambiadores de calor, corrosión, depósitos, espumas en calderas y torres de enfriamiento, inhibición de catalizadores, desarrollos biológicos, deterioro y pérdida de eficiencia en resinas de intercambio iónico y contaminación de la producción.

b) Los contaminantes inorgánicos como los cloruros, contribuyen a la corrosión de metales. El calcio, magnesio y fósforo causan formación de incrustaciones en las calderas e intercambiadores de calor. La alcalinidad total acelera la deslignificación de la madera en las torres de enfriamiento y los nutrientes (fósforo y nitratos) contribuyen a la formación de lama en las torres de enfriamiento.

Además, los contaminantes disueltos son costosos de remover. Las sales inorgánicas disueltas en el agua son las causantes de la dureza, que interfiere en el teñido de las telas, en la elaboración de la cerveza, en la calidad de los productos en las empacadoras y causan incrustaciones en los tubos de las calderas elevando el costo de operación. El hierro divalente positivo, causa manchas sobre las telas y papel, el trivalente positivo envenena las resinas para intercambio iónico.

c) El agua en un proceso industrial debe ajustarse a un estrecho intervalo de valores de pH. En la manufactura del rayón por ejemplo, se reporta que el pH deberá estar entre 7.8 a 8.3 ; algunas veces la exigencia es a un valor mínimo, como por ejemplo la fabricación de dulces duros, donde el pH no debe de ser menor que 7 a fin de evitar la inversión de la sacarosa y convertirse en productos pegajosos.²

El sector industrial de México se ha clasificado en 39 grupos, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación del agua. Sin embargo, en al menos 8 de éstos, se identifican los principales giros industriales que requieren mayor atención por su significado en el consumo de agua de primer uso : Industria alimenticia (incluye azucarera y elaboración de bebidas), Química, Petroquímica básica y secundaria, Hierro y Acero, acabado de metales, Celulosa y papel, Textil y Curtiduría.

El sector industrial que más agua demanda y mas agua consume es el del ramo de alimentos y dentro de éste la actividad industrial que mas agua emplea es la de los ingenios azucareros. Le siguen en importancia la industria química, metálica (especialmente siderúrgicas) ,la de celulosa y papel y la industria del petróleo.

De esta forma, en función de la industria que demanda agua de primer uso y en la cual es posible sustituirla por agua residual doméstica tratada, están identificados 5 giros industriales prioritarios : química, metalurgia, petroquímica básica y secundaria, curtiduría y sin duda la generación de electricidad, particularmente en las termoeléctricas.

Aún cuando las industrias de la celulosa y papel y la textil consumen un alto volumen de agua, se les considera en segundo nivel de prioridad debido a los requerimientos particulares de tratamiento para el reuso de agua residual doméstica.

En el caso de la industria alimenticia, a pesar de que es común encontrar en la bibliografía especializada la recomendación del uso de aguas residuales domésticas tratadas, en particular en los ingenios y en algunos de los procesos del enlatado de frutas y verduras, esta práctica se recomienda como tercera prioridad y sujeta a una estricta vigilancia en la calidad del agua de reuso que se suministre a este sector industrial.

USOS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN LA INDUSTRIA

(Tabla 1.3)

USOS	CLASIFICACIÓN
TERMOELÉCTRICAS	CALDERAS ***
INDUSTRIA SIDERURÚRGICA	LAVADO Y TRANSPORTE DE MATERIA*** TEMPLADO*** ENFRIAMIENTO*** CALDERAS**
INDUSTRIA METALÚRGICA	TEMPLADO***ENFRIAMIENTO*** PROCESO* ?
INDUSTRIA QUÍMICA	ENFRIAMIENTO***CALDERAS** LAVADO Y TRANSPORTE DE MATERIAL* ? PROCESO* ?
INDUSTRIA PETROQUÍMICA	ENFRIAMIENTO***CALDERAS** PROCESO* ?
INDUSTRIA DE LA CURTIDURÍA	LAVADO MATERIAL *** PROCESO* ?
INDUSTRIA MINERA	LAVADO Y TRANSPORTE MATERIA***
INDUSTRIA DEL CEMENTO	TRANSPORTE Y LAVADO MATERIA*** ENFRIAMIENTO*** LAVADO DE GASES***
INDUSTRIA HULERA (LLANTAS)	TEMPLADO DE LLANTAS***
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	CORTE LÁMINA METÁLICA**
INDUSTRIA CELULOSA Y PAPEL	PROCESO*? (SI ELABORA CELULOSA Y PAPEL) PROCESO X(SI ELABORA PRODUCTOS DE PAPEL)
INDUSTRIA TEXTIL	LAVADORES Y ENFRIADORES AIRE** PROCESO* ?
INDUSTRIA ALIMENTICIA	ENFRIAMIENTO *** CALDERAS** PROCESO X
INDUSTRIA FARMACÉUTICA	CALDERAS** TORRES DE ENFRIAMIENTO*** PROCESO X

NOTAS : *** Altamente recomendable

* ? Posible reuso en función del proceso

** Medianamente recomendable

x No recomendable

Poco recomendable

Fuente: Plan Nacional Hidráulico 1981

En base a la problemática descrita para el suministro de agua y las alternativas planteadas, el enfoque del presente trabajo de tesis está dirigido a estudiar el reciclado de agua sanitaria y proceso de una industria farmacéutica posterior a un tratamiento consistente en: clarificación primaria, tratamiento biológico aerobio secundario, clarificación secundaria, tratamiento terciario con ozono, filtración y adsorción con carbón activado, para utilizarla como fuente de suministro para los sistemas de enfriamiento de un solo paso, cerrados y recirculantes abiertos, así como agua de alimentación para los generadores de vapor.

2. ANTECEDENTES

2.1 TIPOS DE TRATAMIENTO

MÉTODOS:

Tres de los métodos más comúnmente usados en tratamientos biológicos de aguas sanitarias son:

- 1) Lodos activados.
- 2) Filtros rociadores (Trickling).
- 3) Biodiscos.

En cada uno de estos tres métodos, el propósito es el mismo para ingeniería y medio ambiente, controlar, las interrelaciones complejas de microorganismos para producir un efluente claro y purificado.

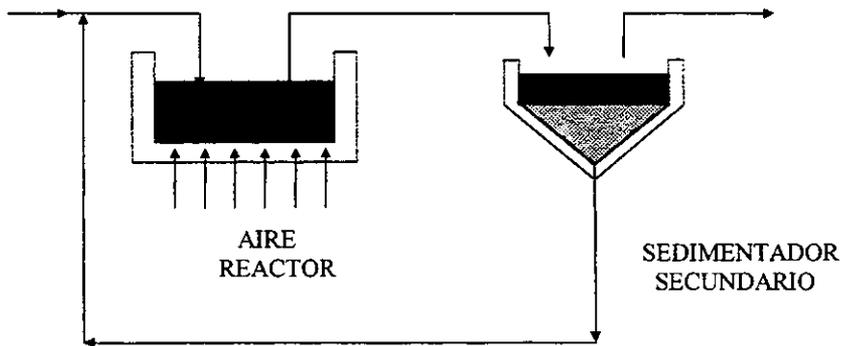
LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados, es una técnica de tratamiento biológico, en donde el agua residual y los lodos activados (microorganismos), son mezclados y aireados por medio de difusores o mezcladores mecánicos. En el proceso de lodos activados, los microorganismos son mezclados continuamente con la materia orgánica que utilizan para su reproducción, aglutinándose, para formar una masa de actividad biológica llamada lodos activados ó biomasa.³

La mezcla de lodos activados y agua sanitaria en el tanque de aireación (reactor) es llamada licor mezclado.

El sistema de lodos activados, comprende un reactor totalmente mezclado o de flujo pistón, en el cual se encuentra acoplado un sedimentador donde se separa la biomasa del agua tratada. La parte que se desecha, es de igual magnitud que la cantidad producida de biomasa, y se hace con objeto de mantener constante la concentración de microorganismos en el reactor. La fracción que se recircula, tiene como objetivo mantener un cultivo continuo de una población microbiana mixta (biomasa) a una concentración constante y elevada.

El proceso de lodos activados, tiene la capacidad de convertir material orgánico e inorgánico en uniones químicas mas estables y en material celular. Después de la sedimentación primaria, el material orgánico soluble o suspendido de rango coloidal, es metabolizado por diferentes tipos de microorganismos, para dar como productos principales, células, CO_2 y H_2O .



Figura(2.1) Diagrama esquemático del sistema de lodos activados

VARIANTES DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Actualmente se conocen muchas modificaciones del sistema de lodos activados, Cada una de éstas, presenta diferentes características como puede apreciarse a continuación.

A) SISTEMA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

En el sistema convencional de lodos activados, el tanque de aireación debe ser angosto y largo, para que el mezclado se aproxime a flujo pistón. Para lograr una mejor aproximación, se colocan los difusores de aire cerca del fondo y pegados a una pared a lo largo del tanque de aireación, para lograr un flujo con líneas de corriente en espiral a lo largo del tanque (Fig. 2.2).

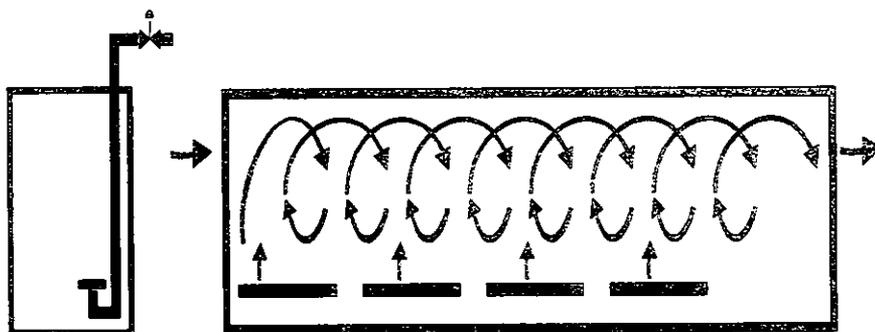


Fig. (2.2) Secciones del tanque de aireación de un sistema convencional de lodos activados.

Este sistema presenta la gran desventaja de que, cuando existen variaciones súbitas en gastos y concentración, el sistema responde de una manera muy sensible. Al entrar aguas de desecho, en forma súbita, con altas concentraciones de material orgánico, el consumo de oxígeno a la entrada del tanque es tan alta, que el sistema de aireación no alcanza a proveer el oxígeno suficiente en esta región del tanque y consecuentemente el oxígeno disuelto a la salida del tanque será muy superior a los requerimientos.

Este problema se soluciona concentrando la mayor parte de los difusores a la entrada del tanque y distribuyendo el resto en forma decreciente a lo largo del tanque. La cantidad total usada de aire es la misma, pero su distribución es diferente.

B) AIREACIÓN POR PASOS.

Esta modificación consiste en alimentar las aguas de desecho a diferentes longitudes de un reactor tubular (Fig.2.3). Los puntos de múltiple alimentación, dispersan la demanda de oxígeno en mas puntos, con lo que se logra un uso mas eficiente del oxígeno. Existen varias plantas convencionales que modifican al proceso de aireación por pasos para incrementar su capacidad.

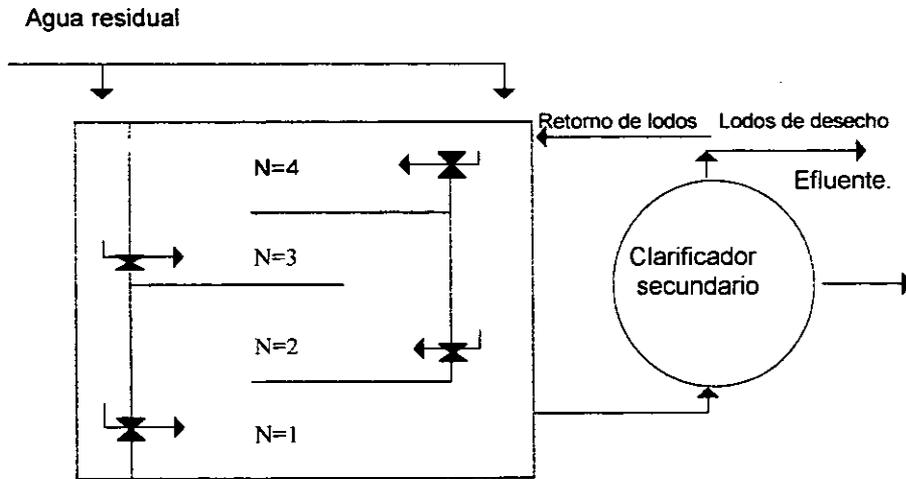


Fig.(2.3) Esquema de arreglo de un sistema de la variante aireación por pasos para el sistema de lodos activados.

C) SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE ALTA EFICIENCIA.

Se caracteriza por la alta concentración de biomasa en el reactor (1000 a 1800 SST/l) y por los tiempos pequeños de retención hidráulicos (1 a 2 h), lo cual proporciona bajos porcentajes de remoción (60 al 75%), y no permite ser usado para obtener agua tratada de calidad.

D) SISTEMAS TOTALMENTE MEZCLADOS.

Consiste en un tanque de aireación totalmente mezclado para poder amortiguar los cambios súbitos de cantidad y calidad de las agua residuales al distribuirlo en todo el reactor inmediatamente después (Fig.2.4).

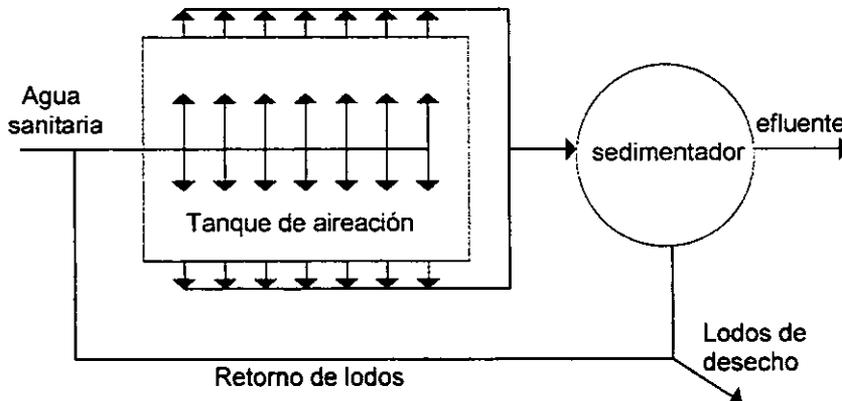


Fig.(2.4) Sistema de lodos activados totalmente mezclado

Para este caso, la geometría del tanque y el arreglo del sistema de aireación, juegan un papel importante para poder lograr el mezclado total. Para este tipo de sistemas, se utilizan principalmente aireadores de superficie o difusión.

E) ESTABILIZACIÓN POR CONTACTO.

Este proceso consiste en la adsorción de la materia orgánica, en los flocos y de lodos activados en un tanque de aireación, con tiempos de retención hidráulicos de aproximadamente media hora. En este tiempo, el material orgánico tanto soluble como coloidal debe ser adsorbido y parcialmente biodegradado dentro del floculo.

Después de este tanque, la biomasa es separada del agua tratada en un clarificador secundario, de donde se introduce a un segundo tanque de aireación para completar la oxidación de las sustancias coloidales adsorbidas en los floculos (Fig. 2.5).

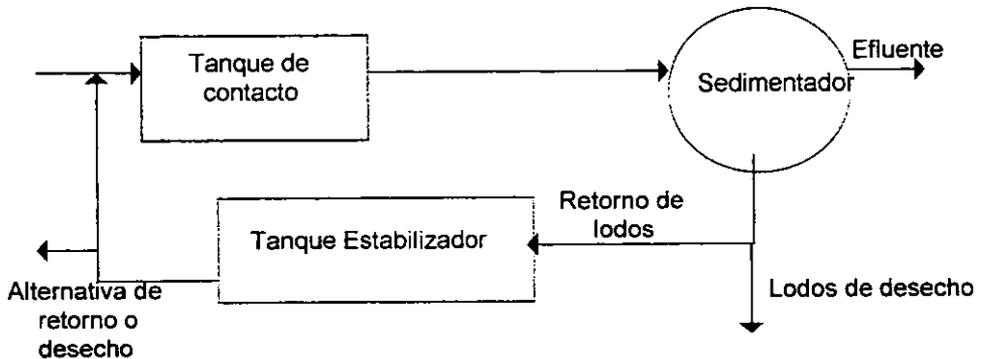


Fig.(2.5) Sistema de estabilización por contacto.

