



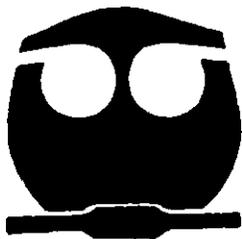
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

GRADO DE PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

"PREPRECIPITACION QUIMICA.
ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACION DE LA
OPERACION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES."

**TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS
DE EDUCACION CONTINUA**
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
CARLOS EDGAR LOPEZ SALDAÑA



1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

292629



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE:	PROFRA.	GUADALUPE VELEZ PRATT.
VOCAL:	PROFR.	CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS.
SECRETARIO:	PROFRA.	LILIA VIERNA GARCIA.
1er. SUPLENTE:	PROFR.	CLAUDIO AQUILES ESCALANTE TOVAR.
2do. SUPLENTE:	PROFR.	JOSE LUIS GONZALEZ GARCIA.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN JUAN DE ARAGON. MEXICO, D.F.

SUSTENTANTE:

CARLOS EDGAR LOPEZ SALDAÑA.

ASESOR DEL TEMA:

M. en C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS.

Seguir el camino, la verdad y la vida suele en ocasiones parecer un imposible.

Hoy he levantado la vista y mirado hacia adelante, ahí te pude encontrar.

Ahora, nada es más difícil que sentirse desde el ocaso frente al inicio.

con el premio al valor, que nunca será,

mas que asirse a quien habiendo querido no pudiese llegar.

CELS '1988.

A mis hijos, Cristóbal y Moisés,
hermoso premio y regalo de Dios.

A mi adorada Eli.
Por tus desvelos, hermosa compañía
e incalculable ayuda. Por tu amor.

**A mis Padres, Emperatriz e Isaías,
a quienes debo lo que soy.**

A mis hermanos, Griselda y Jesús,
que han derramado sobre mi
un espíritu de avance y superación.
Por su apoyo.

A mis Profesores por transmitirme un poco de su amplia preparación y experiencia.

Mi agradecimiento especial al M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios por su apoyo y
asesoría para la realización de este trabajo.

Mi agradecimiento al Ing. Rubén Rodríguez, Jefe de la P.T.A.R. San Juan de Aragón, D.F.

A la Facultad de Química y a la Universidad Nacional Autónoma de México. que me
extendieron su mano permitiéndome formar parte de su comunidad y darme, sin límites. toda una
formación personal e integral, así como una profesión que día a día me exhorta a la superación y a
recompensar con creces lo que el Alma Mater a puesto en mis manos.

Índice.

	Página
Introducción	1
CAPITULO N° 1. Descripción General de una Planta Tipo de Tratamiento de Aguas Residuales.	
Proceso Convencional de Lodos Activados	6
1.1. Unidades de una planta de tratamiento de lodos activados.	7
1.2. Diagrama típico de una planta de tratamiento de lodos activados.	7
1.3. Principales modificaciones del proceso de lodos activados.	9
1.3.1. Estabilización por contacto.	9
1.3.2. Aireación decreciente.	9
1.3.3. Aireación en etapas.	9
1.3.4. Aireación extendida.	10
1.3.5. Mezcla completa.	10
1.3.6. Sistema de oxígeno puro.	10
1.4. Criterios y evaluación de operación de una planta de lodos activados.	15
1.4.1. Sólidos suspendidos en el licor mezclado (MLSS).	32
1.4.2. Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (MLVSS).	32
1.4.3. Índice de densidad de lodo (SDI).	32
1.4.4. Índice volumétrico de lodo (SVI).	32
1.4.5. Relación sustrato/microorganismos (F/M).	33
1.4.6. Tiempo de retención de sólidos (SRT).	33
1.4.7. Determinación de la cantidad de lodo desechado.	33
1.4.8. Tasa de recirculación de lodos (r).	33
CAPITULO N° 2. Antecedentes de Operación para la Prueba en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Aragón, México, D.F.	35
2.1. Diseño de la planta.	38
2.2. Condiciones de operación antes de la prueba.	43
CAPITULO N° 3. Descripción de un Proceso de Precipitación Química Aplicado al Tratamiento de Clarificación de Agua Residual Municipal.	46

3.1.	El tratamiento primario convencional.	50
3.2.	El tratamiento primario avanzado (APT).	50
3.3.	El tratamiento químico primario.	50
3.4.	El tratamiento químico secundario ó en dos etapas.	50
3.5.	El tratamiento fisico-químico (TFQ) con un solo coagulante y sus diferentes variantes.	53
3.6.	Fundamento teórico de la precipitación química como tratamiento fisico-químico en la clarificación de agua residual.	57
3.7.	Factores que influyen en el proceso de desestabilización de partículas solubles.	61
	3.7.1. Factores químicos.	61
	3.7.2. El efecto del pH.	61
CAPITULO N° 4.	Propuesta de Preprecipitación Química como Complemento del Proceso Biológico de Lodos Activados.	63
CAPITULO N° 5.	Resultados de Operación de la Planta durante la Prueba.	66
CAPITULO N° 6.	Análisis de Resultados.	86
CAPITULO N° 7.	Conclusiones Generales.	89
	Referencias Bibliográficas.	91

Glosario de Términos.

<u>Término</u>	<u>Significado</u>
APT	Tratamiento primario avanzado.
ART	Agua residual tratada.
ATP	Adenosin trifosfato.
DBO/ NTK	Relación entre el carbono y nitrógeno en el proceso de lodos activados.
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno en el agua, evaluada al quinto día de incubación.
D.F.	Ciudad de México, Distrito Federal.
DPD	N,N-dietyl-p-fenilendiamina.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
F/ M	Relación entre sustrato/ microorganismos.
HP	Potencia de motor en caballos fuerza.
H ₂ SO ₄	Acido sulfúrico.
Kg	Kilogramo.
Kw/ hr	Kilowatt de energía eléctrica consumida por hora.
lps	Litros de agua por segundo.
m ³	Metro cúbico de agua.
micromhos/cm	Conductividad eléctrica en micromhos por centímetro lineal.
mg/ L	miligramos por litro de agua.
ml/ L	mililitros de lodo por litro de agua.
ML	Licor mezclado.
MLSS	Sólidos suspendidos en el licor mezclado ó lodo activado.
MLVSS	Sólidos suspendidos volátiles ó microorganismos en el licor mezclado.

MnSO ₄	Sulfato de manganeso.
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad.
OT	Ortotolidina.
PCSA	Policlorurosilicato de aluminio.
pH	Potencial de iones hidrógeno en el agua.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PTAR's	Plantas de tratamiento de aguas residuales.
PVC	Cloruro de polivinilo.
Q	Flujo de agua en la planta de tratamiento.
Q _r	Flujo de recirculación de lodos.
r	Tasa de recirculación del lodo activado con respecto al flujo de agua.
RAS	Recirculación de lodos activados.
RAS _{ss}	Concentración de sólidos en la recirculación de lodos activados.
S.A.A.M.	Sustancias activas al azul de metileno (detergentes).
SDI	Índice de densidad del lodo activado.
SRT	Tiempo de retención del lodo activado.
SVI	Índice volumétrico de lodos activados.
TFQ	Tratamiento fisicoquímico de precipitación.

Introducción.

Uno de los problemas más importantes que sin duda se tiene que afrontar en los tiempos actuales es el de la contaminación del ambiente: el incremento de las actividades productivas y la sobrepoblación son algunas de las principales causas de este problema, aunque también ha influido de manera importante el manejo y la proyección del crecimiento en la mayor parte de las ciudades y centros productivos industriales.