La solución de este proceso debe basarse en estudios de laboratorio donde las aguas residuales, la adsorción de la materia orgánica en los floculos de biomasa sigue el comportamiento descrito. Si el comportamiento no es el adecuado entonces este proceso tampoco lo es. Generalmente se utiliza este proceso para aguas de desecho sin sedimentación primaria.

2.1.1 AIREACIÓN CON OXÍGENO PURO.

Esta modificación utiliza oxígeno puro en vez de aire que enriquece el licor mezclado en el tanque de aireación. Esto obliga a tener tanques de aireación cubiertos y sellados para evitar pérdidas costosas del gas (Fig.2.6).

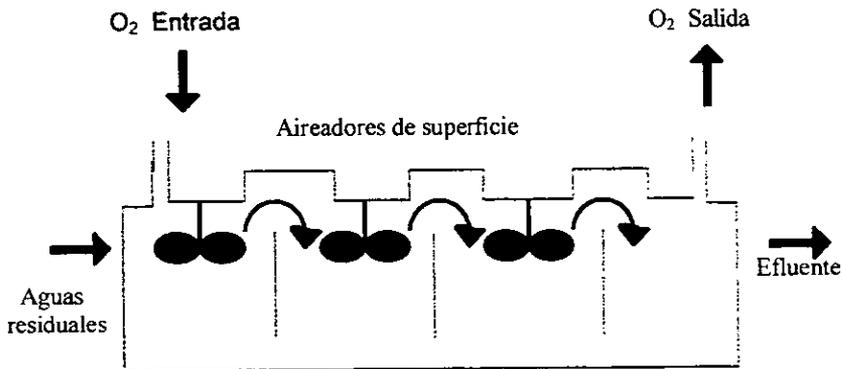


Fig.(2.6) Sistema de lodos activados con oxígeno puro.

El sistema presenta las siguientes ventajas sobre los sistemas que utilizan aire

- 1) Capacidad de cubrir altas demandas de oxígeno.
- 2) Permite mantener altas concentraciones de biomasa en el tanque de aireación, reduciendo así el volumen del tanque.
- 3) Mejores características de sedimentación y compactación de la biomasa.
- 4) Menor formación de biomasa por DBO removida.
- 5) Permite una mejor transferencia de oxígeno por HP utilizado.
- 6) Mejor estabilidad durante el proceso

Las ventajas 3,4 y 6 se derivan de la número 2.

Las desventajas que presenta son las siguientes:

- 1) Debido a la gran acumulación de bióxido de carbono en el líquido baja el valor del pH lo cual es nocivo si se desea nitrificación. Este puede eliminarse añadiendo álcalis para neutralizar.
- 2) Requiere tamizado de las aguas residuales.
- 3) Requiere aireadores especiales para producir burbujas pequeñas.
- 4) No es económicamente factible para plantas pequeñas.
- 5) ZANJAS DE OXIDACIÓN

Este sistema de tratamiento es utilizado generalmente como un sistema de aireación extendida para tratar aguas de desecho de pequeñas comunidades. Rotores de cepillo son los sistemas de aireación mas utilizados en zanjas de oxidación, estos rotores, además de difundir oxígeno le proporciona al líquido movimiento unidireccional en el tanque de aireación, el cual tiene una forma especial (fig. 2.7)

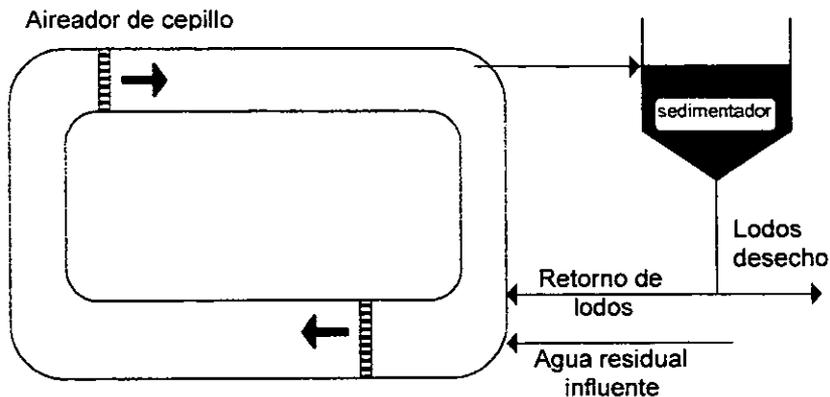


Fig.(2.7) Esquema de una zanja de oxidación

AIREACIÓN EXTENDIDA.

No se construyen plantas bajo el principio de aireación extendida, para gastos mayores de 40 l/seg., debido a los grandes volúmenes de aireación que se requieren.

Esta modificación procura que todo el material orgánico sea mineralizado o estabilizado de forma aerobia, con el objeto de generar la mínima cantidad de lodos de desecho y de esta forma minimizar el procesamiento de los lodos producidos.

Esto quiere decir que el metabolismo de la biomasa debe ser obligada a consumir material orgánico en procesos catabólicos minimizando el consumo de corrientes para procesos anabólicos.

FILTROS PERCOLADORES

Los filtros percoladores normalmente están constituidos por un lecho de medio filtrante, natural ó sintético, de 0.9 a 6.3 m de profundidad, poseen un sistema de distribución para aplicar afluente primario, así como un bajo drén que facilite la descarga de las aguas residuales tratadas y permita la ventilación del lecho filtrante.

La función de un filtro percolador es la separación de materia orgánica disuelta y de sólidos volátiles finos de las aguas residuales, así como su oxidación biológica, para formar sustancias más estables. En el tratamiento de aguas negras domésticas, el filtro percolador, normalmente es precedido por el tanque de sedimentación primaria y sucedido por el clarificador secundario. En el caso de aguas industriales con escaso contenido de sólidos suspendidos, los desechos pueden aplicarse directamente sin tratamiento primario al filtro.

El proceso biológico que se lleva a cabo en un filtro percolador, requiere de un medio (roca u otros materiales sólidos) cubierto de microorganismos. Las aguas residuales se aplican sobre el medio con un caudal controlado (percolado), lo que permite el contacto íntimo entre el agua residual, los microorganismos y el oxígeno. Esto da por resultado un conjunto de cambios físicos, químicos y biológicos (purificación) de las aguas.

La capa que cubre el medio filtrante, está compuesta por una población compleja de microorganismos predominantemente aerobios, que toman el oxígeno que circula a través de los espacios vacíos del medio filtrante, y que se encarga de oxidar la materia orgánica. El tiempo de contacto es suficiente para absorber y adsorber la materia orgánica en la biomasa, pero su estabilización se lleva a cabo en un tiempo mucho mayor que el de contacto.

Generalmente, el período de contacto se incrementa mediante la recirculación del influente. El efluente colectado en el bajo drén contiene una cierta cantidad de materia orgánica que aún persiste después de la oxidación biológica; está compuesta por lodo húmico que se desprende del lecho y por microorganismos. Por esto, un filtro percolador no es un "filtro" verdadero en la acepción común de término, los espacios vacíos entre los elementos componentes del lecho deben de ser amplios, si el medio de empaque fue seleccionado e instalado correctamente. Estos espacios no permiten un cribado físico, de hecho, una filtración real impediría el movimiento del aire y restringiría el paso del flujo hacia la porción inferior del lecho, originando el estancamiento de las aguas residuales.

El lodo húmico que se desprende del lecho, se sedimenta en un clarificador secundario, puede regresarse al sedimentador primario, mezclarse con el influente o enviarse a las instalaciones de tratamiento de lodos.⁴

MEDIOS DE SOPORTE DE LA BIOPELÍCULA

El empaque de los filtros consiste generalmente de rocas con diámetros que varían entre 25 y 100 mm y también, se utilizan empaques de plástico, que permiten tener mayor área específica (superficie expuesta por unidad de volumen) y mayor espacio vacío que facilita el paso de aire. (Ver tabla 2.1)

Los filtros con empaque de piedra, poseen un peso específico que limita su altura debido al empuje ejercido sobre la pared del tanque y sobre el suelo, sin embargo, gracias a los empaques plásticos, ha sido posible aumentar la altura de los filtros. (Ver tabla 2.1).

CARACTERÍSTICAS DEL EMPAQUE

(TABLA 2.1)

	<i>piedra</i>	<i>piedra</i>	<i>módulos corrugados de plástico</i>	<i>piezas de plástico</i>
Características	25-75 mm	50-100 mm	60*60*120 cm	sueitas al azar
Peso específico (Kg/m³)	1440	1600	32-80	32-64
Área específica (m²/m³)	62	46	100-200	100-200
Espacio vacío (%)	50	60	>95	>95

Fuente: Primer Diplomado internacional en química ambiental del agua (Del 17 de sept al 1 de nov. De 1991)

TIPOS DE FILTROS PERCOLADORES

Los filtros, se clasifican con base en las cargas orgánicas e hidráulica de tratamiento para las que son diseñados, en filtros de tasa baja, intermedia alta y super alta.

A) FILTROS DE TASA BAJA

Los filtros percoladores de tasa baja son diseñados para cargas hidráulicas de 1.1 a 4.3 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y cargas orgánicas de 0.008 a 0.41 $\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. Estos filtros tienen una profundidad de 1.8 a 2.4 m y una planta rectangular o circular. Normalmente son alimentados intermitentemente mediante tanques dosificadores con sifones automáticos, o bien por bombeo periódico. El intervalo entre dosificaciones debe de ser corto para que la biocapa seque (La recirculación ayuda a lograrlo).

Durante la operación normal se desarrolla una capa gruesa hasta que la temperatura o el flujo de aguas residuales originan el desprendimiento de una porción considerable. La capa desprendida es un material húmico estable, fácilmente sedimentable, que frecuentemente presenta muchos nemátodos y larvas de moscas.

B) FILTROS DE TASA INTERMEDIA

Los filtros de tasa intermedia normalmente están diseñados para tratar cargas hidráulicas de 4.3 a 10.8 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y cargas orgánicas de 0.25 a 0.49 $\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, considerando la recirculación.

C) FILTROS DE TASA ALTA

Los filtros de alta tasa están diseñados para soportar una carga hidráulica de 10.8 a 43.3 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y cargas orgánicas de 0.41 a 4.88 $\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. Estos filtros tienen una profundidad de 0.9 a 2.4 m, su alimentación es continua. La alta tasa se logra a través de la recirculación del efluente y el desprendimiento de la biocapa es continuo. Estos sólidos son menos estables y ejercen una D.B.O.₅ apreciable después de salir del filtro, ya que son retenidos en el lecho por un tiempo mucho menor que en los filtros de tasa baja e intermedia.

Existe un tipo de filtro de tasa alta, como filtro desbaste, que maneja cargas orgánicas superiores a 1.6 $\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. Estos filtros se emplean para dar un pretratamiento a los residuos antes de un proceso de lodos activados

D) FILTROS DE TASA SUPER ALTA

Las principales diferencias entre los filtros de tasa alta y super alta son de mayor carga hidráulica y profundidad. Algunos filtros de tasa super alta están diseñados para manejar más de $162.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. La mayoría de estos filtros, tienen la forma de torres empacadas con 12 m de profundidad y emplean medio sintético.

BIODISCOS

Los reactores biológicos rotatorios, también llamados biodiscos, son un sistema biológico secundario para el tratamiento de aguas residuales. Sus características permiten clasificarlo dentro de los sistemas aerobios de película biológica que tienen como objetivo primordial la eliminación de material orgánico disuelto que se encuentra en las aguas residuales. También pueden ser utilizados, de forma simultánea, para la oxidación de amoníaco que se encuentra en las aguas residuales o que se produce por actividad de los microorganismos presentes en el agua.

Los reactores biológicos rotatorios se encuentran asociados, al igual que otros sistemas biológicos, a sedimentadores primario y secundario. Entonces la parte principal de lo que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales que opere con biodiscos, está constituida por un sedimentador primario, biodiscos y sedimentador secundario.

Los biodiscos son un conjunto de placas de material plástico corrugado, generalmente de forma circular (discos), soportadas en el centro por una flecha de acero. La flecha tiene en sus extremos soportes rotatorios (rodamientos, chumaceras) y en uno de los extremos se coloca el sistema de tracción. Este sistema de tracción, es generalmente un motor eléctrico acoplado a un reductor de velocidad que hace girar la flecha lentamente. El biodisco se instala sobre un tanque, permitiendo que las placas de plástico se sumerjan parcialmente en el agua residual.

Al girar los discos, la película biológica adherida a ellos entra en contacto alternadamente con el agua residual que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir el agua del tanque, las placas de material plástico arrastran una capa líquida sobre la

superficie de la película biológica lo cual permite la oxigenación del agua y de los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se lleva a cabo por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan el oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica. Cada vez que pasa por el agua de desecho, la biomasa absorbe materia orgánica que es utilizada como fuente de nutrientes. Los principales productos de la oxidación bioquímica son: agua, bióxido de carbono amoníaco y microorganismos que aumentan la población microbiana. El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes originadas por la rotación de éstos al pasar por el agua. Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y son conducidos hacia el sedimentador secundario donde son separados de ésta.

Los discos de material plástico cumplen con varios propósitos: son un soporte para las poblaciones microbianas, sirven como dispositivo de mezclado en el tanque y permiten la oxigenación del medio.

Cuando el proceso inicia su operación, los microbios del agua de desecho se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área queda cubierta con una capa o película microbiana.

En la actualidad los biodiscos pueden ser considerados como otra alternativa para el tratamiento secundario de aguas residuales y han sido utilizados para tratar aguas residuales de diferentes orígenes. Su aplicación más común es en el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y municipal. Se conocen múltiples casos de la utilización de biodiscos en la industria.

Las compañías más grandes así como los mayores consumidores de este sistema se encuentran en los Estados Unidos de Norteamérica. En este país, los biodiscos han tenido una aplicación preponderante en el tratamiento de aguas residuales de tipo municipal. Muchas plantas pequeñas y grandes han instalado biodiscos como sistema para tratamiento secundario. Durante casi 20 años la configuración más utilizada (actualmente

denominada estándar) es la de unidades con diámetros de 36 m (12 ft.) longitudes de 8m (28 ft) y con área superficial entre 9,300 y 11,100 m² (100,000 y 120,000 ft²). Cuando las unidades de biodiscos tienen separaciones internas para ser divididos en etapas, se tiene una pérdida de área superficial, lo cual no sucede cuando las unidades son fabricadas sin divisiones.

Un tipo de biodisco que se ha popularizado mucho en el reino unido es el denominado planta paquete. Es un sistema integrado de sedimentador primario, biodisco y sedimentador secundario, que se fabrica en tanques de acero al carbón o de fibra de vidrio, dependiendo del tamaño y de la resistencia estructural deseada. Los discos de polietileno corrugado tienen diámetros entre 1.5 y 2.5 m y el sistema de tracción es un motor reductor. Su principal aplicación es para el sistema de aguas residuales de pequeños conjuntos habitacionales. El principal fabricante es la compañía Ames Crosta y ha concesionado la fabricación de estos sistemas en casi todos los países europeos, incluyendo los del antiguamente llamado "Bloque Oriental".

Actualmente, en los países europeos, se cuenta con más de 50 fabricantes de sistema "paquete" que utilizan biodiscos como sistema de tratamiento secundario.

Otro país europeo que fabrica gran cantidad de biodiscos con diferentes características es Alemania. El fabricante mas grande es NSW (Norddeutsche Seekabelwerke) con biodiscos que van desde 2 hasta 4 m de diámetro. Como soporte plástico utilizan tubos perforados y termoformados de polipropileno que acomodan en posición horizontal alrededor de una flecha de acero que tiene una longitud fija de 2.5m. la tracción es directamente sobre la flecha con engranes de nylon de 1 m de diámetro. Su principal aplicación ha sido en el tratamiento de aguas residuales industriales.⁵

2.2 MICROORGANISMOS Y SU IMPORTANCIA

El propósito del tratamiento biológico secundario en aguas de desecho, es purificar el agua, transformando las moléculas degradables en productos totalmente oxidados y biomasa sedimentable. Básicamente, una población mixta de microorganismos, incluyendo las bacterias, hongos y protozoarios, actúan juntos bajo condiciones adecuadas para convertir los desechos químicos, en mas microorganismos, bióxido de carbono y agua.

Los microorganismos generalmente pueden ser clasificados por su metabolismo, como aerobios, facultativos o anaerobios. Los organismos aerobios, requieren de oxígeno molecular para su proceso metabólico. El metabolismo de los organismos anaerobios solo funciona en ausencia de oxígeno. Los facultativos, pueden intercambiar su metabolismo a aerobios ó anaerobios y son los mas comunes en los procesos de tratamiento biológico de desechos.

Los microorganismos de aguas de desecho, pueden conseguir energía de varias formas. Los organismos heterótrofos, utilizan los compuestos orgánicos como fuente de energía y como fuente de carbono para su síntesis celular.

Los organismos autótrofos, por otro lado, utilizan el bióxido de carbono, como fuente de carbono. Los autótrofos quimiosintéticos, obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos, tales como, nitrógeno ó sulfuro. Los autótrofos fotosintéticos, como las algas, utilizan la energía solar, para convertir el bióxido de carbono, en masa celular y sintetizar oxígeno en el proceso. Además de carbono y energía, todos los microorganismos, necesitan nitrógeno, fósforo y trazas de elementos para su crecimiento.

Los microorganismos de agua de desecho, pueden también ser clasificados por su morfología, reproducción y fisiología en :Bacterias, Algas, Hongos, Protozoarios, Rotíferos y Virus.

BACTERIA

Las bacterias son organismos unicelulares no nucleados, si los nutrientes y el oxígeno están en exceso ,la bacteria se multiplicará rápidamente, hasta que la fuente de comida se haya agotado.

La bacteria se encuentra en el agua, en la tierra y en el aire, dentro de un amplio rango de temperaturas, salinidad, concentración de oxígeno y acidez. Las bacterias pueden tener forma de bastones, esferas o espirales. El rango en el tamaño de las células, es de 0.5 a 3 micras.

En un reactor de lodos activados, las bacterias se alimenta de las impurezas solubles en el agua de desecho y es favorecida a formar un flóculo, lo cual, ayuda a su sedimentación y remoción en el agua tratada. Cada partícula de biomasa, contendrá millones de bacterias de muchas diferentes especies.

HONGOS

Los hongos son importantes en la purificación de aguas, debido a que, al igual que las bacterias, ellos metabolizan la materia orgánica disuelta. Los hongos son no fotosintéticos, y pueden desarrollarse en áreas de baja humedad y soluciones de bajo pH, donde la bacteria no puede sobrevivir.

Dependiendo del medio ambiente, los hongos pueden ser unicelulares o multicelulares filamentosos.

Sin embargo, estos son fácilmente distinguidos de las bacterias filamentosas por su tamaño, el cual es de 5 a 10 micras de ancho. Puesto que los hongos, son únicamente aerobios, ellos no son importantes en los procesos anaerobios, tales como la digestión.

PROTOZOARIOS Y ROTIFEROS

Los protozoarios son protistas móviles y microscópicos, generalmente son unicelulares. La mayoría de los protozoarios son heterótrofos aerobios, aunque algunos de ellos son anaerobios. Los protozoarios son generalmente mas grandes que las bacterias y muchas veces utilizan a éstas como fuente de energía. En efecto, los protozoarios actúan como pulidores de efluentes en procesos de tratamiento de aguas residuales consumiendo bacterias y sobre todo materia orgánica en suspensión.

Los rotíferos son aerobios, heterótrofos y multicelulares. Su nombre se debe a que tienen dos series de cilios rotativos en su cabeza, los cuales usa para moverse y capturar su alimento. Los rotíferos son muy eficaces para consumir bacterias dispersas y floculantes, y partículas pequeñas de materia orgánica. Su presencia en efluentes indica un proceso de depuración de alta eficiencia.

ALGAS

Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofas y fotosintéticas. Ellas son importantes en los procesos de tratamiento biológico por dos razones:

- 1) La capacidad para producir oxígeno por fotosíntesis que es vital para la ecología de un ambiente acuoso.
- 2) Para la operación eficiente de lagunas de oxidación aerobias o facultativas es necesario la presencia de algas para promover oxígeno a las bacterias aerobias heterótrofas.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES PARA EL CRECIMIENTO MICROBIANO

Para sobrevivir y reproducirse los microorganismos requieren: 1) una fuente de energía, 2) una fuente de carbono para síntesis del nuevo material celular, 3) elementos inorgánicos (nutrientes) como nitrógeno fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio, 4) un aceptor final de electrones.

Las fuentes de carbono disponibles son el carbono orgánico y el bióxido de carbono. Los microorganismos que utilizan el carbono orgánico para formar tejido celular orgánico es un proceso reductivo y requieren suministro de energía. Debido a esto, los organismos autótrofos gastan mucho más energía para la síntesis celular que los heterótrofos, lo que resulta en velocidades de crecimiento más bajas comparando con los heterótrofos.

La energía necesaria para la síntesis celular se puede obtener de la luz ó de reacciones químicas oxidativas. Aquellos organismos que son capaces de usar la luz como fuente de energía se denominan fotótrofos. Los fotótrofos pueden ser heterótrofos (ciertas bacterias sulfúricas) ó autótrofos (algas y bacterias fotosintéticas). Los organismos que derivan energía de reacciones químicas se conocen como quimiótrofos. Los quimiótrofos también pueden ser heterótrofos (protozoarios, hongos y la mayoría de las bacterias) y autótrofos (bacterias nitrificadoras). Los quimioautótrofos obtienen su energía a partir de la oxidación de compuestos inorgánicos reducidos como es el amonio, nitritos y sulfuros. Los quimioheterótrofos usualmente derivan su energía de oxidación de compuestos orgánicos.

Para el desarrollo celular también se requiere de un suministro de nitrógeno el cual se destina principalmente a la síntesis de proteínas. También deben de estar presentes otros nutrientes como S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, y Cl. Nutrientes de menor importancia son Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V, y W, los cuales se emplean como cofactores enzimáticos. Además, también pueden ser necesarios algunos factores de crecimiento como precursores o constituyentes de material celular que no puedan ser sintetizados por los microorganismos. Aunque los factores de crecimiento difieren de un organismo a otro, se puede decir que los principales son aminoácidos, purinas, pirimidinas y vitaminas

CRECIMIENTO MICROBIANO

Las bacterias se pueden reproducir por fisión binaria, sexualmente y por gemación. En general, para hablar de crecimiento microbiano se entiende que de cada célula se obtienen

dos nuevos organismos. El tiempo necesario para que cada división proceda, se llama tiempo de duplicación o de generación y puede ser de días o minutos. Por ejemplo, para un tiempo de generación de 30 min., una bacteria puede producir 18,777,218 bacterias durante 12 horas, siempre que no haya limitación de sustrato.

El modelo de crecimiento microbiano , cuya explicación se ha generalizado en cultivo en lote tiene cuatro fases distintas.

1)FASE LAG O DE ADAPTACIÓN

Los microorganismos presentes al inicio del proceso requieren un tiempo para adaptarse a las condiciones microambientales. Aumentan su tamaño y entonces comienzan a reproducirse.

2)FASE DE CRECIMIENTO EXPONENCIAL

Durante este período las células se dividen en velocidades determinadas por su tiempo de generación y su capacidad para metabolizar sus nutrientes.

3)FASE ESTACIONARIA

La población deja de dividirse debido a la limitación de nutrientes.

4)FASE DE RESPIRACIÓN ENDÓGENA

Durante esta fase, la velocidad de muerte de las bacterias es mayor a la de generación de nuevas células. Se inicia la respiración endógena, en la que los microorganismos empiezan a metabolizar su propio protoplasma, este fenómeno es conocido como autólisis .

Los procesos de tratamiento biológico ocurren con poblaciones mixtas y complejas, que interaccionan entre sí, donde cada uno de los microorganismos tiene su propia curva de crecimiento. El perfil de cada grupo con respecto al tiempo depende de la disponibilidad de nutrientes, de las condiciones ambientales como temperatura, pH, y el tipo de metabolismo empleado.⁶

2.3 TECNICAS PARA CONTROL DE PROCESO EN UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS

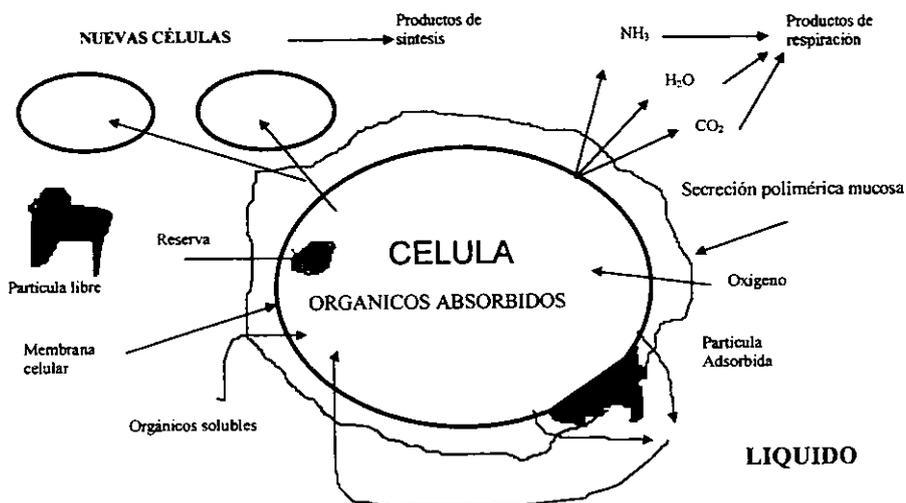
Como un proceso de operación, un lodo activado saludable puede aceptar, adaptarse y absorber pequeños cambios en flujo, carga y condiciones ambientales. Sin embargo; si no se compensa mediante ajustes para responder a estos cambios se afecta la eficiencia del tratamiento. Afortunadamente; la mayoría de los cambios pueden detectarse o predecirse con la rapidez que permite un adecuado ajuste correctivo.

En la formación de lodo activado se consideran 3 pasos: Transferencia, Conversión y Floculación.

La transferencia ocurre cuando la materia orgánica nutriente entra en contacto con los microorganismos transfiriéndose a través de dos acciones simultáneas: adsorción y absorción.

La materia orgánica soluble pasa directamente a través de la membrana o pared celular al interior de la célula, mientras que las partículas y materia coloidal suspendida en el líquido, se adsorben en la membrana celular, transformándose en moléculas simples solubles antes de absorberse. Esto, unido a la síntesis celular, la conversión a NH_3 , CO_2 y H_2O , como productos de la respiración y la generación de polímeros formadores del floc, constituyen el metabolismo.(ver fig. 5.1)

Figura (5.1) Metabolismo de una célula



El mejor efluente de la planta se logra cuando la calidad del lodo activado es buena, para lo cual se requiere proveer un ambiente acuático que conduzca a un desarrollo biológico saludable, bajo las siguientes condiciones:

- a) Una corriente de desecho, igualada en términos de carga hidráulica, composición y temperatura.
- b) Material orgánico presente como alimento de los microorganismos.
- c) Oxígeno disponible para la respiración microbial.
- d) Nitrógeno y Fósforo, en cantidades necesarias para la síntesis del material celular.
- e) Adecuado tiempo de residencia en el tanque de aireación.
- f) Elementos micronutrientes generalmente encontrados en las aguas de desecho.
- g) Un pH relativamente constante en el rango de 5.5 a 8.5.

CONTROL MEDIANTE F/M Y CRT.

Se debe mantener un balance constante entre el alimento y los microorganismos (F/M) o controlar un nivel biológico con el adecuado tiempo de residencia para metabolizar la materia orgánica (CRT).

F/M y CRT son los 2 métodos empleados por los operadores de la planta para control de su proceso. La relación F/M es la mas antigua y por consiguiente la mas empleada. Está basada en la idea de que la cantidad de materia orgánica biodegradable alimentada al proceso, afecta directamente la velocidad de desarrollo microbiológico, por lo que resulta necesario mantener una relación definida entre el alimento y los microorganismos.

El método para control CRT relaciona los sólidos del sistema, a la velocidad de desarrollo y es expresado en tiempo (días) que permanecen los microorganismos en el sistema.

Conforme avanza el tiempo, el desarrollo microbial entra en la zona declinante, en la cual, la cantidad de alimento disponible comienza a limitar la velocidad de desarrollo. Nótese que en el punto ED los microorganismos son más numerosos que el alimento y en el punto FG aún más, lo cual muestra que conforme el tiempo avanza, los microorganismos son más viejos y la relación de alimentos a microorganismos (F/M) disminuye al aumentar la biomasa.

Conforme se incrementa el tiempo la actividad biológica disminuye debido a que no hay suficiente alimento y el proceso entra en la zona endógena, donde la población microbial comienza a morir estallando sus células que proveen de materia orgánica a la población restante. Por esta razón, aún en la fase endógena de canibalismo, tiene lugar un pequeño desarrollo. Los procesos que son operados en esta zona producen un lodo viejo y de fácil sedimentación.

EFFECTO DE LOS LODOS JOVENES

Los operadores de cualquier planta de lodos activados se interesan en las reacciones metabólicas de síntesis y oxidación, porque a través de estas 2 reacciones, la materia orgánica es totalmente estabilizada. Cuando un proceso se opera intencional o no intencional con estas reacciones incompletas el resultado será un tratamiento incompleto.

Cuando la masa celular no es limitada, rápidamente los microorganismos se multiplican, lo cual significa que la síntesis es predominante y se considera que está en la fase log. de desarrollo, lo cual se confirma por cualquiera de las siguientes pruebas:

- 1) D.O. en el tanque de aireación disminuirá conforme la demanda de oxígeno aumenta.
- 2) D.O. en el clarificador final será casi cero, esto se debe a que el metabolismo que debió ocurrir en el tanque de aireación está ocurriendo en el clarificador.
- 3) S.V.I. ó S.V. El lodo es de color ligeramente café y sedimenta lentamente, si es que lo hace en forma total.
- 4) R.R. Este valor será arriba del normal.
- 5) B.O.D. en el efluente final. Durante este periodo el B.O.D. aumenta sobre lo normal puesto que no hay suficientes microorganismos para consumir la materia orgánica que pasa sin asimilar al efluente final.

6) F/M. Esta relación será elevada.

7) C.R.T. Un cálculo del tiempo de residencia celular muestra ser demasiado corto para permitir el metabolismo.

8) M.L.S.S. Una comparación de sólidos suspendidos muestra una rápida elevación de sólidos.

Usualmente esta es una condición temporal causada por elevada carga de B.O.D. o excesiva purga. Si esta condición persiste por 48 hrs, los lodos se flotarán.

Las condiciones normales del proceso incluyen aumento del abastecimiento de aire conforme lo dictan las lecturas de D.O. Si el ajuste se requiere durante un tiempo prolongado se debe disminuir la purga para aumentar el tiempo de residencia. Si la condición de carga es solo temporal no se ajusta purgando.

EFFECTO DE LOS LODOS VIEJOS

En el otro extremo, si el proceso es operado con lodos viejos, la masa celular puede ser comparada con las personas de mayor edad, que cuando alcanzan su máximo desarrollo su capacidad de reproducción se reduce a través de la vida hasta que muere. La utilización de los alimentos disminuye, la manufactura de nuevas células declina y la mayor parte de la materia orgánica está almacenada como material de reserva. Los microorganismos que se retornan al tanque de aireación no son capaces de utilizar el alimento al máximo y el operador observa que pequeños flocs pasan en el clarificador, así como flotación de lodos y espuma oscura en el tanque de aireación lo cual puede confirmarse por cualquiera de las siguiente pruebas:

1) D.O. en el clarificador mayor que el normal.

2) D.O. en el tanque de aireación mayor que el normal (si el aire no ha sido disminuido).

3) S.V.I. ó S.V. Una rápida velocidad de asentamiento, elevada compactación y turbidez con sobrenadante de finas partículas.

4) R.R. Abajo de lo normal.

5) El B.O.D. en el efluente no cambia.

6) S.S. en el efluente aumenta.

7) F/M demasiada baja relación.

8) C.R.T. demasiado largo, dando origen a un lodo sobreoxidado viejo.

9) M.L.S.S manteniendo un alto nivel.