Algunas ciudades del mundo y de nuestro país no se han quedado ajenas a esta situación y nos ha alcanzado el tiempo en que el trabajo para la remediación del impacto ambiental, debe ser más acelerado y efectivo, así como la incorporación de nueva tecnología que disminuya dicho impacto y promueva el desarrollo sustentable en cada una de nuestras comunidades.

En todo el territorio nacional se presentan, desde hace algunos años, problemas con el aprovechamiento de los recursos naturales. Además, se ha tenido una mayor afectación al medio ambiente debido a fallas en la planeación del crecimiento y desarrollo urbano.

Otros problemas como el uso del suelo, disposición de desechos sólidos (basura), reuso de agua, etc., han ocasionado a algunas ciudades importantes de nuestro país, problemas de desequilibrio ecológico y escasez de estos mismos recursos naturales.

Siendo el agua un recurso natural con dificultades para ser llevado a sistemas urbanos con calidad potable y cantidad suficiente para abastecer a un número cada vez mayor de habitantes, se ve la necesidad de realizar investigaciones con el objeto de dar un mayor aprovechamiento a las aguas residuales y disminuir la demanda de agua de calidad potable para usos que no necesariamente requieran de esta calidad, por ejemplo el uso industrial y el de riego.

Muchos esfuerzos se han hecho para minimizar el problema de la afectación al ambiente, pero es claro que no han sido suficientes y las plantas de tratamiento de desechos sólidos y de aguas re

siduales deben incrementarse, y de ser posible, implementar el trabajo en cuanto a la rehabilitación de los ya establecidos. Es este último caso, de rehabilitación de una planta de tratamiento de aguas residuales antigua y con baja eficiencia, el tema que se estudiará en este trabajo con el objeto de proponer una nueva opción para que las plantas construidas desde hace más de 30 ó 40 años, puedan seguir siendo funcionales y tengan la capacidad de operación para aguas que actualmente son influentes de características muy diferentes a las que se tenían cuando dichas plantas fueron diseñadas y que ahora presentan mayor contenido de carga contaminante.

Además, se ha visto la necesidad de que dichas plantas puedan aumentar los volúmenes de agua tratada que producen y esta pueda ser comercializada.

Es de gran interés que estas plantas no se conviertan en viejas ruinas, y tengan que ser sustituidas por nuevas plantas de gran tamaño y tecnología moderna.

Por otro lado, también es importante favorecer la sustentabilidad ó equilibrio ecológico de cada región con los recursos ya existentes y dado que en la Ciudad de México se carece de un programa de reinyección de agua tratada como alternativa para la recarga del acuífero y manto freático, esta propuesta puede considerarse como una opción, dado que no necesariamente la mejor solución global sea traer el recurso agua desde otras cuencas con altas pérdidas por bombeo y fugas.

Probablemente el reuso ó reinyección del agua que se obtiene de diferentes aprovechamientos, tanto industrial como urbano, tratada en diferentes plantas de aguas residuales dentro de la zona metropolitana, pueda ser una solución, con lo cual podría evitarse la descarga de aguas residuales hacia otras cuencas con características propias, que se verían afectadas con estas aguas y donde no necesariamente se requiere el verter toda el agua residual de la Ciudad de México, provocando con esto impacto ambiental y desequilibrio ecológico en esas zonas.

Otro de los aspectos de interés en este trabajo es el de encontrar una tecnología nueva en nuestro país, para el tratamiento de las aguas residuales municipales, que consiste en la combina-

ción del proceso biológico convencional a base de lodos activados (con microorganismos presentes en el agua), y un complemento químico a este, con un clarificante inorgánico de alta capacidad coagulante-floculante.

Los diferentes tipos de procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales que han sido diseñados hasta ahora, buscan principalmente el aprovechar la depuración ó remoción de los contaminantes a base del trabajo de degradación natural por medio de los microorganismos presentes en el agua, la oxidación y la estabilización por medio de la aireación y la clarificación del agua mediante el reposo en tanques abiertos, entre otros, siendo este proceso el más común en la mayoría de las plantas de tratamiento.

El nuevo reglamento para el Distrito Federal ha implantado el reuso de agua tratada para ciertas actividades comerciales e industriales dentro de la zona metropolitana y esto es una buena base para reforzar la justificación de este estudio.

A partir de 1990 se inició la concesión de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales anteriormente habían estado a cargo del Gobierno de la Ciudad. Dado que se ha comenzado a impulsar el uso de agua tratada en aplicaciones industriales que no requieren necesariamente agua potable o de alta calidad, es necesario encontrar métodos nuevos para el mejor tratamiento de las aguas residuales, que les de mayor rentabilidad, sin embargo las aguas tratadas deben cumplir con la calidad del agua de alimentación para procesos industriales, de riego agrícola y/o de áreas verdes y en usos recreacionales como recarga de lagos y estanques.

En 1994 se otorgó la concesión de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Aragón, en el Distrito Federal, a la compañía Operadora de Ecosistemas, S.A. de C.V. donde se realizaron en el año de 1998 pruebas de tratabilidad con la tecnología mencionada en este trabajo y coordinadas por la compañía Kemwater de México, S.A. de C.V. fabricante del producto coagulante-floculante (PCSA) utilizado.

Los objetivos generales de las pruebas fueron:

- I.- Optimizar el consumo de energía eléctrica.
- II.- Reducir la relación kw-hr consumido/ kg de DBO₅ a eliminar.
- III.- Aumentar el flujo (Q) de agua a tratar.
- IV.- Controlar y eliminar la mayor cantidad posible de sólidos coloidales y suspendidos, con **policlorurosilicato de aluminio anhidro (PCSA)** como coagulante-floculante inorgánico de alto rendimiento.
- V.- Obtener calidad constante del efluente general de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y
- VI.- Aumentar la eficiencia general de la planta.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis diario de la calidad del agua, realizados en los laboratorios de la compañía Operadora de Ecosistemas, S.A. de C.V., obtenidos durante un periodo de 30 días de tratamiento, del 15 de abril al 15 de mayo de 1998, utilizando PCSA en la PTAR de San Juan de Aragón.

Durante estos días ocurrieron importantes cambios en el comportamiento de los lodos activados, lo cual repercutió directamente en el aumento de la eficiencia general de la PTAR.

Esta planta forma parte de las instalaciones que han sido concesionadas para 15 años y el agua que producen es vendida a la industria (9), como cliente principal, y los aspectos económicos de un proyecto de este tipo deben ser determinados considerando con mayor amplitud los beneficios que puedan ofrecer a la comunidad en general, no solamente por el costo del Kg de reactivo a usar ó del m³ de agua tratada.

En los últimos años se ha hablado mucho del "Tratamiento Primario Avanzado" aplicando la precipitación química para la remoción de los contaminantes en plantas de tratamiento de aguas; cabe aclarar que el sistema propuesto en este trabajo no corresponde a ese tipo de tratamiento.

La **preprecipitación química propuesta es un proceso distinto** al de precipitación química directa, que se utiliza en el Tratamiento Primario Avanzado, dado que en este último se usará siempre de manera imprescindible un coagulante, generalmente inorgánico como sulfato de aluminio ó cloruro férrico, seguidos necesariamente de un polímero floculante, generalmente orgánico, de alto peso molecular y de alta velocidad de sedimentación (4). Todo esto convierte al Tratamiento Primario Avanzado en un proceso muy efectivo pero de un alto costo de operación, puesto que no interviene en ninguna de sus etapas alguno de los procesos biológicos naturales, que podrían hacer menos caro dicho proceso.

La **“Preprecipitación Química” es con un solo reactivo**, el uso de PCSA de alto rendimiento no afecta a los lodos activados, no propone el uso de polímeros orgánicos, ni cualquier otro reactivo que pueda afectar negativamente las características del agua ó del lodo activado y las dosis a usar son muy bajas, del orden de 15 mg/L.