Esta condición frecuentemente se presenta en el tratamiento debido a que los operadores tratan de seguir la regla básica que dice: Mantener el más elevado nivel posible en M.L.S.S. para tener suficientes microorganismos y manejar o absorber rápidamente los choques de carga. Esta es una operación segura pero produce problemas. La respuesta correctiva sería: reducir CRT e incrementar F/M aumentando la purga.

Dos modos de procesar son intencionalmente operados con lodos viejos: Aireación extendida y Digestores aerobios operados en la zona endógena o zona de muerte.

Estos procesos operan con bajas cargas, una elevada cantidad de masa biológica y largos tiempos de residencia. La continua operación bajo estas condiciones, ocasiona una masa ligera en peso de microorganismos, mientras que producen un lodo como ceniza, además las células mueren, se rompen o estallan, liberando materia orgánica almacenada que es empleada como alimento por los organismos remanentes.⁷

CONDICIONES OPTIMAS

El proceso convencional de lodos activados, se comporta mejor cuando la masa de lodos (biomasa) no es demasiado vieja ni demasiado joven. Se da mayor énfasis a la calidad de lodos en vez de la cantidad. La operación del proceso es limitada a un rango estrecho de concentración de sólidos y tiempo de residencia celular.

La operación óptima está caracterizada por:

- 1) Un suficiente tiempo de residencia en el tanque de aireación para metabolizar el alimento.
- 2) Un tiempo de residencia celular (edad del lodo) que permita la formación de un lodo saludable.
- 3) Suficiente biomasa para remover y metabolizar todo el material nutriente.
- 4) El lodo debe tener buenas características de asentamiento, lo cual significa que sedimenta lo suficientemente lento para arrastrar consigo las partículas suspendidas.
- 5) Los organismos del retorno de lodos están en capacidad de alimentarse nuevamente.

ACUMULACION DE SOLIDOS

Los sólidos se acumulan diariamente en el sistema como un resultado del metabolismo microbial y se ha determinado en un número de plantas que operan con desechos domésticos, dar las condiciones óptimas para tener: 0.56 lbs de sólidos por día, por cada libra de alimento (BOD) removido del sistema, lo cual es llamado el GR. Este valor puede usarse en ausencia de datos de la planta y como un inicio de operación, pero los valores de GR, deben de establecerse bajo condiciones de operación, cuando la concentración de sólidos, flujo y BOD están determinados.

FACTORES QUE AFECTAN EL GR.

El GR varía de planta a planta debido a la variabilidad de los diferentes desechos y otros factores tales como:

- 1) Conforme la edad del lodo aumenta y cae en la zona endógena, disminuye el GR.
- 2) También disminuye cuando se aumenta la concentración del MLSS.
- 3) Elevadas relaciones F/M produce elevados GR hasta que el desarrollo es limitado por la disminución del alimento. Baja relación F/M produce bajo GR. Una F/M de 0.5 produce un elevado GR de 0.1.
- 4) El GR es influido por la temperatura. Las reducciones de temperatura disminuyen el GR y es menor en invierno que en verano, lo cual significa que las purgas deben ajustarse en las diferentes estaciones anuales.

COMO SE CONTROLA F/M Y CRT

Suponiendo que las condiciones ambientales son propiamente controladas, el punto óptimo de operación, ayuda a obtener la concentración deseada en el efluente.

Ambas técnicas regulan la velocidad de desarrollo, metabolismo y estabilización de la materia orgánica produciendo lodos de calidad y el mejor efluente.

El nivel de sólidos es controlado mediante purgas.

- | | |
|--------------------|---|
| 1) Manteniéndolos | Purgando una cantidad fija de microorganismos/día |
| 2) Aumentándolos | Disminuyendo la purga |
| 3) Disminuyéndolos | Incrementando la purga |

F/M y CRT están interrelacionados cambiando un control cambia el otro, cuando con las condiciones existentes se tenga el mejor efluente y lodos de calidad, debe mantenerse constante la operación hasta que algún cambio nos indique lo contrario.

COMPARACION ENTRE ELEVADOS Y BAJOS F/M'S Y CORTOS O LARGOS CRT'S

Considerando los extremos, debe seleccionarse el F/M deseado, el cual es afectado por las siguientes condiciones:

- 1.- El modo de operación.
- 2.-Tipo y carácter de la carga de desecho.
- 3.-Variabilidad de la carga de desecho.
- 4.-Factores del medio ambiente: Temperatura ambiental, temperatura del desecho, estación del año.
- 5.-Carga de BOD.

La mejor operación F/M ó CRT para una planta dada, debe ser experimentalmente determinada basándose en los resultados del tratamiento actual. Como conclusión la operación F/M ó CRT seleccionada debe asociarse con valores bajos de SVI y bajo BOD en el efluente.

RETORNO DE LODOS(RAS)

Las bombas para retorno de lodos tienen suficiente capacidad para proveer el 100 % del flujo de la planta (Q). En la práctica normal este máximo rango es raras veces necesario. Suele aplicarse cuando la flotación de lodos cubre el clarificador particularmente con los flujos picos o cuando reciben desechos de elevada concentración.

Las operaciones de retorno de lodos durante el día están basadas sobre diversas consideraciones:

1. La carga de sólidos sobre el clarificador. La planta está limitada por el máximo número de libras que soporta el sistema conforme las especificaciones de diseño.
2. La concentración deseada en MLSS en el tanque de aireación se determina por la relación F/M.

3. La sedimentación de sólidos que entran al clarificador se mide ya sea por SVI o por un sedimentómetro Mallory.
4. El flujo del influente al tanque de aireación.
5. La concentración de sólidos en el retorno de lodos.

El retorno de lodos(RAS) es una parte importante del proceso de lodos activados aunque algunas veces no se entiende cuanto debe retornarse y cuando deben de hacerse los cambios. El principal propósito del retorno de lodos es mantener un inventario de microorganismos para consumir el alimento.

PURGA DE LODOS(WAS)

La purga diaria puede ser continua o intermitente pero tomando como base el inventario de lodos y bajo las siguientes guías:

1. Calcular y establecer la purga para mantener suficientes sólidos.
2. No sobrepurgar o tendrá insuficiente cantidad de M en el tanque de aireación cuando se tengan picos de carga.
3. Observar la flotación de lodos en el clarificador para decidir si se debe aumentar la purga.
4. Al aumentar la cantidad de sólidos en el tanque de aireación (disminuye F/M), disminuye o suprime la purga y aumenta el retorno. Si disminuye la cantidad de sólidos bajo aireación (aumenta F/M) aumenta la purga y disminuye el retorno.
5. Las prácticas de purga normalmente serán modificadas cuando el proceso se perturba.
6. Efectos de la sobrepurga a largo plazo. Una excesiva purga reduce CRT o edad de los lodos caracterizados por una sobreabundancia, un floc de reciente formación y elevada demanda de oxígeno. Si RR se emplea para monitorear, se notarán valores elevados y los niveles de D.O disminuirán.
7. Efectos de la falta de purga a largo plazo. Cuando se purga en forma insuficiente por tiempo prolongado aumenta el CRT o edad de los lodos produciendo un lodo viejo con bajo RR.
8. Control de purga efectivo. El proceso de ajuste y control es a largo plazo y se requiere de un lodo adecuado para determinar sus efectos. Cuando se requiere purgar, el mejor procedimiento consiste en cambiar paulatinamente (20 %) y esperar los resultados de

cada cambio, esto se requiere para evitar choques en el proceso. Cuando se observan mejoras hay que mantener ese nivel de purga durante 3 días para confirmar resultados.

9. La purga puede emplearse para controlar la velocidad de sedimentación, si se disminuye da como resultado un floc denso que la aumenta e incrementándola produce un floc ligero que la disminuye. Ambas condiciones, requieren por lo menos 2 o 3 días para mostrar una tendencia definitiva
10. Durante las lluvias se ocasionan grandes flujos y se debe reducir la purga, porque una reducción de S.S. trae como consecuencia arrastre de sólidos en el clarificador secundario.

Tabla (2.2) RELACIONES OPERACIONALES CON LAS VARIABLES RAS Y WAS

	RAS CONC.	Desechos sólidos	MLSS	F/M	CRT	MLSS RAS	Rango de sedimentación
Alterando RAS constante WAS							
Aumenta RAS	disminuye	disminuye	aumenta	disminuye	aumenta		aumenta
disminuye RAS	Aumenta	aumenta	disminuye	aumenta	disminuye		disminuye
Alterando WAS constante RAS							
aumenta WAS	disminuye		disminuye	disminuye	disminuye	No E	disminuye
disminuye WAS	aumenta		aumenta	aumenta	aumenta	No E	aumenta
aumentando RAS disminuyendo RAS	aumenta		aumenta	disminuye	aumenta		
disminuyendo RAS aumentando WAS	disminuye		disminuye	aumenta	disminuye		

Fuente: OPERATORS POCKETGUIDE TO ACTIVATED SLUDGE (STEVENS, THOMPSON & RUNYAN INC.)

La tabla muestra que aumentando el CRT y la concentración de MLSS el operador puede seleccionar uno de los tres procedimientos:

1. Aumentar la velocidad de flujo RAS y permaneciendo WAS constante.
2. Disminuir la velocidad de flujo WAS y permaneciendo RAS constante.
3. Aumentando RAS y disminuyendo WAS.

Si desea disminuir la concentración de MLSS

1. Disminuya la velocidad de flujo RAS y mantenga constante WAS.
2. Aumentando WAS y manteniendo RAS constante

3. Disminuyendo RAS y aumentando WAS.

Los efectos de estos cambios no se notan inmediatamente.⁸

MEDIO AMBIENTE

Se puede establecer una analogía entre los microorganismos de un lodo activado normal y una persona saludable. Los microorganismos normales trabajan duro, hacen un buen trabajo y son resistentes a la infección. Entran en contacto con todo y no se enferman, sin embargo pueden ser envenenados, sobrealimentados, maltratados y pierden su resistencia. El síntoma universal de la enfermedad en un lodo activado es la pérdida de sólidos en el tanque de aireación. La operación eficiente de un proceso biológico depende de la estabilidad de las condiciones, es decir, la mejor operación se lleva a cabo sin cambios bruscos de cualquiera de las variables. Este sueño utópico, desafortunadamente no ocurre, porque los sistemas siempre están sujetos a condiciones cambiantes, las cuales afectan o tienden a interrumpir la estabilidad. Cualquier cambio brusco, tendiente a interrumpir el proceso hasta un punto de perder sólidos o aumentar BOD en el efluente, se le denomina SHOCK.

EFFECTOS DE LA CARGA

Uno de los mas comunes problemas de operación encontrados es el SHOCK orgánico, disminuciones o aumentos en la concentración de BOD se presentan y cuando esto sucede la respuesta operacional es hacer ajustes en la concentración del MLSS para reducir los efectos del SHOCK.

El aumento de carga en BOD puede presentarse en varias formas:

1. Un incremento mayor a 2 veces al valor del promedio diario en la concentración de la carga orgánica (BOD en el influente), sin cambiar el flujo.
2. Un incremento en carga orgánica acompañada por un incremento en flujo, o sea una sobrecarga orgánica e hidráulica.
3. Un incremento brusco, pero la porción que incrementa temporalmente el total, tiene características diferentes de las que normalmente se manejan. Una de las causas más

comunes de este tipo de aumento resulta de los vertidos industriales y el operador debe detectar la fuente del desecho y decidir si lo elimina o lo reparte en el curso del día.

4. La carga orgánica completa puede cambiar de un tipo a otro. Este cambio puede ocurrir en casos donde las plantas que procesan alimentos estacionales descargan en el sistema.
5. Un incremento de carga orgánica durante periodos de menos flujo. Esto ocurre frecuentemente de fuentes internas.

Los cambios en carga orgánica pueden ser graduales o de duración variable o puede llegar dosificado por partes. Esto ocasiona problemas que no permiten suficiente tiempo para la dilución. Una solución es instalar equipo que detecte y responda en forma inmediata.

AJUSTES Y ESTRATEGIAS OPERACIONALES

1. Cierta recuperabilidad se diseña en el sistema. El tiempo de retención en el aireador provee alguna dilución, dando el mayor tiempo durante aquellos periodos del día cuando el flujo es menor que el flujo pico de diseño.
2. La cantidad de organismos (concentración de MLSS) llevada bajo aireación proveerá una capacidad de reserva para amortiguar el SHOCK. Este nivel de sólidos deseados será el de mejores características de sedimentación.
3. El modo de operar es también significativo. Mezcla completa, estabilización por contacto, reaireación de lodos, tanques de igualación, proveen de una mejor capacidad para reducir los efectos del SHOCK orgánico.
4. La edad de los lodos o tiempo de residencia, tiene efecto sobre la habilidad para resistir al SHOCK de carga orgánica. En general, el lodo viejo responde mejor al SHOCK que el lodo joven.
5. Así si todos estos factores son disponibles, aumentos hasta de 200 % pueden ser acomodados con solo ligeras pérdidas.

PRUEBAS RAPIDAS PARA IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Los mayores efectos del SHOCK de carga orgánica no se notan inmediatamente sino después de varias horas. Los efectos son enlistados en base a la rapidez en que pueden detectarse.

1. Disminución de DO en el tanque de aireación.
2. Un incremento brusco en RR del licor mezclado
3. Un incremento en SVI, mostrando pobre sedimentación
4. Una disminución en la concentración de sólidos sedimentados.
5. Un incremento en la concentración de BOD y SS en el efluente final
6. Una disminución en el residual de cloro en el efluente final.

EFFECTOS DEL pH

El pH es uno de los 2 factores ambientales importantes (abastecimiento de oxígeno o aire es el otro) que pueden ser regulados por el operador. El pH de 7 es neutral, pH abajo de 7 es considerado como ácido y pH arriba de 7 es alcalino.

El pH en el licor mezclado debe mantenerse cerca del valor neutral porque es cuando la mejor actividad metabólica ocurre ya que los microorganismos están en plena capacidad y el proceso amortigua o soporta SHOCKS de carga.

El desarrollo biológico ocurre en un rango de pH comprendido entre 6 y 9, fuera de este rango entran en competencia microorganismos indeseables que causan problemas de flotación de lodos. La utilización del oxígeno es óptima a un pH comprendido entre 7.0 y 7.4 y muestra una reducción conforme se sale de este rango. La eficiencia en remoción de BOD disminuye también conforme el pH sale de su rango óptimo. Experimentos de laboratorio han mostrado que la actividad metabólica es mejor arriba del neutral que abajo y que la denitrificación es un proceso frecuente causado por bajo pH y acompañado por bajos F/M así como por flotación de lodos en el clarificador. Si los cambios de pH son graduales no habrá serios cambios en el proceso, pero cambios bruscos o abruptos que ocurren de una variedad de vertidos industriales dan como resultado la muerte de la población

microbiológica, por lo cual es necesario medir el pH continuamente en el influente de la planta.

CARGAS TOXICAS

Las cargas tóxicas, son definidas como aquellos elementos o compuestos que entran a la planta de tratamiento en suficiente concentración para matar la población residente de microorganismos. Probablemente el mejor procedimiento para tratar este tipo de desechos es a través de dilución y manteniendo todo el lodo posible en el tanque de aireación. Otro método es almacenar el desecho y descargarlo gradualmente o repartirlo mediante pasos a derivación o varios tanques de aireación.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA

La temperatura de los desechos también afecta la actividad metabólica que disminuye conforme la temperatura decrece, se requieren mas libras de MLSS para remover una libra de BOD en invierno que durante los meses de verano. También se forma una delgada película de lodos durante el invierno. Las bajas temperaturas ocasionan una lenta recuperación cuando se presenta algún trastorno, mientras que temperaturas elevadas favorecen la denitrificación y el desarrollo de las bacterias filamentosas. La mayoría de los cambios comúnmente causados por la temperatura ocurren sobre una base estacional o como un resultado de la lluvia. El cambio de temperatura por las diferentes estaciones del año crean operaciones inestables por un período de tiempo hasta que el proceso puede reajustarse por sí mismo. Las condiciones inestables probablemente dan como resultado la pérdida o disminución de determinado tipo de microorganismos adaptados a la temperatura anterior y el desarrollo de otras nuevas especies que se soportan la nueva temperatura. Operacionalmente, el mejor procedimiento es aumentar los sólidos.

En el caso de fuertes lluvias, ocurren otros cambios unidos a la temperatura que son de la incumbencia del operador las líneas que conducen el desecho se inundan y acarrear arena, grava y desprendimientos de lodos sépticos. El mejor procedimiento para contrarrestar estas condiciones, es describir los efectos sobre el tratamiento en cada una de

las ocasiones lo cual incluye : flujos, duración, pH, volumen de arena y grava, variaciones en la eficiencia del tratamiento, uso de cloro y resultados que nos permitan saber qué hacer cuando suceda nuevamente.

EFFECTOS DEL OXIGENO Y MEZCLADO

El oxígeno o el aire es uno de los dos factores ambientales (el otro es el pH) que puede ser controlado por el operador ya que aumentando o disminuyendo el abastecimiento de aire se produce un efecto inmediato sobre la concentración de oxígeno disuelto, haciendo la diferencia entre la operación aerobia o anaerobia.

Se considera un medio aerobio cuando hay oxígeno disuelto (DO) en el licor mezclado (arriba de 0.5 mg/lit). El oxígeno disuelto en el licor mezclado debe ser suficiente para llevar a los microorganismos a través del tanque de sedimentación y retornarlos al tanque de aireación, mientras los anaerobios se desarrollan en ausencia de oxígeno medible. La mayoría de los operadores tratan de mantener un nivel de oxígeno disuelto en el licor mezclado de 1 a 2 mg/lit y de 0.5 mg/lit, en el clarificador para asegurar condiciones aerobias, mientras que algunas plantas deliberadamente producen en forma temporal condiciones de anaerobiosis para desaparecer la flotación de lodos por bacterias filamentosas y también problemas de desnitrificación.

El oxígeno es necesario, tanto para la oxidación como para la síntesis celular y se provee forzando el aire al tanque de aireación del licor mezclado mediante equipos difusores que favorecen el mezclado generando turbulencia que permite la transferencia de oxígeno, mantiene a los microorganismos en movimiento y contacto con el alimento previniendo la sedimentación

El oxígeno es transferido del aire al agua por un proceso de difusión, en el cual la temperatura, la presión y la turbulencia son los factores principales en la velocidad de transferencia. Conforme la temperatura del aire aumenta, el aire se expande y se hace menos denso, así un pie cúbico de aire tibio contiene menos oxígeno que un pie cúbico de aire frío. En forma similar, conforme la humedad se eleva, un volumen dado de aire

contendrá menos oxígeno. La temperatura tiene un efecto directo sobre la solubilidad del oxígeno en el agua, por ejemplo: el agua fría requiere menos aire que el agua caliente para mantener un residual dado de oxígeno disuelto. Operacionalmente el volumen de aire requerido a cualquier tiempo dado es una función de la carga de BOD y el peso de sólidos bajo aireación, lo cual determina la demanda de oxígeno. Mas aire se mezcla cuando la carga de BOD o sólidos aumenta. La operación normal requiere suficiente aire para producir y mantener una concentración de oxígeno disuelto en exceso de la demanda de oxígeno (0.5-2 mg/lit) . Con insuficiente oxígeno disminuye la actividad metabólica y aparecen las bacterias filamentosas.

El oxígeno disuelto puede medirse mediante pruebas de DO o mediante instrumentos colocados en puntos seleccionados en el tanque de aireación y en el efluente del clarificador final. Los niveles de OD en el efluente del clarificador deben reflejar algún residual. La ausencia de oxígeno en este punto es un buen indicador de un metabolismo incompleto lo cual advierte la necesidad de ajustes en el proceso.

3. ESTUDIO DE CASO

Como se ha planteado en los capítulos anteriores el ahorro de agua es prioritario, tanto por el costo que representa, así como por el impacto ambiental ocasionado al no reusarse o reciclarse este preciado fluido.

La industria farmacéutica en estudio tiene una concesión de la comisión de aguas del D.F. para operar un pozo profundo, por lo que a partir del 1 de enero de 1993 le fué aplicable el artículo 135-A que comprende el pago por derechos de descarga a la red de drenaje.

ARTICULO 135-A

Están obligadas al pago de estos derechos, las personas físicas y morales que utilicen agua de fuentes diversas a la red de suministro del departamento del distrito federal, por la descargas de este líquido en la red de drenaje.

El monto de derecho se calculará tomando como base el 80% del volumen de agua extraída al qu se le aplicará el 75 % de la cuota que corresponda por metro cúbico de agua potable a que se refiere el artículo 126, Fracción 1, Inciso B de esta ley.

Cuando el contribuyente demuestre a la autoridad fiscal que su descarga es menor al por ciento de volumen de agua extraída señalado en el párrafo anterior, el derecho se calculará aplicando el 75 % de la cuota mencionada al volumen de agua efectivamente descargada en la red del drenaje.

Esta nueva legislación impulsó a la industria al ahorro de agua por tres diferentes caminos:

1. Cambiando el sistema de enfriamiento de absorción por un sistema centrífugo
2. Sustituyendo los tratamientos químicos de la torre de enfriamiento por tratamientos francamente alcalinos, sujetos a un mayor número de concentraciones alimentado con agua suavizada por intercambio iónico.
3. Por último se construyó una planta de tratamiento biológico secundario para procesar las aguas de desecho y a través de reciclaje y reuso en generadores de vapor y sistema para enfriamiento, disminuyendo la necesidad de extracción de agua de pozo y consumo de agua potable de la red municipal

SITUACION DE LA EMPRESA

La industria en estudio es farmacéutica y líder en su ramo, tiene como línea de productos:

Antidiarréicos, antieméticos y antivertiginosos, fibras laxantes, amebicidas, endulzantes dietéticos, tratamientos contra obesidad exógena, antimicrobianos, diuréticos antihipertensivos, citoprotector y antisecretor en el tratamiento de la úlcera péptica y gastritis y actualmente adquirió una nueva línea de anticonceptivos orales que próximamente lanzará al mercado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal problema es reusar el agua de la planta de tratamiento biológico secundario cuyo influente no afecte la biomasa en el tanque de aireación, y su efluente mediante tratamientos físico-químicos no ocasione fouling biológico, incrustación ni corrosión en su empleo para enfriamiento y generación de vapor.

OBJETIVOS

- Reusar y reciclar el agua.
- Evitar contaminar cuerpos receptores.
- Ahorro de agua y energía.
- Proteger los equipos contra incrustación y corrosión alargando su vida útil.

3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La corriente de proceso, proveniente del área de producción, de la purga de caldera y torre de enfriamiento, descarga a la cisterna para igualación (CIAP), en donde existe una agitación con aire inyectado mediante difusores.

Al efluente, se le adiciona con las bombas dosificadoras, (BDPC y BDPF), un polímero de bajo peso molecular y alta densidad de carga (coagulante), así como un polímero orgánico sintético de alto peso molecular y baja densidad de carga (floculante), respectivamente. Esta corriente tendrá homogeneización previa con un mezclador en línea (MEL), para descargar al clarifloculador (CFC), en donde ocurre la separación sólido-líquido. El agua clarificada, junto con la corriente de agua sanitaria (baños y cocina), y el agua proveniente del filtro prensa (FP), descargan a la cisterna para igualación de agua sanitaria (CIAS), que provee un influente constante en todos los parámetros al tanque de aireación (TA), donde se mantienen condiciones favorables para la óptima actividad microbiana.

El efluente descarga al clarificador secundario (CS), donde un porcentaje de la biomasa sedimentada se mezcla con el influente en el proceso de aireación para mantener el inventario apropiado de microorganismos suspendidos en el licor mezclado. Los sólidos sobrantes se desalojan del sistema al tanque digestor (TD), para su posterior compactación en filtro prensa donde se reduce su humedad del 50 al 25 % y posteriormente son incinerados.

El agua tratada proveniente del tanque sedimentador (TS), se somete a ozonificación para almacenarse en la cisterna (CAT) y posteriormente filtrarse a través de arena-grava (FAG), carbón activado (FCA) y descargar en la cisterna de almacenamiento (CF), para reusarse.

muestreo para determinar la cantidad, composición, concentración y flujo de los efluentes en todo momento del día y la noche, ya que la variabilidad de los desechos por fuente debe ser ampliamente identificada, tanto como el tiempo y dinero lo permitan.

La variabilidad de los desechos está relacionada con las características del proceso así como su susceptibilidad a una mala operación. Un programa de observación y muestreo permite identificar las fuentes de desechos y proceder a reducirlas mediante trabajos internos lo cual significa su disminución y un reciclaje eficiente.

CARACTERIZACION DE CORRIENTES

Existen dos corrientes de descarga, una de proceso y una de agua sanitaria, ambas se analizaron independientemente con el objeto de identificar la variabilidad de desechos, composición y flujo; variables que permiten diseñar el tratamiento para el reuso de agua.

CORRIENTE DE PROCESO

Esta corriente comprende:

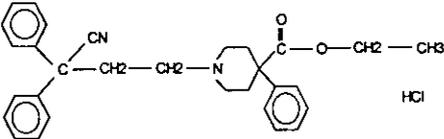
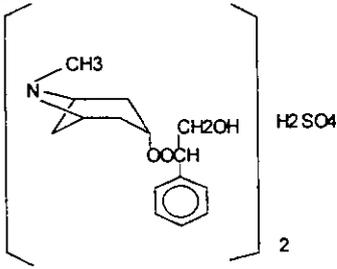
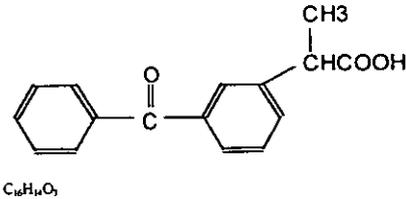
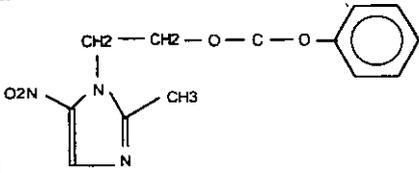
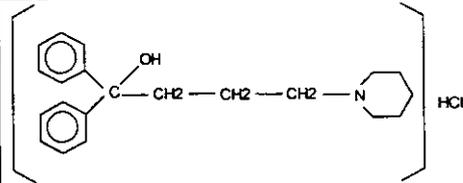
- Agua para lavado equipo-proceso
- Purga de la torre de enfriamiento
- Purga de la caldera

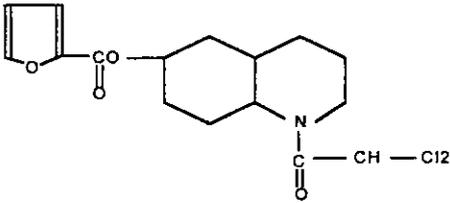
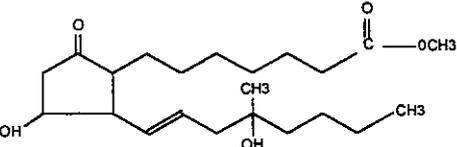
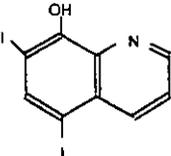
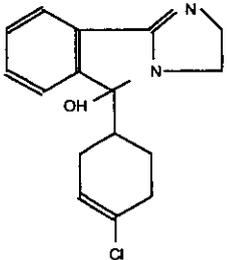
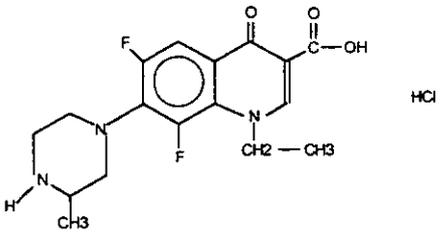
1. AGUA DE LAVADO EQUIPO-PROCESO

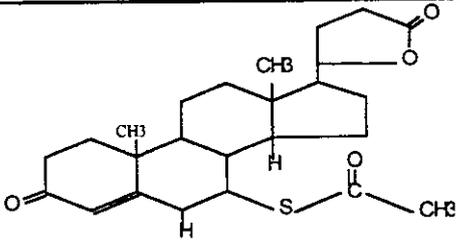
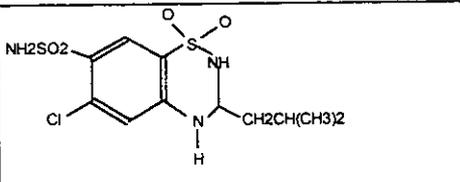
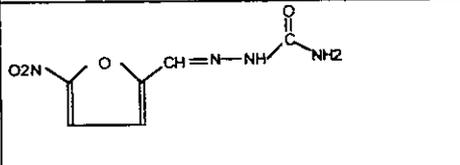
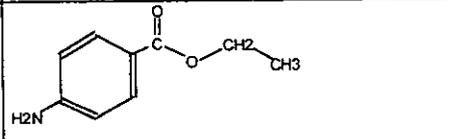
La siguiente tabla muestra el estudio realizado a los principios activos utilizados en la producción de medicamentos. Este estudio comprende: Solubilidad en agua, fórmula desarrollada y mermas por año.

Para los principios activos utilizados en la fabricación de anticonceptivos orales se tomó en cuenta los efectos crónicos y la disposición de desperdicios. (tabla 3.1)

TABLA (3.1) ESTUDIO DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE MEDICAMENTOS

PRINCIPIOS ACTIVOS	SOLUBILIDAD	FORMULA DESARROLLADA	MERMAS POR AÑO
CLORHIDRATO DE DIFENOXILATO	<ul style="list-style-type: none"> Ligeramente Soluble en Agua Soluble en metanol Soluble en cloroformo 		<ul style="list-style-type: none"> 3 Kg.
SULFATO DE ATROPINA	<ul style="list-style-type: none"> Muy Soluble en Agua Soluble en etanol Casi insoluble en cloroformo 		<ul style="list-style-type: none"> 0.03Kg
KETOPROFENO	<ul style="list-style-type: none"> Ligeramente Soluble en agua Soluble en eter, acetona y cloroformo 		<ul style="list-style-type: none"> 0.6 Kg.
BENZOATO DE METRODINAZOL	<ul style="list-style-type: none"> Casi insoluble en agua Soluble en ácido acético, cloroformo, etanol y benceno 		<ul style="list-style-type: none"> 42 Kg.
CLORHIDRATO DE DIFENOL	<ul style="list-style-type: none"> Poco soluble en agua Poco Soluble en eter y cloroformo Soluble en metanol y etanol 		<ul style="list-style-type: none"> 1.2 Kg.

<p>QUINFAMIDA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • Ligeramente soluble en etanol • Soluble en cloroformo 		<ul style="list-style-type: none"> • 0.56 Kg.
<p>MISOPROSTOL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 0.05g en 100 g de agua 		<ul style="list-style-type: none"> • 0.6 Kg.
<p>DIYODO - HIDROXIQUINOLEINA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • Ligeramente soluble en alcohol, eter y acetona 		<ul style="list-style-type: none"> • 140 Kg.
<p>MAZINDOL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • insoluble en agua 		<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 Kg.
<p>CLORHIDRATO DE LOMEFLOXACINA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 0.58g en 100 g de agua 	 <p>HCl</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4Kg.

<p>ESPIRINOLACTONA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • Poco soluble en etanol y eter • Soluble en cloroformo 			<ul style="list-style-type: none"> • 4 Kg
<p>TIABUTAZIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • Poco soluble en etanol • Soluble en metanol y acetona 			<ul style="list-style-type: none"> • 0.035 Kg
<p>NITROFURAZONA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ligeramente soluble en agua y etanol • Soluble en dimetil formamida • Insoluble en cloroformo 			<ul style="list-style-type: none"> • 0.0185 Kg
<p>BENZOCAINA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 g en 2 lts de agua • 1 g en 5 ml de etanol • 1 g en 2 ml de cloroformo 			<ul style="list-style-type: none"> • 0.0288 Kg

TABLA(3.2) ANTICONCEPTIVOS ORALES

PRINCIPIO ACTIVO	EFECTOS CRONICOS	INCOMPATIBILIDAD	SOLUBILIDAD Y MERMAS POR AÑO	MANEJO Y DISPOSICION
<p>ACETATO DE CLORMANDINONA</p>	<p>Es un material cancerigeno y terátogeno puede causar malformaciones congénitas en fetos humanos</p>	<p>Presenta incompatibilidad con agentes oxidantes fuertes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • 1.60Kg 	<p>Se disuelve el material en solvente combustible y se quema en un incinerador químico equipado con chimenea y lavador de gases</p>
				<p>Se disuelve el material en</p>

MESTRANOL	Cancerígeno	Presenta incompatibilidad con agentes oxidantes fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Insoluble en agua • 0.05 Kg. 	solvente combustible y se quema en un incinerador químico equipado con chimenea y lavador de gases
NORESTISTERONA	Cancerígeno	Presenta incompatibilidad con agentes oxidantes fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Casi insoluble • 0.38 Kg. 	Se disuelve el material en solvente combustible y se quema en un incinerador químico equipado con chimenea y lavador de gases
ETINILESTRADIOL	Cancerígeno	Presenta incompatibilidad con agentes oxidantes fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Casi insoluble • 0.008Kg 	Se disuelve el material en solvente combustible y se quema en un incinerador químico equipado con chimenea y lavador de gases

2. PURGA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Esta corriente proviene del sistema para enfriamiento donde se va a emplear agua de reuso. En el capítulo siguiente se muestran las estrategias tomadas para este propósito. Los productos utilizados en el tratamiento se describen en forma de lista, así como las proporciones que permanecen como residual en la descarga.