Esto permite que en el licor mezclado se tengan condiciones adecuadas para su desarrollo en cuanto a pH, contacto con el oxígeno, grado de suspensión, disponibilidad de nutrientes, etc., logrando con esto un mejor desarrollo por parte de los microorganismos que componen los lodos activados siendo más sanos y evitando problemas de anaerobiosis con la consecuente formación de metabolitos como los sulfuros, que en altas concentraciones pueden alterar de tal manera, que sean inhibidores de los lodos aerobios de este tipo de plantas de tratamiento de aguas residuales (8).

1.- Descripción General de una Planta Tipo de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales.

Proceso Convencional de Lodos Activados.

El sistema de lodos activados es un proceso de tratamiento en el cual el agua residual y la masa de microorganismos son mezclados y aireados en un tanque comúnmente llamado de aireación. Los lodos activados son posteriormente separados del agua residual tratada en un tanque de sedimentación (clarificador secundario) y reciclados al tanque de aireación para mantener una cantidad constante de microorganismos suspendidos (7).

En el proceso de lodos activados, los microorganismos y la materia orgánica del agua residual que tiene una función como sustrato, son mezclados de tal manera que la utilizan como nutriente y así pueden reproducirse. A medida que los microorganismos crecen, se agrupan y van formando flocúlos para producir una masa activa de microorganismos llamada "lodo activado". El agua residual fluye continuamente dentro de un tanque de aireación, donde el aire es introducido para mezclar el lodo activado y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos remuevan con mayor rapidez la materia orgánica. La mezcla de lodo activado y agua residual en el tanque de aireación es llamada "licor mezclado" (ML).

El licor mezclado fluye del tanque de aireación al clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. La mayor parte del lodo sedimentado es regresado al tanque de aireación para mantener una alta población de microorganismos y una remoción óptima. Debido a que el lodo que se produce en el proceso es mayor que el requerido, se desecha una determinada cantidad al sistema de manejo de lodos para su tratamiento y disposición. El aire es introducido al tanque de aireación, ya sea mediante difusores que se colocan en el fondo del tanque de aireación o por aireadores mecánicos superficiales. El volumen de lodo reciclado al tanque de aireación es típicamente del 20 al 50% del flujo del influente. Hay muchas variaciones del proceso convencional de lodos activados ya men

cionado, estas variaciones se describen más adelante.

1.1.- Unidades de una planta de tratamiento de lodos activados.

Las unidades que comúnmente componen una planta de tratamiento utilizando el proceso de lodos activados son las siguientes:

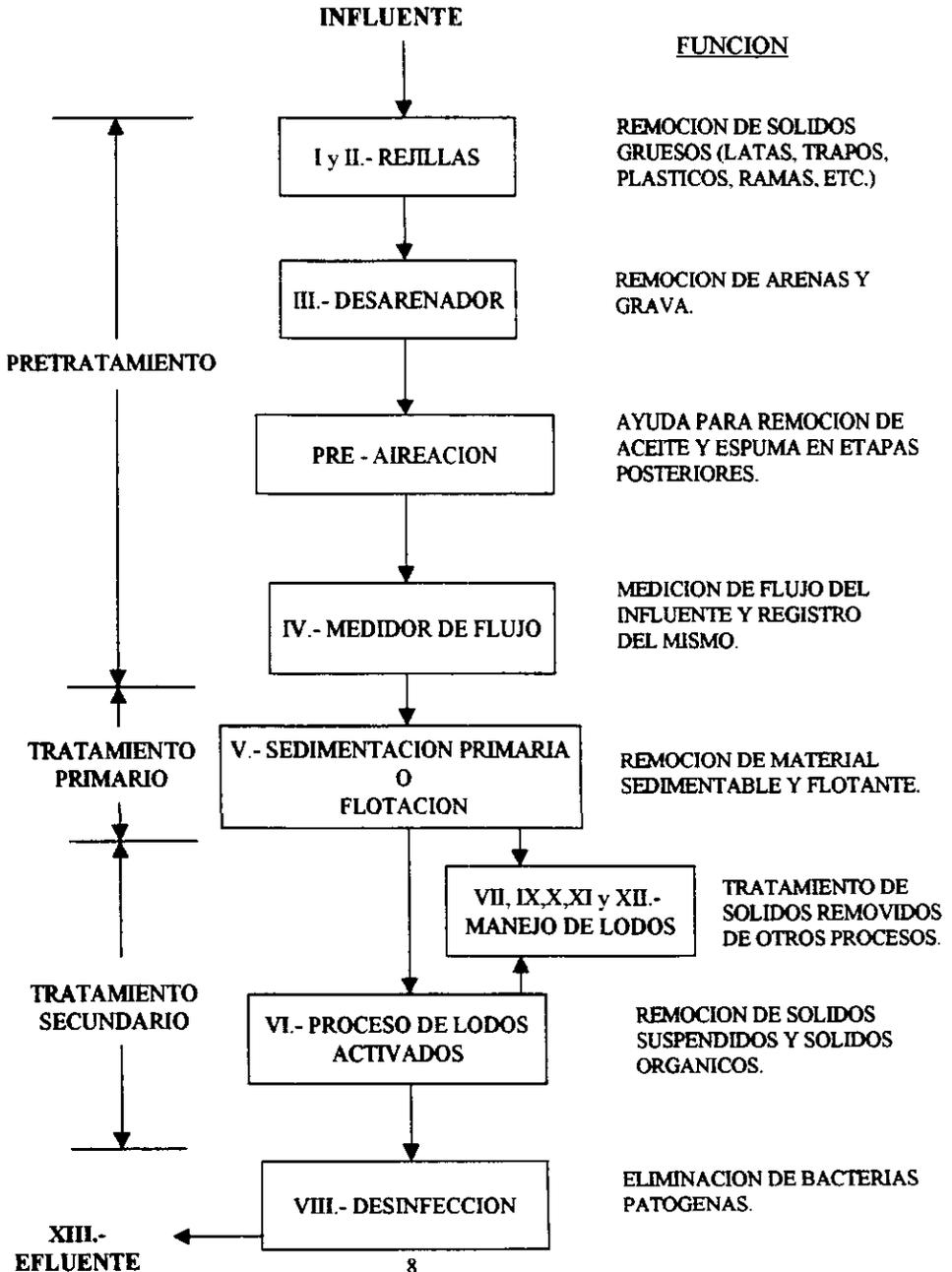
- I.- Rejilla de gruesos.
- II.- Rejilla de finos.
- III.- Desarenador.
- IV.- Medidor de flujo.
- V.- Sedimentadores primarios.
- VI.- Tanque de aireación.
- VII.- Clarificadores secundarios.
- VIII.- Sistema de desinfección.
- IX.- Espesadores de lodos.
- X.- Digestores de lodos.
- XI.- Acondicionadores de lodos.
- XII.- Deshidratadores de lodos.
- XIII.- Disposición final.

En la planta de tratamiento de aguas residuales municipales a la que se hace referencia en este estudio, no se le da tratamiento a los lodos, es decir que no se incluyen las etapas IX, X, XI y XII.

1.2.- Diagrama típico de una planta de tratamiento de lodos activados.

En la figura N° 1 siguiente, se ilustra un diagrama típico del proceso convencional de lodos activados para una planta tipo de tratamiento de aguas residuales municipales.

Figura N° 1.
Diagrama Típico de una Planta de Tratamiento de Lodos Activados.



1.3.- Principales modificaciones del proceso de lodos activados.

En la figura N° 2 se ilustran las principales variantes del proceso convencional de lodos activados y en la tabla N° 1 se enuncian los parámetros de control recomendados para dichas modificaciones.