TABLA (3.3) DESCARGA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

PRODUCTO	FUNCION	FRECUENCIA DE APLICACION	CONCENTRACION DE DESCARGA
Acido 2 Fosfobutano 1,2,4-tricarboxílico (PBTC)	Inhibidor de incrustación	Continúa	10 ppm
Tolitriazol	Inhibidor de corrosión para cobre	Continúa	0.2 ppm
Poliacrilato de sodio	Dispersante	Continúa	30 ppm
Sosa cáustica	Fuente de alcalinidad	Continúa	1200 ppm como alcalinidad "M" (como CaCO ₃)
Tetrakis hidroximetil- fosfonium, Sulfato	Microbicida	Semanal	150 ppm
Cloruro de Benzalconio	Microbicida	Semanal	150 ppm
Glicol POE-POP 50-50	Ayuda para desinfección	Semanal antes de choques con biocidas	3 ppm

3. PURGA DE LA CALDERA

La purga de la caldera está constituida por los compuestos utilizados en el tratamiento interno, los cuales también aparecen debidamente desglosados en el capítulo 6

TABLA (3.4) DESCARGA DE LA CALDERA.

PRODUCTO	FUNCIÓN	CONCENTRACIÓN EN LA DESCARGA
Lignosulfonato de sodio	Dispersante	0.2 ppm
Polipropilenglicol	Antiespumante	0.1 ppm
Carbonato de sodio	Fuente de alcalinidad	37 ppm
Acido etilendiamino tetra acético	Agente quelante	2.5 ppm
Morfolina	Inhibidor de corrosión	0.5 ppm
Ciclohexilamina	Inhibidor de corrosión	0.5 ppm
Poliacrilato de sodio	Acondicionador de lodos	30 ppm
Clorhidrato de Hidracina	Secuestrante de oxígeno	1 ppm

CONVERGENCIA DE CORRIENTES

Estas tres corrientes que convergen para representar la corriente de proceso tiene la siguiente composición, la cual nos permite contrastar con los parámetros máximos permisibles establecidos por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-031-ÉCOL/1993 publicada en el diario oficial de la federación el 18 de octubre de 1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales, exceptuando las domésticas y aparece también la precisión en la detección de los métodos empleados.

Tabla (3.5) Descarga de la corriente de proceso.

DETERMINACIONES	RESULTADO	METODO	LIMITE DE DETECCION	MAXIMO PERMITIDO
Temperatura	30°C		0.1	-----
pH	5.55 U de pH		.01	6-9 U de pH
Sólidos sedimentables	0.3 ml/l	NOM-AA-04/93	0.1	5.0 ml/l
Grasas y aceites	4.8 mg/l	NOM-AA-05/93	0.1	70.0 mg/l
Conductividad	585µmohs/cm			10000µmohs/cm
Aluminio	0.0 mg/l	EPA 7020	0.10	10.0 mg/l
Arsénico	0.01 mg/l	NOM-AA-51/81	0.01	2.0 mg/l
Cadmio	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.01	0.5 mg/l
Cianuro	0.0 mg/l	NOM-AA-58/93	0.001	1.0 mg/l
Cobre	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.02	5.0 mg/l
Cromo hexavalente	0.0 mg/l	NOM-AA-44/93	0.003	0.5 mg/l
Cromo total	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.01	2.5 mg/l
Fluoruros	0.22 mg/l	EPA 340.2	0.01	30.0 mg/l
Mercurio	0.003 mg/l	NOM-AA-51/81	0.005	0.01 mg/l
Níquel	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.1	4.0 mg/l
Plata	0.0 mg/l	EPA 7760 A	0.01	1.0 mg/l
Plomo	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.10	1.0 mg/l
Zinc	0.0 mg/l	NOM-AA-51/81	0.01	6.0 mg/l
Fenoles	0.0 mg/l	NOM-AA-50/93	0.001	5.0 mg/l
SAAM	6.0 mg/l	NOM-AA-39/93	0.04	30.0 mg/l

CORRIENTE SANITARIA

La descarga sanitaria de cocinas y baños arrojó los siguientes resultados

TABLA (3.6) DESCARGA DE LA CORRIENTE SANITARIA.

DETERMINACIONES	METODO	RESULTADO	MAXIMO PERMITIDO
Temperatura		24.7°C	-----
pH		7.76 U de pH	6-9 U de pH
Sólidos sedimentables	NOM-AA-04/93	3.0 ml/l	5.0 ml/l
Grasas y aceites	NOM-AA-05/93	3.3mg/l	70.0 mg/l
Conductividad		6850 μ mohs/cm	10000 μ mohs/cm
Aluminio	EPA 7020	0.0 mg/l	10.0 mg/l
Arsénico	NOM-AA-51/81	0.01 mg/l	2.0 mg/l
Cadmio	NOM-AA-51/81	0.0 mg/l	0.5 mg/l
Cianuro	NOM-AA-58/93	0.0 mg/l	1.0 mg/l
Cobre	NOM-AA-51/81	0.16mg/l	5.0 mg/l
Cromo hexavalente	NOM-AA-44/93	0.0 mg/l	0.5 mg/l
Cromo total	NOM-AA-51/81	0.0 mg/l	2.5 mg/l
fluoruros	EPA 340.2	0.30 mg/l	30.0 mg/l
Mercurio	NOM-AA-51/81	0.002 mg/l	0.01 mg/l
Níquel	NOM-AA-51/81	0.0 mg/l	4.0 mg/l
Plata	EPA 7760 A	0.0 mg/l	1.0 mg/l
Plomo	NOM-AA-51/81	0.0 mg/l	1.0 mg/l
Zinc	NOM-AA-51/81	0.0 mg/l	6.0 mg/l
Fenoles	NOM-AA-50/93	0.014 mg/l	5.0 mg/l
SAAM	NOM-AA-39/93	14 mg/l	30.0 mg/l

4. CALDERAS

La caldera es una parte del generador de vapor, en la cual tiene lugar la vaporización, o sea el cambio del fluido del estado líquido al estado vapor.

El objeto de toda caldera es, hacer que los gases de combustión que vienen del horno, a una temperatura elevada, comuniquen su calor al fluido que está dentro de la caldera.

Las calderas se dividen en dos grandes grupos:

Calderas de tubos de humo, y
calderas de tubos de agua.

En las primeras, los gases de combustión pasan por el interior de unos tubos y el agua por el exterior de los mismos.

En las calderas de tubos de agua, el agua pasa por el interior de los tubos, y los gases de combustión por el exterior.

Las calderas de tubos de humo se usan para capacidades y presiones pequeñas, mientras que las calderas de tubos de agua se emplean para capacidades y presiones mayores.

OPERACIÓN DE LA CALDERA

El operador de una caldera debe atender al nivel de agua, la cual debe de estar entre la cuarta parte y las tres cuartas partes del tubo de vidrio indicador de nivel.

También debe atender a la presión de manómetro la cual debe conservarse lo mas contante posible. Cuando la demanda de vapor a la caldera aumenta es necesario quemar mas combustible, con objeto de evitar que la presión baje demasiado. Igualmente hay que inyectar mayores cantidades de agua.

El operador debe atender también a una buena combustión del combustible, para lo cual debe vigilar los aparatos que le indican la cantidad de aire empleado.

La caldera debe purgarse periódicamente para sacar el sedimento(lodos); limpiar los tubos de humo de hollín que se acumule, así como el interior de la caldera en la que se forman incrustaciones que impiden una buena transmisión de calor.

La salida de humo negro por la chimenea, significa que hay partículas de carbón que no se queman, y por consiguiente, una combustión defectuosa.⁹

TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

La calidad del agua de alimentación es casi tan importante como la cantidad. Aunque las dificultades causadas por los depósitos en las superficies de calefacción de la caldera o por arrastres de agua, pueden evidenciarse mas lentamente que las averías causadas por niveles excesivamente altos o bajos y ser tan graves como éstas.

El agua de alimentación de una caldera debe de encontrarse limpia y suave y para calderas con alta presión de operación libre de sílice. La adición de sustancias químicas para prevenir la formación de incrustaciones y mantener baja la concentración de sólidos a fin de prevenir los arrastres, son esenciales para el control del agua de la caldera. Por lo tanto, una parte necesaria en la operación de la caldera debe incluir un programa diario y regular de análisis, para asegurar que el agua de la caldera se mantenga en las condiciones deseadas, mediante el resultado de los análisis, y la capacidad de la caldera es posible determinar la proporción en que deben de añadirse los productos químicos para tratamiento interno, así como la cantidad de extracción de fondo necesaria para mantener la concentración de sólidos disueltos, sílice, sólidos suspendidos o el parámetro que sea nuestra limitante, dentro de los niveles deseados¹⁰

4.1 TRATAMIENTO QUIMICO EN LAS CALDERAS.

El tratamiento biológico aerobio secundario nos arroja desde el punto de vista químico la siguiente composición del agua.

DT	40 ppm como CaCO ₃
DCa	25 ppm como CaCO ₃
F	0 ppm como CaCO ₃
M	150 ppm como CaCO ₃
SiO ₂	60 ppm como SiO ₂
pH	8.0 potenciométrico
STD	650 ppm
PO ₄	15 ppm como PO ₄

DATOS DE LA CALDERA

Existen 2 calderas compactas marca Cleaver Brooks

Presión	10.5 Kg/cm ²
capacidad	2.3 Ton/hr
Combustible	Diesel

CONDICIONES DEL EQUIPO DE PRETRATAMIENTO

Suavizador	Por intercambio iónico
Resina	IR-120 de Romm and Haas Company
Volumen	5 Ft ³
Condición	Nueva

Parámetros de control para el tratamiento interno

DT	0
M	700
2F-M	250-350
Hidracina	5
Sílice	150
STD	3000
Poliacrilato de sodio	100

La composición del agua de alimentación con retorno de condensados del 50 % y suavizador:

DT	0
F	0
M	75
Sílice	30
STD	350

Nuestra principal limitante es la sílice que únicamente nos permite 5 concentraciones en las calderas de acuerdo a los parámetros de control.

ELIMINACION QUIMICA DEL OXIGENO EN EL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERA

En el sistema de caldera, el oxígeno es el enemigo tradicional de las partes metálicas. Disuelto en el agua de alimentación, corroe al acero húmedo y caliente o se adiciona al vapor para atacar el sistema de condensado. La desgasificación del agua de alimentación eliminará la mayor parte del oxígeno presente, pero aún trabajando con los desgasificadores mas eficientes, cierta cantidad de oxígeno pasará a la caldera, por consiguiente, es necesaria la adición de un secuestrante de oxígeno para completar su eliminación.

Cuando no hay desareador, la temperatura del agua de alimentación da la cantidad de oxígeno disuelto, para este caso es de $95^{\circ}\text{C} = 0.86$ ppm de oxígeno. Se debe mantener 2 ppm de secuestrante en el agua de alimentación (412 gr. de hidracina al 35 % por día).

CONSERVACIÓN DURANTE EL TIEMPO DE PARO

La cantidad de hidracina que se precisa para la protección contra corrosión durante el tiempo de paro depende de diferentes factores como por ejemplo: La duración del paro de la instalación, la calidad del agua de alimentación empleada y la estabilidad de la capa protectora de magnetita. Con un pH de 11.5 resulta ser suficiente 148 ppm de hidracina residual con respecto al volumen total de la caldera. Esta dosificación es cada fin de semana y corresponde a 1480 gr./semana.

La selección de la hidracina en lugar de un sulfito de sodio se debe a lo siguiente:

La hidracina no produce sólidos y no permite que este parámetro sea nuestra principal limitante. Por otra parte la hidracina es secuestrante de oxígeno y además inhibidor de corrosión, reduce los productos de corrosión a magnetita formando una película pasivante. Es importante señalar que en las tuberías de alimentación no existe cobre o alguna de sus aleaciones ya que la hidracina corroe a este metal.¹¹

CONTROL DE FOSFATOS

Los fosfatos del agua de desecho, provienen de diversas fuentes: a) los detergentes empleados en la limpieza, b) desechos humanos, c) alimentos, d) Tratamiento interno de calderas y torre de enfriamiento. El fósforo es uno de los elementos esenciales en el desarrollo y reproducción de los microorganismos, pero, en la planta de tratamiento biológico secundario, aún recurriendo a inducir su consumo mediante aireación controlada, relación F/M y tiempo de residencia del lodo activado en el clarificador final, solo se consume parcialmente, este exceso en el efluente está activo como ortofosfato, es decir, en presencia de dureza, temperatura y alcalinidad en el tanque de alimentación reacciona formando precipitados que incrustan y obstruyen las líneas de agua de alimentación. El 90 % de este ortofosfato es eliminado añadiendo aluminato de sodio en el tanque de aireación del tratamiento biológico ya que se tiene una buena mezcla y tiempo de retención con los ortofosfatos convertidos biológicamente a partir de los polifosfatos y fosfato orgánico.

El fosfato de aluminio precipitado retiene su identidad a través de digestiones anaeróbicas y no se redisolubiliza. El lodo tiene mejores características de asentamiento sin interferir en la actividad biológica y nos da un pH apropiado para la desnitrificación. El agua se suaviza por intercambio iónico almacenándola en un tanque de balance, se supervisa en forma muy estricta el ciclo de operación para regenerarlo en cuanto se detecten trazas de dureza. Bajo estas condiciones el agua de alimentación a calderas después de suavizada se trata exclusivamente con poliacrilato de sodio que inhibe el hábito cristalino y los pequeños cristales se redisuelven.

Se incorpora un antiespumante PPG y lignosulfonato de sodio como un sinergismo en el acondicionamiento para darle a los lodos características excepcionales de fluidez.

TRATAMIENTO QUIMICO PARA EL SISTEMA VAPOR CONDENSADO

El condensado puede contaminarse por gases disueltos en el agua de caldera y por fugas de aire en el sistema vapor-condensado. Las aguas naturales en contacto con aire contienen cierta cantidad de oxígeno disuelto, por ello, cuando el aire con cierta cantidad de oxígeno penetra en la caldera el aumento de temperatura libera el oxígeno que pasa al vapor.

La condensación del vapor crea un cierto vacío que tiende a succionar aire en el sistema, trampas de vapor, purgas de condensado y otros puntos donde puede haber entradas de aire son posibles fuentes de contaminación de oxígeno.

Existen 2 tipos básicos de productos químicos que se emplean para impedir la corrosión en el sistema de condensados:

Productos neutralizantes y de formación de película (Fílmicos). Los inhibidores por neutralización son productos alcalinos volátiles que aumentan el pH del condensado protegen al sistema contra el ataque corrosivo del dióxido de carbono. Los inhibidores fílmico aplicados adecuadamente forman una barrera entre el metal y el condensado impidiendo tanto el ataque del dióxido de carbono como el oxígeno.

Por ser nuestro sistema de caldera de bajo repuesto hemos seleccionado la amina neutralizante.¹²

ppm de CO₂ en vapor 48

Dosis diaria 2.5 Kg.

5. SISTEMA RECIRCULANTE ABIERTO

Desde que fueron introducidos los modernos sistemas alcalinos para agua de enfriamiento, han alcanzado un alto grado de sofisticación, son definitivamente exitosos en un amplio rango de sistemas para enfriamiento grandes y pequeños con muy diferentes tipos de agua de repuesto y con niveles de operación de pH arriba de 7.0. Los sistemas de agua de enfriamiento alcalinos son mas complicados que los sistemas ácidos por la siguiente razon:

- Menos pretratamiento en el agua de repuesto significa pobre calidad de agua en la torre, lo cual puede restringir los ciclos de concentración y dictar tratamientos químicos específicos para mantener una buena eficiencia de transferencia de calor.

Para contrarrestar esta desventaja de los sistemas alcalinos se emplea la misma calidad de agua de repuesto para calderas (suavizada y libre de fosfatos) y nos queda exclusivamente el control de sílice cuya solubilidad es directamente proporcional a la alcalinidad.

CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DEL SISTEMA

Tipo de sistema	Recirculante abierto
ΔT	10 °F
concentraciones	4
% evaporación	1 %
Recirculación	5 lt/s
capacidad	11 m ³

CALIDAD DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

DT	0	Sílice	60
DCa	0	pH	8.0
DMg	0	STD	650
F	0	Fosfatos	2
M	150		

PORQUE SE ELIMINAN FOSFATOS EN LA TORRE

La presencia de fosfatos produce hiperfertilización. Las algas son foto-autotróficas, lo cual significa que fijan el C del CO₂ del aire, mediante la incidencia de energía lumínica y la presencia del pigmento verde clorofila para elaborar sus propios nutrientes. En el sistema de enfriamiento, las algas perjudican porque obstruyen los intercambiadores, con la consecuente disminución de eficiencia en transferencia térmica, sus depósitos alojan en su seno a los microorganismos anaerobios corrosivos (sulfato-reductores), que depolarizan las áreas catódicas produciendo corrosión, y generan subproductos metabólicos agresivos como H₂S. Por otro lado su deposición en la superficie de los filtros y columnas de intercambio iónico produce canalizaciones y disminuyen su eficiencia.

En la torre de enfriamiento, se modificó el tratamiento eliminando el fosfato orgánico y usando únicamente un inhibidor de corrosión por formación de película para protección de la metalurgia del sistema, y un dispersante con adecuada fuente de alcalinidad para máxima eficiencia.

Como otra medida para disminuir los fosfatos, se optó por cambiar el tratamiento interno de calderas tipo fosfato residual, por un tratamiento a base de un polímero orgánico sintético que inhibe el hábito cristalino del CaCO₃, distorsionando las aristas de los cristales, incapacitándolos como núcleos de crecimiento y redisolviéndolos. Esto, unido a una estricta supervisión de la operación de la columna catiónica para intercambio.

ALCALINIDAD:

Una alcalinidad alta en la torre se puede proporcionar debido al material de la misma (fierro y cerámica). En torres de madera esto resultaría catastrófico, provocando deslignificación y por consecuencia, un debilitamiento de la madera, que con la trepidación del tiro inducido puede derrumbarse.

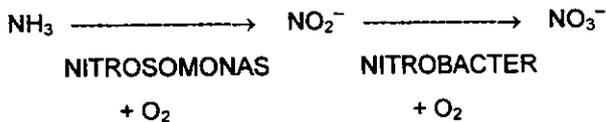
Un pH de 10.5 -11.0 cumple con los siguientes propósitos:

ELIMINACIÓN DE AMONIACO

Los compuestos nitrogenados encontrados en las aguas residuales resultan de las excretas humanas, de la materia putrescible de los desechos alimenticios ,y de los principios activos empleados para la manufactura de medicamentos .

La concentración de amoniaco no está limitada por normas de potabilidad y reuso. El propósito de eliminarlo, es por su alta tendencia corrosiva a las aleaciones de cobre existentes en el intercambiador de calor y por el aumento de BOD en el cuerpo receptor.

El amoniaco es oxidado en la planta de lodos activados en el proceso de nitrificación con una eficiencia de un 40% en remoción de acuerdo a:



Las constantes de velocidad o rapidez de nitrificación son mucho menores que las de la velocidad de destrucción o metabolización de sustancias carbonosas y aunque se opera con aireación extendida es posible tener remanentes de amoniaco en el efluente de la planta.

El gas amoniac es extremadamente soluble en agua reacciona con ella para producir hidróxido amónico. Este se disocia en agua de la forma:



la adición de exceso de OH^- en un sistema altamente alcalino desplaza la reacción a la izquierda donde con ayuda del flujo de aire a contracorriente en la torre es eliminado por desorción (stripping) a un pH de 10.5.

Es importante señalar que el filtro de carbón activado no tiene efecto de remoción en este compuesto.¹³

FRENAR LA CORROSIÓN POR pH

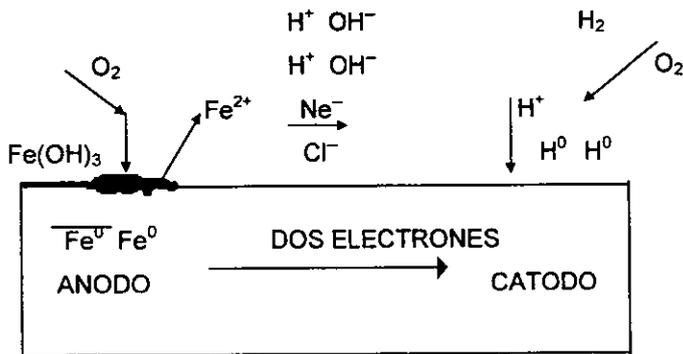
La corrosión es un proceso electroquímico en la naturaleza.

En la figura (5.1) se muestra el proceso corrosivo del hierro por ser el principal constituyente en nuestro sistema, el mas común y a la vez el mas susceptible de ser corroído.

Figura 5.1



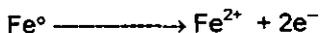
REACCIONES DE DEPOLARIZACION



La corrosión como ya sabemos, es básicamente la destrucción electrolytica de un metal. En esta reacción existen áreas anódicas y áreas catódicas.

REACCIONES ANÓDICAS

Al estar el fierro o el acero en contacto con el agua se disuelve en algunos puntos sobre la superficie del metal ,llamados ánodos.



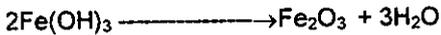
Los iones ferrosos son solubles en pH ácido, si el pH es neutro o alcalino, se forma el hidróxido ferroso insoluble



Este hidróxido en presencia de oxígeno se convierte en férrico:



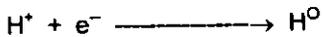
Si se deja secar la superficie aparece:



REACCIONES CATÓDICAS

En la zona anódica se liberan electrones que deben de ser tomados por otra zona para conservar el equilibrio eléctrico y para que pueda proseguir la reacción. Esta zona aceptora de electrones se llama superficie catódica. Las reacciones catódicas son algo complejas y dependen de las circunstancias de cada caso.

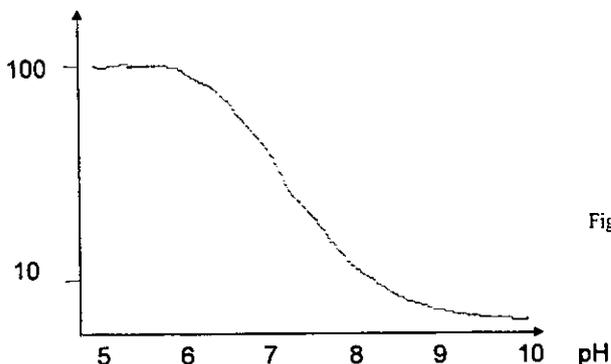
En aguas ácidas, la reacción principal es la reducción del ion hidrógeno, formándose gas hidrógeno, el cual se deposita sobre el cátodo. cuando esta capa de burbujas es completa, se crea una fuerza contra-electromotriz en el cátodo que se opone a la reacción, deteniéndola por completo. En este caso se dice que el hidrógeno polariza la superficie:



Como el agua de circulación está prácticamente saturada de oxígeno, éste reacciona con el hidrógeno formado en el cátodo para formar agua. Debido a esta propiedad del oxígeno de quitarle al cátodo su escudo protector de hidrógeno se dice que el oxígeno es un "depolarizante" de las áreas anódicas.

Es bien sabido que la corrosión decrece cuando incrementa la alcalinidad y el pH, debido a la supresión de las reacciones catódicas en los sitios de corrosión. este efecto es ilustrado en la figura 5.2.

CORROSIÓN



Sin embargo los sistemas de enfriamiento operados arriba de un pH de 8.0 pueden presentar importantes niveles de corrosión debido a los altos sólidos disueltos en el agua concentrada, materiales corrosivos absorbidos por el aire, el proceso fluidizado y la presencia de depósitos pueden crear una celda de corrosión activa. por esta razón ,los sistemas de enfriamiento que operan a niveles de pH de 8 o mas frecuentemente requieren de protección contra la corrosión¹³

ELIMINACIÓN DE SULFATOS

Los iones sulfatos y cloruros, son los electrolitos mas fuertes, razón obvia por la cual se deben de eliminar o tener en bajas proporciones. Cuando la concentración de sulfatos y cloruros excede 500 ppm, el tratamiento anticorrosivo aumenta en dosis considerablemente . Además, los sulfatos, son el sustrato nutritivo que induce a las bacterias sulfato reductoras del género Desulfobivrio, a secretar la enzima hidrogenasa, la cual cataliza la reacción del hidrógeno atómico polarizante de las áreas catódicas, con el oxígeno, para formar agua y H₂S, permitiendo que prosiga y se intensifique el fenómeno electroquímico de la corrosión por picadura. (ver fig.5.3).

Desulfobivrio desulfuricans, como especie representativa, es una bacteria autótrofa y anaerobia estricta, por lo tanto en un medio aerobio, como la planta de lodos activados y la torre de enfriamiento, únicamente es posible su desarrollo en el seno de los depósitos, o

mediante la asociación con microorganismos aerobios formadores de "slime", que proveen el medio anaerobio para su desarrollo. Por ésta razón, para eliminarlos del sistema, se requiere el uso de dispersantes que los separan de los sitios donde se alojan.

Dado que la presencia de sulfatos, permite la proliferación de éstos microorganismos anaerobios corrosivos, se justifica ampliamente sustituir el sulfato de aluminio que se emplea como coagulante, por polímeros orgánicos sintéticos de moderado peso molecular y elevada densidad de carga (policatiónicos).

El sulfito de sodio catalizado, empleado como secuestrante de oxígeno en las calderas, se sustituyó por hidracina catalizada, ya que representaba fuente de sulfatos, que contribuyen la gestación de los microorganismos anaerobios corrosivos.¹⁴

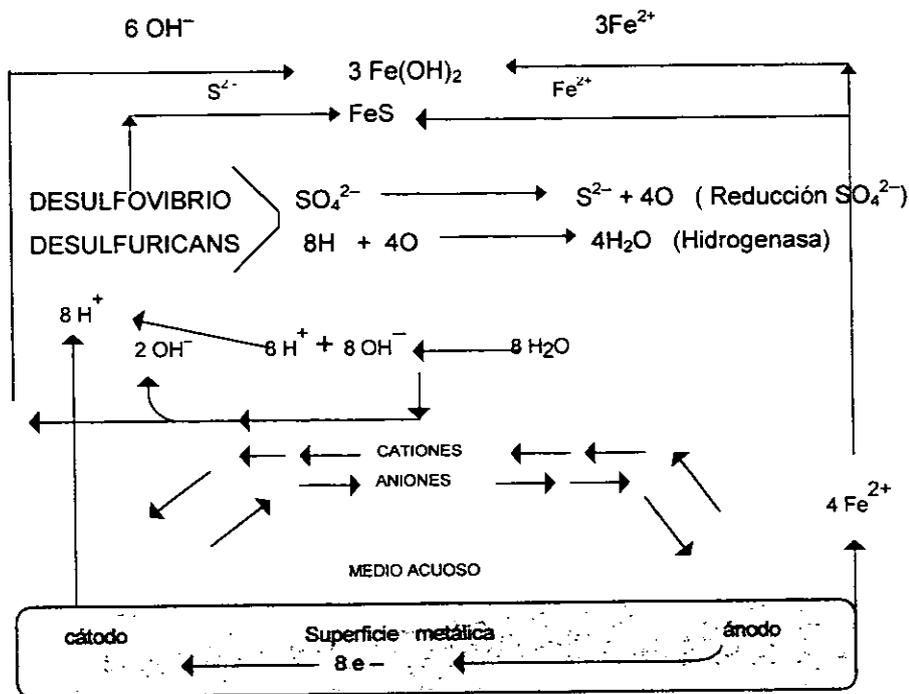


Fig. 5.3

5.1 TRATAMIENTO QUIMICO

Formulación a base de polielectrlitos sintéticos para dispersar los coloides y materia suspendida, incluyendo microorganismos, previniendo su aglomeración y haciendolos menos adherentes a las superficies metálicas. Estabilizadores de dureza como Fosfonatos (PBTA) recientemente introducidos para control de incrustación con un amplio espectro de acciones que exhiben el efecto THRESHOLD y son hidrolíticamente estables en torres de enfriamiento bajo condiciones alcalinas y altas temperaturas.

Inhibidores de corrosión como tolitriazol ya que en la metalurgia del sistema el cobre está en los intercambiadores de calor.

Agua de alimentación	2400lt/hr
Dosis	15 ppm en agua de alimentación
Consumo por día	3 Kg

Los valores de corrosión de fierro promedio son de 0.5 MPY lo cual se considera como una buena protección.

5.2 TRATAMIENTO MICROBIOLÓGICO

El biocida más común en sistemas tanto alcalinos como ácidos es el cloro, que es menos efectivo a alto pH. Debido al bien conocido equilibrio del hipoclorito, aún así es un efectivo biocida en sistemas alcalinos y es una parte indispensable de los programas para control con biocidas en aguas para enfriamiento alcalinas, pero el cloro tiene algunos problemas asociados con su uso: en presencia de amoníaco forma cloraminas que son menos efectivas que el cloro libre y representan una demanda de cloro en el sistema. También el cloro reacciona con algunos materiales fenólicos para formar compuestos orgánicos clorados que son no biodegradables.

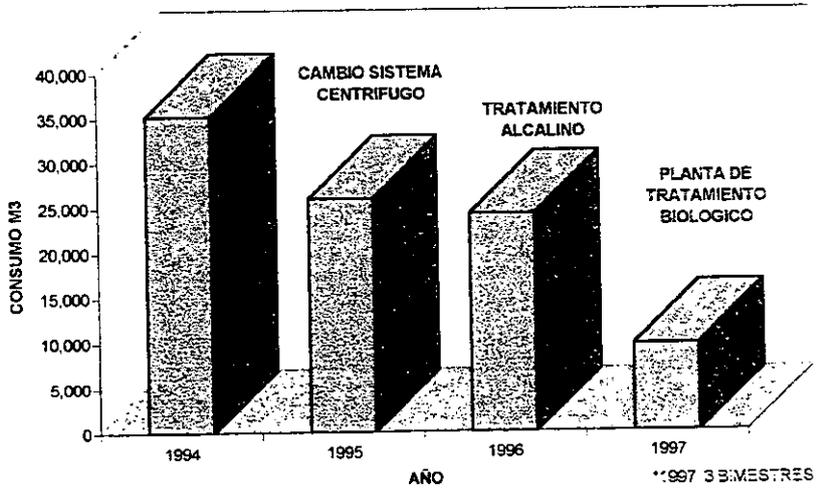
Justamente aparece sobre el horizonte como un nuevo biocida para sistemas alcalinos el ozono que es el más poderoso agente oxidante conocido. El ozono es ideal desde el punto de vista de control de contaminación puesto que su único producto final es oxígeno libre estamos aplicando ozono en el efluente del clarificador secundario y se genera in-situ.

Como complemento se aplican en la torre dos biocidas, cloruro de benzalconio y el sulfato de tetrakis(hidroxi)metilfosfonium. El ayuda para desinfección (biodespersante) abate la tensión superficial permitiendo que penetren los principios tóxicos de los dos biocidas aplicados por choque semanal en forma alternada bajo una sistemática sucesión.