Las modificaciones del proceso convencional de lodos activados han sido desarrolladas para adecuar la operación bajo ciertas circunstancias. Algunas de estas condiciones pueden ser:

- A.- La carga orgánica actual excede a la de diseño para operación convencional.
- B.- Se requiere adición de nutrientes para tratar apropiadamente el influente.
- C.- Variaciones estacionales de flujo y carga orgánica.

1.3.1.- Estabilización por contacto.

En este sistema, el agua residual que entra se mezcla brevemente (20 a 30 minutos) con el lodo activado el tiempo requerido para que los microorganismos adsorban los contaminantes orgánicos en solución, pero no el tiempo necesario para que ellos asimilen la materia orgánica. El lodo activado, se sedimenta y es regresado a otro tanque de aireación (tanque de estabilización), en el cual, éste es aireado de 2 a 3 horas para permitir que los microorganismos remuevan la materia orgánica.

1.3.2.- Aireación decreciente.

En tanques de aireación largos y angostos, la demanda de oxígeno es mucho mayor a la entrada; por lo que se utiliza en este proceso, una mayor cantidad de aire que se introduce a la entrada y que va disminuyendo hasta alcanzar la salida del tanque.

La cantidad de aire es la misma, pero su distribución disminuye a lo largo del tanque.

1.3.3.- Aireación en etapas.

Esta modificación consiste en que el flujo de agua residual es introducido en varios puntos en lugar de uno solo. En los puntos de alimentación se tiene una demanda de oxígeno parcial para todo el tanque de aireación, resultando una mayor eficiencia del uso del oxígeno.

Es frecuente que cuando una planta de tratamiento convencional quiere aumentar su capacidad, modifican su sistema al de aireación en etapas.

1.3.4.- Aireación extendida.

Plantas muy pequeñas usan el sistema de aireación extendida, el cual es otra variación del sistema de lodos activados. El diagrama de flujo es esencialmente el mismo que en el sistema de mezcla completa, excepto, que en estas planta generalmente no hay tratamiento primario, a menos que se requiera una determinada condición en el influente. El tiempo de retención hidráulica varía de 18 a 36 horas en lugar de 4 a 8 horas que se usa en el proceso convencional. Este periodo de aireación permite que el lodo sea parcialmente digerido dentro del tanque de aireación de tal manera que éste sea desaguado y dispuesto sin ser necesaria una digestión. Una variación del sistema de aireación extendida es la llamada zanja de oxidación, la cual forma parte del tanque de aireación donde un rotor introduce el oxígeno necesario al agua residual, la mantiene mezclada y en movimiento.

1.3.5.- Mezcla completa.

Con el objeto de obtener aún mejores resultados que en el sistema de aireación en etapas, se usa el proceso de mezcla completa. En este sistema, el agua residual se alimenta tan uniformemente como sea posible a lo largo del tanque de aireación de tal manera que la demanda de oxígeno sea uniforme de un extremo a otro.

1.3.6.- Sistema de oxígeno puro.

Desde 1970, ha habido interés en los sistemas que utilizan oxígeno puro al 90% en lugar de aire, para utilizar eficientemente el oxígeno, los tanques generalmente están cubiertos y el oxígeno es reciclado a través de varias etapas. Cuando los tanques están cubiertos, el oxígeno entra a la primera etapa del sistema y fluye a través del tanque de oxidación junto con el agua residual.

La presión bajo la cubierta del tanque mantiene el control, previene y evita el retromezclado de una etapa a otra. Este sistema permite el uso del oxígeno eficientemente con bajos requerimien-

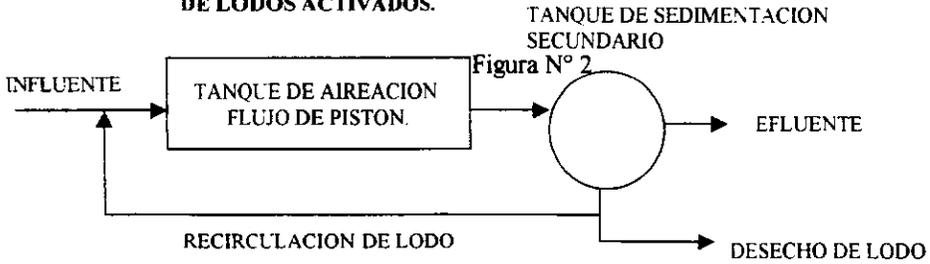
tos de energía.

Para lograr el mezclado se emplean aireadores superficiales. En el caso de tener tanques abiertos, se usan difusores especiales de oxígeno. El número de etapas y el tipo de dispositivos para el mezclado depende de las características del desecho, tamaño de planta, disponibilidad de terreno, requerimiento de calidad y otras consideraciones. El sistema de oxígeno puro posee tanques de aireación mucho más pequeños (1.5 a 2 horas de aireación en lugar de 4 a 8 horas en el sistema convencional). El oxígeno usado en el proceso normalmente es generado en el sitio de la planta.

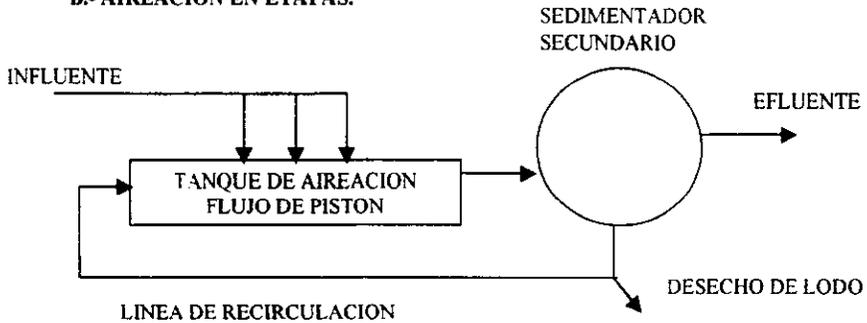
Figura N° 2.

Diagrama de las Modificaciones al Proceso Convencional de Lodos Activados.

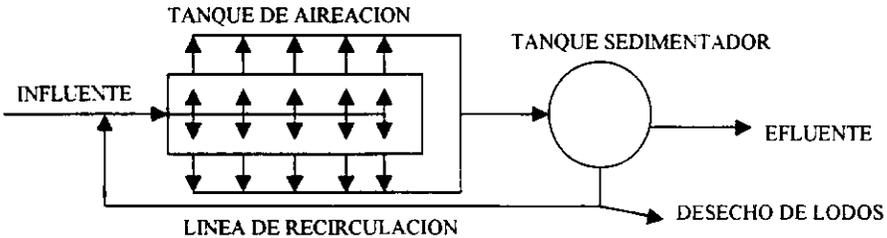
A.- PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS.



B.- AIREACION EN ETAPAS.



C.- PROCESO DE LODOS ACTIVADOS MEZCLA COMPLETA.



D.- ESTABILIZACION POR CONTACTO.