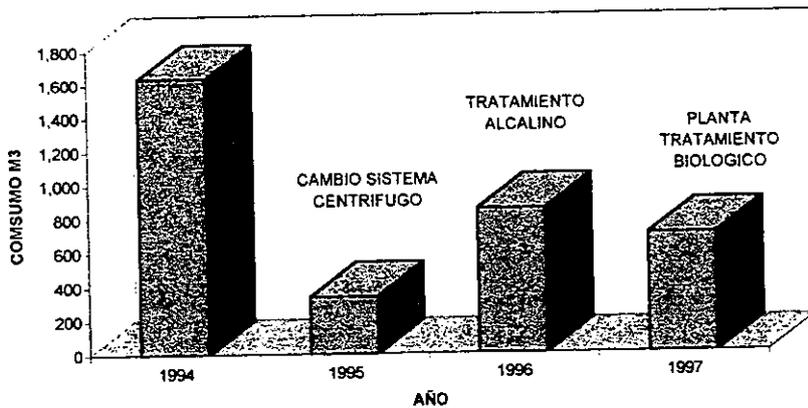
Capítulo 6

6. ANALISIS DE RESULTADOS

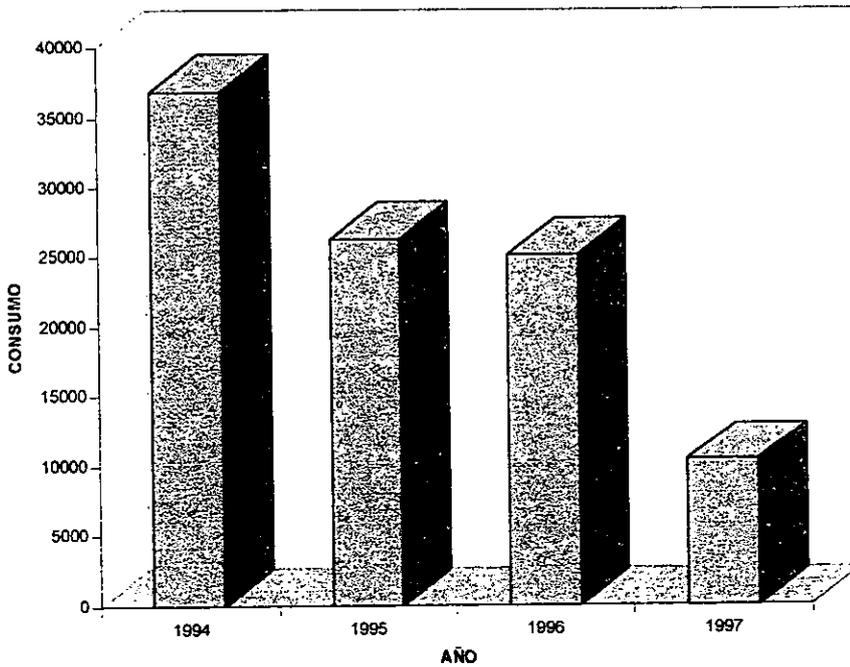
CONSUMO AGUA MUNICIPAL



CONSUMO AGUA DE POZO



CONSUMO TOTAL



Cambiando el sistema de absorción por uno centrífugo, sustituyendo los tratamientos químicos de la torre de enfriamiento por tratamientos francamente alcalinos, sujetos a un mayor número de concentraciones y disminuyendo la necesidad de extracción de agua de pozo y red municipal a través del reuso, tenemos una mayor eficiencia en el uso del agua, reflejándose en la disminución de su consumo.

RESULTADOS DE LA PRUEBA CON ALUMINATO DE SODIO PARA REMOVER FOSFATO Y BOD

Durante 30 días se llevó a cabo la prueba con aluminato de sodio al 42.5 %, alimentado en el influente de la planta de tratamiento con una dosis de 77 mg/lit, para un contenido de fosfato expresado como Fósforo de 11 mg/lit en el influente.

El promedio de valores durante y después de la prueba pueden observarse a continuación.

	PO₄³⁻ como P, mg/l		Sólidos Suspendidos mg/l		BOD mg/l		OD mg/l
	influyente	Efluente	influyente	Efluente	influyente	Efluente	Efluente
Período de prueba	11	0.8	270	10	200	8	4
Después del período de prueba	11	8	400	9	165	28	1

La aplicación del Aluminato de sodio fue exitosa debido a:

1. Un contenido de fosfato promedio en el efluente de 0.8 mg/l (como P).
2. Menor BOD en el efluente.
3. Menor demanda de cloro.
4. Menor Recuento de coliformes en el efluente.
5. Requerimientos reducidos de aire en el tanque de aireación.
6. Mayor oxígeno disuelto el efluente.
7. Mejores características del lodo.

RESULTADOS DEL CONTROL MICROBIOLÓGICO EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

MICROORGANISMO	UFC POR ML		NIVELES ACEPTABLES
	ANTES	DESPUES	
BACTERIAS AEROBIAS FORMADORAS DE SLIME			
FLAVOBACTERIUM	1,000,000	25,000	
PSEUDOMONAS	1,000,000	10,000	
B. SUBTILIS	500	250	
B. MEGATHERIUM	4,000	1,000	
B. MYCOIDES	300	100	
SUMA	2,004,800	36,350	
BACTERIAS ANAEROBIAS CORROSIVAS			
DESULFOVIBRIO	5,000	0	
CLOSTRIDIA	3,000	0	
SUMA	8,000	0	0
CONTEO BACTERIOLOGICO TOTAL	40000000	450,000	500,000
HONGOS			
FUSARIUM	2000	10	
ASPERGILUS	2000	10	
	4000	20	100
ALGAS AZUL-VERDOSAS			
OSCILLATORIA	POCAS	NO	
			POCAS
ALGAS VERDES			
CHLOROCOCCUS	MODERADO	POCAS	
SCENEDESMUS	POCAS	NO	
CYCLOTELLA	POCAS	NO	
			POCAS
DIATOMAS			
NAVICULA	POCAS	NO	
PINNULARIA	MUCHAS	POCAS	
SYNERDA	POCAS		
MELOSIRA	POCAS		
			POCAS

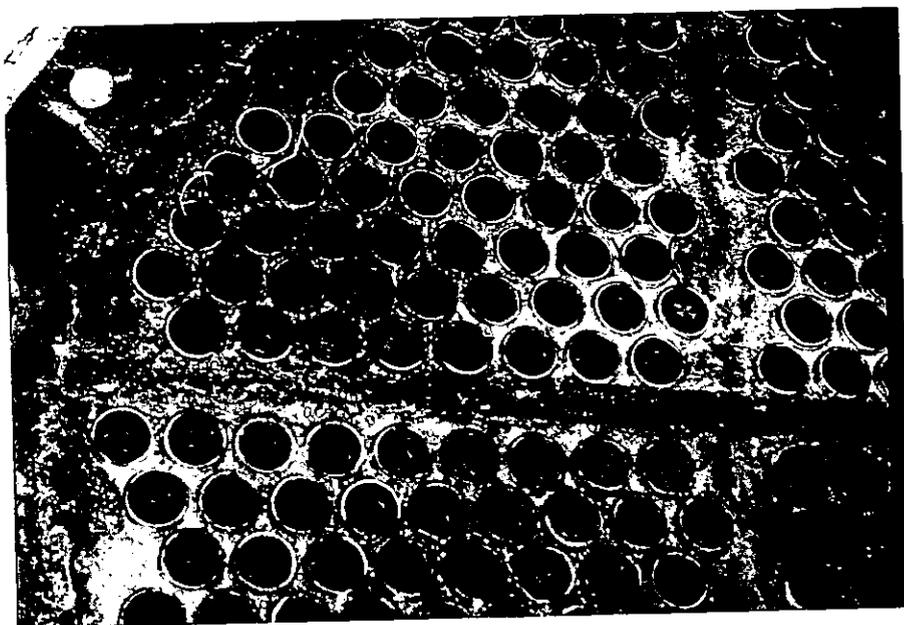
Los resultados indican niveles aceptables de microorganismos problemáticos lo cual se corrobora físicamente mediante las inspecciones de la torre de enfriamiento y de los intercambiadores de calor.

EVALUACION DE CORROSION EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

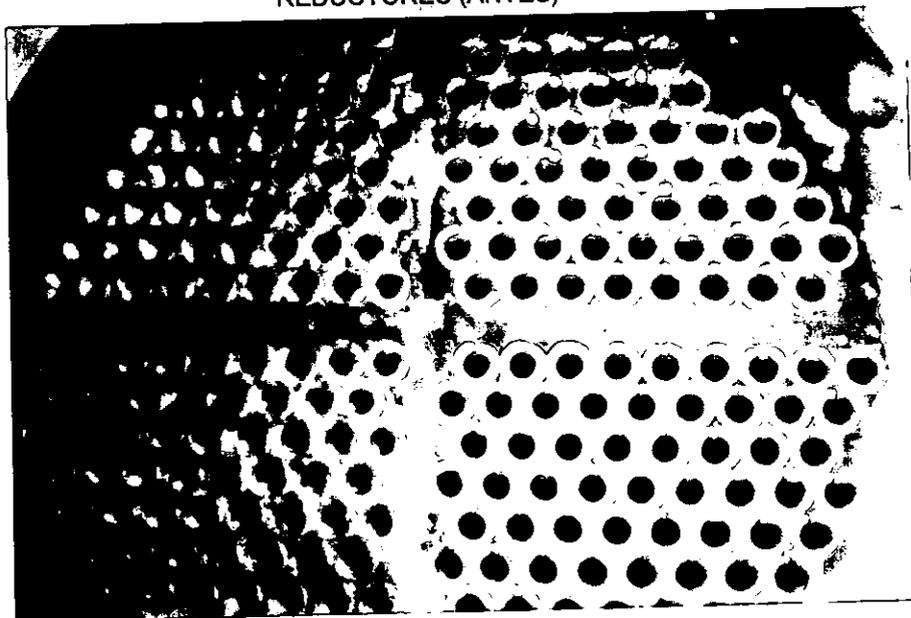
MES	CORROSION GENERAL EN TESTIGOS DE ACERO SUAVE (MPY)
1	5.40
2	1.48
PROMEDIO ANTES	3.44
3	0.64
4	0.52
5	0.46
6	0.76
7	0.40
8	0.57
9	0.50
10	0.34
11	0.23
PROMEDIO DESPUES	0.49
% DE REDUCCION DE CORROSION	85.76 %

Basado en un tiempo de exposición de 30 días la velocidad de corrosión puede ser generalmente interpretada de acuerdo a las siguientes reglas:

VALOR EN MPY	PROTECCIÓN
10	POBRE O NINGUNA
2-5	BUENA PROTECCIÓN
≥ 2	EXCELENTE PROTECCION



TUBERCULOS REPRESENTATIVOS DE LA CORROSIÓN POR SULFATO
REDUCTORES (ANTES)



INTERCAMBIADOR DE CALOR LIMPIO (DESPUES)

El problema fundamental, es el que podemos llamar Fouling biológico y que es el resultado del crecimiento y desarrollo de algas bacterias y levaduras.

El mecanismo de formación de los tubérculos se inicia cuando los microorganismos se adhieren a superficies rugosas como el espejo del intercambiador, las secreciones de estos microorganismos hacen que aumente la densidad y resistencia de la masa adherida y que finalmente se pegue en ambos extremos sobre la superficie metálica. La generación de H_2S y CO_2 debido a la actividad biológica de estos organismos hace que esta película adherida sobre la superficie metálica se expanda formando una especie de ampolla y en su interior el pH del agua disminuye causando corrosión bajo el tubérculo.

La parte externa del tubérculo atrapa fácilmente debido a las secreciones de los microorganismos, sólidos suspendidos y fierro procedentes de los productos de corrosión. Los tubérculos pueden ocasionar severos daños en la superficie.

En las fotografías se aprecian los cráteres que dejaron al desprenderlos del espejo del intercambiador.

A manera de contraste se advierte la ventaja del tratamiento alcalino observándose los tubos de cobre limpios.

7. CONCLUSIONES:

- Una estrategia que está siendo explorada con creciente frecuencia anticipándonos a los requerimientos futuros de cero descarga contaminante es evaluar la factibilidad del reuso de agua de desecho como agua de repuesto a calderas y sistemas para enfriamiento.
- El agua es un recurso vital y al igual que todos los recursos su abastecimiento es limitado y debe conservarse, reusandola se ahorra agua, energía y mediante cero descarga se evita la contaminación a cuerpos receptores y mantos acuíferos.
- La tendencia hacia el reuso de aguas de desecho ha conducido a una deterioración general de la calidad de las aguas usadas en sistemas para enfriamiento. Hay suficientes nutrientes en la forma de materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, tierra y material suspendido que es lavado por el agua quedando saturada de oxígeno. La forma potencial mas peligrosa de fouling es causada por los microorganismos, pero el uso de ozono como poderoso oxidante y el aumento de pH a 10 en el sistema frena la actividad biológica. Una eficiente remoción de BOD, la eliminación de nutrientes como Fósforo y Sulfatos limita el desarrollo y reproducción de los microorganismos. El pH de 8.2 producido por el empleo del aluminato favorece la denitrificación y cualquier residual de amoniaco se elimina por desorción a la entrada de la torre.
- Al emplear agua suavizada luchamos contra corrosión, la cual se frena con alto pH (10.0), favoreciendo también la eficiencia del inhibidor de cobre (Tolitriazol) impidiendo que los microorganismos lo deterioren utilizándolo como alimento. La sílice se mantiene soluble por alcalinidad y número de concentraciones mediante purga. Los valores de corrosión promedio en fierro son: 0.5 MPY lo cual se considera como una buena protección

8. RECOMENDACIONES:

- Tener una estricta supervisión en la columna de intercambio iónico debido a que cualquier fuga de dureza provocará incrustaciones en la caldera y en la torre de enfriamiento.
- Cuando se suministre el biodispersante (ayuda de desinfección) se debe hacer por lo menos media hora antes de agregar el biocida, para permitir su acción penetrante.
- Los biocidas deben de alternarse bajo una sistemática sucesión para que no se adapten a un mismo principio tóxico.
- No excederse en dosis del biodispersante ya que produce espuma que puede provocar cavitación en las bombas de recirculación de la torre.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ¹ D.D.F. "SISTEMA HIDRÁULICO DEL D.F." SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS, DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA MÉXICO D.F.
- ² BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER CONDITIONING FIFTH EDITION PP 51
- ³ EPA (1990) ACTIVATED SLUGE PROCESS "INTERMEDIATE WASTE WATER TREATMENT OPERATIONS" ENVIRONMENTAL RESOURCES TRAINING CENTER OFFICE OF WATER PROGRAM OPERATION WASHINGTON D.C.
- ⁴ PROCESOS BIOLÓGICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MATERIAL DE TRABAJO CURSO IMPARTIDO DEL 19 AL 30 DE JUNIO DE 1995 EN EL AUDITORIO NABOR CARRILLO DE LA COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA UNAM
- ⁵ PRIMER DIPLOMADO INTERNACIONAL EN QUÍMICA AMBIENTAL DEL AGUA DEL 17 DE SEPT AL 1 DE NOVIEMBRE DE 1991
- ⁶ PAC-C CONSULTING / ANALYTICAL SERVICES TECHNICAL MANUAL NALCO
- ⁷ OPERATORS POCKETGUIDE TO ACTIVATED SLUGE STEVENS, THOMPSON & RUNYAN INC.
- ⁸ Dr. MERVIN STEWART "PROCESS DESCRIPTIONS" MAY 1964 PART 2
- ⁹ MANUAL PRÁCTICAS DE LABORATORIO ESIME 1956
- ¹⁰ CHARLES DONALD SWIFT "PLANTAS DE VAPOR" ARRANQUE, PRUEBAS Y OPERACIÓN, PP 337
- ¹¹ THE NALCO WATER HANDBOOK 2 NALCO CHEMICAL COMPANY FRANK N. KEMMER (EDITOR-IN-CHIEF)
- ¹² CONDITIONING WATER FOR BOILERS "POWER INDUSTRY DEPARTMENT NALCO CHEMICAL COMPANY"
- ¹³ FERNANDO OROZCO D. 2ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO" PP 19
- ¹³ WHITNEY, W.R. THE CORROSION OF IRON, ACS, 25: 394-406 (1903)
- ¹⁴ JOHN R. SOKATCH" BACTERIAL PHYSIOLOGY AND METABOLISM" PP 203