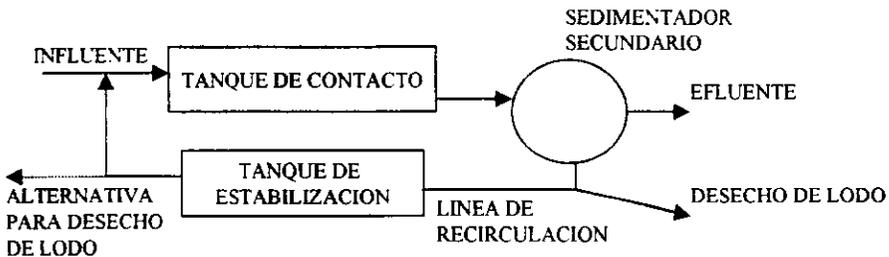
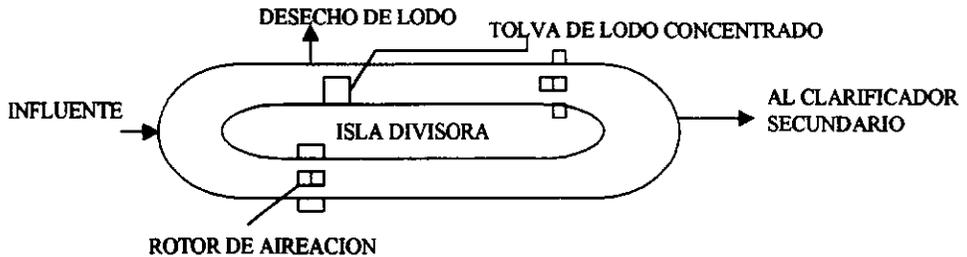


Figura N° 2. (Continuación)

Diagrama de las Modificaciones al Proceso Convencional de Lodos Activados.

D.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON OXIGENO PURO DE ETAPAS MULTIPLES Y ZANJA DE OXIDACION.

1.- SISTEMA DE ZANJA DE OXIDACION.



2.- SISTEMA DE TRATAMIENTO CON OXIGENO PURO DE ETAPAS MULTIPLES.

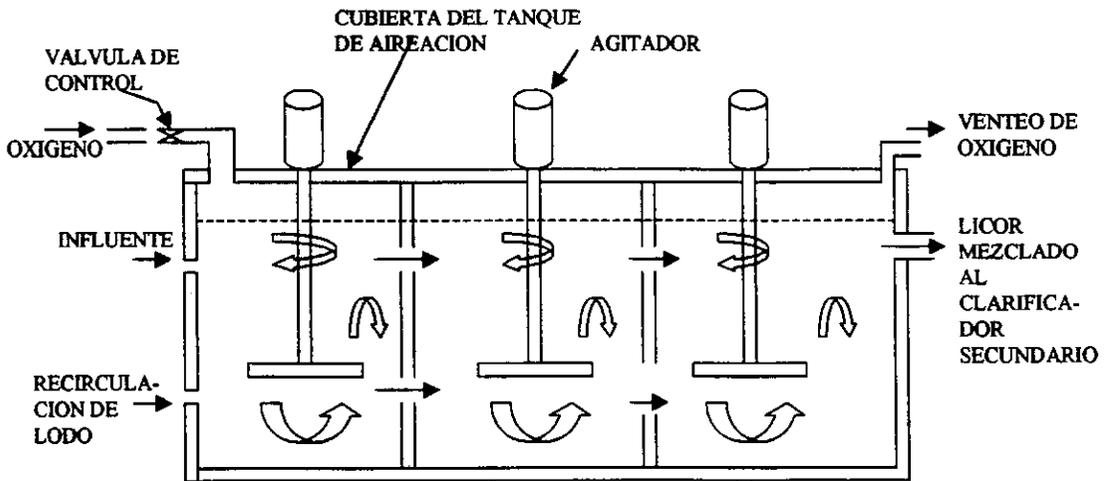


TABLA N° 1

PARAMETROS TÍPICOS DE DISEÑO DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

Modificación del proceso	Régimen del Flujo	Edad del Lodo. SRT (días)	F/M kg DBO ₅ /kg MLVSS día-l.	Carga org. kg DBO ₅ /1000 m ³ vol.	MLSS mg/l	Tiempo de retención Tr (horas)	Relación de Recirculación r
Convencional	Pistón	5 - 15	0.2 - 0.4	320 - 640	1500 - 3000	4 - 8	0.25 - 0.5
Mezcla completa	Mezcla completa	5 - 15	0.2 - 0.6	800 - 1920	3000 - 60000	3 - 5	0.25 - 1.0
Aireación en etapas	Pistón	5 - 15	0.2 - 0.4	640 - 960	2000 - 3500	3 - 5	0.25 - 0.75
Estabilización por contacto	Pistón	5 - 15	0.2 - 0.6	480 - 1200	1000 - 4000 * 4000 - 10000 ***	0.5 - 1.5 *	0.5 - 1.5
Aireación extendida	Mezcla completa	20 - 30	0.05 - 0.15	160 - 240	2000 - 6000	12 - 36 **	0.5 - 2.0
Sistema de oxígeno puro	Mezcla completa reactores en serie.	8 - 20	0.25 - 1.0	1600 - 4000	4000 - 8000	2 - 5	0.25 - 0.5

* Unidad de contacto.

** Normalmente el valor es de 24 hrs.

*** Tanque de estabilización.

1.4.- Criterios y Evaluación de Operación.

El proceso de lodos activados puede convertir la materia orgánica del influente a sólidos.

Los sólidos tienen que ser removidos de tal manera de tener un efluente de alta calidad en términos de materia orgánica. La sedimentación de sólidos no es fácil de predecir cuando hay sólidos en suspensión, con diferentes densidades y características de espesamiento.

Se requiere un control operacional cuidadoso de sólidos para producir un efluente de buena calidad.

El sistema de rejillas de gruesos y finos debe operar adecuadamente, si se cuenta con equipo electromecánico. éste deberá obedecer al paro y arranque sin problema, del mismo modo si es manual, se deberá contar con un programa bien definido que incluya al personal suficiente para su limpieza permanente.

Un sistema de rejillas con alguna falla puede representar el riesgo de taponamientos y con ello variaciones importantes de flujo de alto riesgo para la estabilidad del proceso, si esto ocurre y el equipo no puede entrar en operación pronto, lo mejor es retirarlo ó reponerlo por otro en buenas condiciones lo más rápido posible.

En cuanto al desarenador y medidor de flujo, es conveniente que también operen libres de sólidos acumulados, estos tanques generalmente serán de poca profundidad (de 0.2 a 0.5 mts. promedio) con lo cual podrían obstruirse con frecuencia y esto afectar al flujo constante que se recomienda al influente general a la planta. El canal medidor de flujo ó canal Parshall es difícil que se vea obstruido debido al efecto vertedor del agua pero sí se debe tener cuidado en que la regleta ó escala dibujada sobre el canal esté clara y de fácil lectura. Se debe llevar un registro constante del flujo que entra a la planta con el fin de no desestabilizar al lodo y a su constante de recirculación.

Dichos registros también son importantes para poder justificar cualquier desviación a la calidad del proceso y del efluente final de la PTAR.

El uso de rotámetros electromecánicos ó digitales permiten que se tengan los registros gráficos con precisión y detectar las desviaciones al flujo con suficiente anticipación, tomando las medidas de ajuste al proceso en el momento oportuno para no perder su control. Suelen colocarse medidores de flujo a la entrada del influente y/o a la salida del tanque de desinfección, lo que es de gran utilidad, puesto que de esta forma se puede detectar si se tuvieron pérdidas o fugas de agua en alguna sección del proceso. No necesariamente el agua del influente será igual al agua del efluente, es recomendable dar un estricto control al balance de materia para registrar con veracidad los volúmenes de agua tratada que se producen, recordando que hay un importante volumen de agua en recirculación y otros fenómenos como lluvia, evaporación, etc.. estarán presentes durante todo el ciclo anual.

Este último aspecto adquiere mayor importancia cuando el agua residual tratada (ART) producida, es destinada al reuso por medio de la comercialización a sectores como el industrial y el municipal para el riego agrícola y de áreas verdes.

Una pérdida del control del proceso de lodos activados puede llevarse varios días para su restablecimiento, de ahí la importancia del constante chequeo de los parámetros.

El sistema de bombeo del tanque de homogeneización es de gran importancia ya que sin él muchas plantas no podrían operar. Generalmente se usa la pendiente natural del terreno para el diseño y distribución de tanques ó en ocasiones esta energía potencial es aprovechada para que se logre el flujo por gravedad a lo largo de todo el sistema. Sin duda aquí el equipo de bombeo juega un papel muy importante para amortiguar y regular el flujo al sedimentador primario, además de lograr una homogeneización de la calidad del agua del influente al mismo sedimentador.

Son varias las precauciones a seguir en cuanto a este sistema de bombeo, una de ellas es la utilización alternada de las bombas, de preferencia con arrancadores simultáneos programados, otra de ellas es el servicio de mantenimiento preventivo con el fin de que dichos equipos trabajen de manera confiable durante todo el año y por último es recomendable tener siempre una bomba en emer-

gencia para dar a todos los equipos una mayor vida útil y poder cubrir cualquier fenómeno en época de lluvias ó por emergencia de reparaciones.

El sedimentador primario generalmente debe estar bajo un régimen de purga de lodo que no necesariamente es biológico, y los lodos generados en este tanque deben ser separados del resto de los lodos activados. En algunas ocasiones se recirculan dichos lodos del sedimentador primario a los tanques de aireación, que contienen los lodos activados biológicos, con la inevitable aparición de microorganismos indeseables en los lodos activados como son algunas bacterias filamentosas, anaerobias y encapsuladas siendo generadoras de sustancias tóxicas e inhibidoras para los lodos activados aerobios del proceso y con los cuales competirán por los nutrientes disponibles, provocando la desestabilidad del proceso (8).

Generalmente el tanque del sedimentador primario separa los sólidos de alta densidad ó sólidos sedimentables, muchos de ellos difíciles de degradar por los lodos activados, de tal forma que si no se tiene un bajo nivel de colchón de sólidos en este tanque es probable que se viertan por efectos de rebote, contraflujo ó baja densidad al siguiente tanque aireador con la consecuente afectación a la buena salud del lodo activado y su mejor eficiencia.

Se ha visto en los últimos años que los sólidos sedimentables son de composición muy variable y muy diferente a las sustancias que se encontraban presentes en aquellos años en que se diseñaron las primeras PTAR's en el D.F., por lo que es muy importante que estos sólidos no pasen a la siguiente fase del proceso, para evitar que afecten al lodo activado.

El nivel de colchón de lodos dentro del sedimentador primario debe ser lo más bajo posible para evitar que se viertan al aireador, pero es importante saber que este colchón es necesario para provocar el efecto proprecipitante de los sólidos entrantes al tanque. Este "efecto de semilla" es un concepto que se maneja en la teoría de la precipitación química y este caso no es la excepción así que es importante tomarlo en cuenta para lograr retener la mayor cantidad de sólidos sedimentables

en este paso.

Por último es recomendable inspeccionar de manera periódica el mecanismo de rastras del sedimentador primario. Este debe estar siempre bien lubricado para el buen funcionamiento de las partes del rotor, las cadenas transportadoras de las rastras (si es un tanque rectangular) deben contar con partes de repuesto, dado que es muy frecuente que la oxidación y corrosión las rompan. Si el tanque fuera circular es un poco más complejo el servicio preventivo, puesto que deberán incluir la lubricación del tren rodante, la unidad motriz, así como la nivelación del contrapeso para balance de rastras, reposición de hules colectores ajustables, nivelación de vertedores, limpieza de caja colectora de natas, entre otros.

Las regaderas para el control de espuma deberán estar libres de obstrucciones y de preferencia el abanico de cada aspersor traslapase con el siguiente para tener una mayor eficiencia.

Es conveniente que el abanico tenga unos 45° con la superficie del tanque para lograr el desplazamiento a la trampa de espumas.

Para no tener taponamientos en las esferas o boquillas debido a la acumulación de sólidos, se pueden instalar filtros "Y" antes de las regaderas.

El tanque de aireación debe operar bajo condiciones libres de obstrucción en sus vertedores, líneas de recirculación de lodo, caja de distribución de lodo, líneas de conducción de aire, difusores de aire, etc.

Se recomienda que el nivel de oxígeno disuelto promedio en el tanque sea de 1.0 mg/L y de 1500 a 3000 mg/L el contenido de sólidos como MLSS para el proceso convencional de lodos activados. En las tablas N° 1 y N° 2, se muestran los valores de los parámetros de control recomendados para el proceso de lodos activados.

TABLA N° 2

PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DE AIREACION Y OXIGENO DISUELTTO.

PROCEDIMIENTO	FRECUENCIA	METODO	RANGO	CONDICION	CAUSA PROBABLE	RESPUESTA
Cheque el nivel de oxigeno disuelto	Cada 2 hrs.	Medidor de oxigeno disuelto ó método yodométrico.	de 1 a 3 mg/l	Alta Satisfactoria Baja	Mucha aireación Muy poca aireación	Disminuya aireación Contiene monitoreo Aumente aireación
Cheque el patrón de mezcla	Diario	Observación visual	Mezcla uniforme y patrón de turbulencia. Burbujas de aire	Partes muertas. Turbulencia desuniforme. Sitios separados de turbulencia.	Distribución pobre de aire. Distribución pobre de aire. Mala operación de difusores.	Realice perfiles de O.D. y balances de aire. Distribuya con las válvulas de las líneas de aire. Saque los difusores y cheque taponamientos.
Cheque los requerimientos de aire. (sistema de difusores.)	Diario	Calcule: Volumen de aire que se está aplicando por kg de DBO ó DQO removida.	Ver Tabla N° 3	Alta Satisfactoria Baja	La transferencia de oxígeno es pobre ó hay nitrificación. Determinación dudosa de O.D., DBO ó DQO.	Cheque uniformidad de aireación. Cheque nitrificación continúe el monitoreo. Recalibre el medidor de O.D. cheque análisis de laboratorio.
Cheque los requerimientos de aire. (aireación mecánica superficial).	Mensual	Calcule: kg de oxigeno / kg de DBO5 removida.	Ver Tabla N° 3	Alta Satisfactoria Baja	Carga de materia orgánica baja. Carga de materia orgánica baja. Insuficiente capacidad de aireación.	Reduzca el n° de unidades en operación. Cheque mezcla adecuada. Mejore el tratamiento primario. Aumente el n° de unidades en operación.

El análisis microscópico de los MLSS puede ser de gran ayuda en la evaluación del proceso de lodos activados. La presencia de ciertos microorganismos en el licor mezclado del tanque de aireación puede rápidamente indicarnos un tratamiento eficiente ó inadecuado.

Los microorganismos más importantes son las bacterias autótrofas y heterótrofas, las cuales son responsables de la purificación del agua residual. Los protozoarios juegan un papel muy importante en la clarificación del agua residual y actúan como un indicador del grado de tratamiento.

La presencia de rotíferos, es también un indicador de la estabilidad del efluente.

El predominio de protozoarios (ciliados) y rotíferos en los MLSS es signo de una buena calidad del lodo. El tratamiento bajo estas condiciones, con tasas de recirculación, desecho y aireación apropiadas, tendrá una buena calidad del efluente ó ART. Por otro lado, el predominio de organismos filamentosos, como se mencionó anteriormente y un número limitado de ciliados, es característica de una pobre calidad del lodo. Esta condición es asociada con un lodo que tiene malas características de sedimentación.

Los microorganismos que son importantes para el operador son los protozoarios y los rotíferos, como se dijo anteriormente, los protozoarios se comen a las bacterias y ayudan a proporcionar un efluente claro. Básicamente, el operador debe estar familiarizado con tres grupos de protozoarios, los cuales tienen un significado en el tratamiento de aguas residuales: estos son los rotíferos, ciliados y nematelmintos (1).

Es conveniente contar con un laboratorio químico de control interno donde puedan realizarse las determinaciones de oxígeno disuelto en el tanque de aireación, contenido de MLSS, MLVSS, DQO, DBO₅, Color, Turbiedad, Cloro libre residual, entre otros, puesto que algunas determinaciones como por ejemplo de oxígeno disuelto requieren determinarse en los primeros minutos de haberse tomado la muestra de lo contrario se deberá preservar bajo condiciones ácidas usando H₂SO₄ conc., MnSO₄ y azida de sodio al 2%, de esta forma la muestra se conservará de 4 a 8 horas, si se u-

sa el método yodométrico. Las muestras con gran contenido de sólidos en suspensión pueden consumir cantidades apreciables de yodo en solución ácida. La interferencia debida a los sólidos se puede eliminar por floculación de alumbre (1).

Las interferencias en la determinación de oxígeno disuelto en las muestras de lodos activados, así como la posibilidad del control continuo para dicha determinación in situ, se pueden reducir al mínimo usando el sistema de electrodo recubierto de membrana, ya que el elemento sensor está protegido por una membrana plástica permeable al oxígeno que sirve de barrera de difusión frente a las impurezas. En condiciones de equilibrio estable la corriente es directamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto. Dichos electrodos de membrana pueden ser de tipo polarográfico y galvánico (en investigaciones de laboratorio, los electrodos de membrana se han utilizado para análisis continuos de oxígeno disuelto en cultivos bacterianos, incluida la prueba DBO₅ (1).

Al ser totalmente sumergibles, los electrodos de membrana son adecuados para análisis in situ. Su fácil transporte, funcionamiento y mantenimiento los hacen especialmente convenientes para aplicaciones de campo, como es este caso, con la posibilidad de tomar determinaciones a diferentes secciones del tanque aireador y si es posible regular de manera progresiva los requerimientos de aire a lo largo del mismo.

Esta determinación es de tal relevancia que de ella dependen que se aprovechen al máximo los equipos de soplado, los consumos de energía por kw/hr no se excedan y los sistemas de difusión de aire no trabajen bajo condiciones forzadas de sobrepresión o exceso. Además los lodos activados no van a aprovechar más oxígeno por más aire que se les incorpore.

Es de especial importancia el cuidado del equipo de compresión de aire, que si bien los fabricantes los desarrollan siendo aptos para un trabajo rudo, siempre es conveniente tenerlos bajo un sistema térmico de protección eléctrica y de ser posible con sistemas de alarma con paro y arranque para evitar que se dañen por variaciones del suministro de energía ó sobrecalentamiento.

El equipo de ventilación de los mismos debe de estar en óptimas condiciones e igualmente protegido. La entrada y salida de los filtros de aire no deben estar obstruidas ni debe presentar fugas, si esto ocurriera, es conveniente detectarlo con el auxilio de manómetros conectados igualmente a la entrada y salida del filtro, además de verificar que los hules o sellos estén en buenas condiciones. Las caídas de presión en dichos manómetros indicarán posibles fugas, y de no ser así la necesidad de cambiar ó limpiar los filtros (7).

Todos los procedimientos necesarios para el buen funcionamiento de equipos delicados como este, tales como niveles de aceite, paro, arranque, indicadores, switches, válvulas, etc., deben seguirse de acuerdo a los manuales del fabricante. Antes de la operación se debe tener conocimiento a fondo del contenido de los manuales, esto es conveniente que se haga junto con los departamentos de mantenimiento, de operación, calidad, etc., y con ello garantizar que no se tenga una mala operación de los mismos. Esto es importante para lograr cubrir las garantías que el fabricante ofrece con respecto a sus equipos.

Por otro lado, es conveniente que los sistemas de agitación electromecánica ó aireadores superficiales se encuentren bien instalados para evitar que trabajen con bajos niveles de agua y se encuentren bien distribuidos a lo largo y ancho del tanque aireador. Deben contar con una lubricación adecuada en su sistema motriz, un buen nivel de sumergencia de la propela ó turbina así como un buen balanceo dinámico, un motor clase F (a prueba de humedad) que gire adecuadamente, centro de controles apropiado con elementos de protección térmica, anclajes seguros pero no tensionados con flotadores suficientes. Si los anclajes son “muertos” (bloques de concreto en el fondo) se debe procurar tener un cordel amarrado y un flotador para facilitar su localización.

Si se cuenta con sistemas de difusores de aire basándose en membranas sumergibles es muy importante que se inspeccionen de manera periódica vaciando el tanque. Esto se debe realizar sin omisiones dado que es frecuente que las membranas se deterioren o se desprendan provocando fallas

en la distribución del aire, se debe tener especial cuidado de no dañar los mecanismos de instalación ya que las diferentes variantes de discos difusores tienen diferente modo de instalación, estos difusores podrán ser de burbuja gruesa ó fina, roscados ó bridados.

Otro caso frecuente es el taponamiento de las membranas por solidificación ó incrustación por falta de cuidado en las limpiezas periódicas a todas las líneas sumergidas del sistema difusor, así como a todo el conjunto de membranas. Dichas limpiezas, generalmente ácidas, son importantes para lograr que los sistemas difusores trabajen permanentemente y tengan mayor durabilidad. Los nuevos sistemas de membrana de plásticos flexibles son más recomendables para el proceso convencional de lodos activados, puesto que su trabajo de inchamiento al arrancar el sistema de soplado removerá el exceso de lodos acumulados sobre la membrana evitando que se vuelvan a depositar, lo cual no podría ocurrir con los discos difusores rígidos (de cerámica, PVC ó teflón) ocasionando endurecimiento del lodo al acumularse de capa en capa, exigiendo su reemplazo.

Todos los sistemas de aireación tendrán una vida útil y esta será mayor ó menor según el tipo y marca de equipos con que se cuente, así mismo la eficiencia entre una tecnología y otra podrán variar y con ello sus exigencias de aire. Esto incidirá en la vida media de los equipos de soplado como con el sistema de difusor de aire en general, y es importante considerar que es preferible tener por lo menos un soplador en paro para prever cualquier reemplazo por falla mecánica y cubrir las demandas de aire. En la tabla N° 3, se muestran los valores recomendados de requerimientos de oxígeno para el proceso de lodos activados.

TABLA N° 3

**REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA SISTEMAS POR DIFUSION
 Y AIREACION MECANICA.**

SISTEMA DE AIREACION POR DISUFORES			SISTEMA DE AIREACION MECANICA SUPERFICIAL	
m3 estandar de aire/ kg removido		m3 aire/ m3 agua	Kg aire/ Kg DBOs removido	
DQO	DBOs		DQO	DBOs
65 – 125	50 – 95	3.75 – 7.5	1.5 – 1.8	1.0 – 1.2

Para la operación del clarificador secundario circular se debe vigilar la buena operación de las válvulas o compuertas de control, que en el fondo del tanque no haya escombros o algo que atore el sistema de rastras, que se tenga una buena lubricación del sistema motriz y alineación de la columna y rastras, que la distancia entre los hules de las rastras colectoras de lodo y el piso sean las adecuadas, se debe checar que no haya materiales extraños en las líneas de tuberías ó canales de interconexión entre el aireador y el clarificador. También es importante verificar la correcta instalación de la bomba de succión de lodos (ó línea de descarga de lodo), la nivelación de los vertedores y el mecanismo para la eliminación de espuma.

Una vez que las rastras han sido instaladas cheque la tolerancia del extremo de cada rastra con la pared del tanque (normalmente de 2.5 a 5 cm.). Si la rastra es muy larga, ésta puede chocar contra la pared del tanque y romperse, atorándose el otro brazo. Una vez que se detecte un brazo torcido, debe retirarse de la columna de soporte.

Para el caso de un tanque clarificador secundario rectangular se debe tener los mismos cuidados que se mencionan para el sedimentador primario en cuanto a su sistema ó mecanismo motriz, sumando además el criterio de control de lodo de acuerdo a su comportamiento y aspecto general. El sistema de recirculación de lodos no debe estar obstruido y debe tener la capacidad suficiente

para retornar el flujo de lodo requerido al tanque de aireación, mas un margen de un 20 a 30%, este último con el fin de poder garantizar el suministro de lodo, su purga ó posible reposición en caso extremadamente necesario.

El objetivo de desechar lodo activado es mantener un balance entre los microorganismos y la materia orgánica medida como DBO₅. Es sabido que cuando los microorganismos remueven la DBO₅ del agua residual, la cantidad de lodo activado aumenta (los microorganismos crecen y se multiplican). La velocidad a la que estos microorganismos crecen se llama tasa de crecimiento, y es medida como la cantidad de lodo activado que aumenta en un día. El objetivo de desechar lodo activado es remover justo la cantidad de lodo activado excedente, que se generó en un día. De esta manera se mantiene constante la cantidad de microorganismos en el sistema.

No debe presentarse materia flotante y para un proceso sano el olor debe ser mínimo.

Las bombas de recirculación deben revisarse de no operar con el cárcamo de succión de lodos a bajo nivel y de ser posible verificar que las tuberías de salida de lodo del tanque clarificador secundario no estén bloqueadas. Es necesario que el paro y arranque del equipo accione adecuadamente. Normalmente estas bombas son de las más pequeñas de la planta y por lo consiguiente se les puede llegar a descuidar, por tal razón es importante recordar que se requiere de un equipo para posibles reemplazos y no tener que parar la planta por falta de recirculación de lodos.

La recirculación hace posible que los microorganismos estén en el sistema de tratamiento más tiempo, que el agua que está siendo tratada. El rango de recirculación de lodos activados (RAS) para un proceso convencional de lodos activados es entre 20 a 40% del influente del tanque de aireación. Cuando hay variaciones en la calidad del lodo activado se requiere que haya cambio en el flujo del RAS debido a las características de sedimentación del lodo. En la tabla N° 4, se muestran los valores recomendados de recirculación de lodos para el proceso de lodos activados.

TABLA N° 4

**RANGOS TÍPICOS DE RECIRCULACION DE LODOS ACTIVADOS (RAS),
PARA ALGUNAS VARIACIONES DEL PROCESO.**

TIPO DE PROCESO	PROMEDIO	RANGO
Convencional	30	15 – 75
Modificado ó alta tasa	20	10 – 50
Alimentación en etapas	50	20 – 75
Estabilización por contacto	100	50 – 100
Aireación extendida	100	50 – 200

El flujo de RAS puede controlarse por dos vías: una es la de flujo constante con la ventaja de ser un procedimiento muy simple y que requiere menos operación, la otra es la de flujo con porcentaje constante del influente cuyas ventajas serían la reducción de variaciones de MLSS y el F/M. Los MLSS permanecen poco tiempo en el clarificador secundario, reduciendo la posibilidad de desnitrificación.

La desventaja más significativa del segundo criterio es que el clarificador está sujeto a cargas máximas de sólidos cuando contiene la máxima cantidad de lodo, lo que puede ocasionar un acarreo de sólidos en el influente del clarificador secundario.

En general, parece que la mayoría de las plantas de lodo activado trabajan bien y requieren menos atención cuando se usa el criterio de flujo constante de RAS.

Dentro de los métodos de control de RAS se encuentran el de colchón de lodo, de balance de masa, de sedimentabilidad y de índice volumétrico de lodo.

El método más directo para ajustar el flujo de RAS es el del colchón de lodo en el clarificador secundario. El colchón de lodo debe ser controlado a menos de $\frac{1}{4}$ de la altura efectiva del clarificador.

ficador. Si se observa que el colchón de lodo está aumentando, un aumento en el flujo de RAS puede únicamente resolver el problema por un periodo corto. El aumento en el colchón de lodo puede deberse a que se tiene mucho lodo activado en el sistema de tratamiento, y/o características de sedimentación de lodo pobres. Si la sedimentación del lodo es muy pobre, aumentando el flujo de RAS puede causar aún más problemas debido al aumento de flujo en el clarificador. Si la sedimentación del lodo es muy pobre por abultamiento de lodo, hay que mejorar las condiciones ambientales para los microorganismos. Si hay mucho lodo en el sistema, el exceso tiene que ser desechado.

La altura del lodo debe chequearse diariamente durante el periodo de flujo máximo, ya que de esta manera el clarificador está operando bajo la carga de lodos más alta. Los ajustes del flujo de RAS serán ocasionales si el proceso está trabajando adecuadamente.

El balance de masa es una herramienta de utilidad pero debe considerarse siempre y cuando el colchón de lodo sea constante.

La sedimentabilidad es un proceso muy sencillo y rápido, sólo es necesario tomar una muestra del influente al clarificador secundario y medir el volumen de sólidos sedimentados en 30 minutos y leer la relación del porcentaje de estos sólidos sedimentados con respecto al flujo del influente en m³/día.

Otra manera de calcular el flujo de RAS es usando el índice volumétrico de lodo SVI, para lo cual se combina el balance de masa y el método de sedimentabilidad. Este método se basa en el uso de SVI para estimar la concentración de sólidos suspendidos en el RAS (RAS_{ss}).

Después el valor de RAS_{ss} se usa para calcular el flujo de recirculación de lodo (Q_r).

En realidad el uso de SVI no es para calcular el flujo de RAS, sino que se usa como índice de estabilidad del proceso. No se puede comparar el SVI de una planta a otra, ya que si el valor de SVI puede indicar una buena operación para una planta, para otra puede que no ocurra.

Con el fin de reducir la concentración de microorganismos patógenos a una cantidad tal que

reduzca substancialmente el riesgo de infección al ser humano se propone como tratamiento avanzado a la desinfección.

Para la desinfección se utiliza un tanque de contacto de cloro cuya función es la de conducir el agua clarificada durante un tiempo tal que permita actuar al cloro, que fue aplicado en el mismo tanque, el diseño del tanque con frecuencia es rectangular con mamparas colocadas intercaladamente y en forma transversal a la dirección del flujo hidráulico de tal forma que provoquen un zigzagueo en el flujo y con ello aumentar el tiempo de contacto del cloro con el agua.

Los cuidados en esta sección son mínimos y más que nada estéticos para evitar la adherencia de algas en las paredes del tanque. También es importante vigilar que el tubo de agua clorada esté sumergido a una adecuada profundidad del tanque, se recomienda por lo menos a un 50%. Entre más profundo esté la salida de este tubo se aprovechará mejor el gas cloro. El cloro gas presenta algunas ventajas como desinfectante, algunas de ellas son:

- Toxicidad para los microorganismos con un amplio espectro de actividad a altas diluciones.
- Solubilidad en agua.
- Estabilidad. Su pérdida de acción germicida en almacenamiento es baja.
- Homogeneidad. La solución es uniforme en su composición.
- Rápida penetración a través del agua.
- Habilidad para desodorizar mientras desinfecta.
- Capacidad detergente. Tiene acción limpiadora que mejora su efectividad desinfectante.
- Disponibilidad. Tiene precios razonables y buena disponibilidad, aunque hay una tendencia universal al cambio a otros desinfectantes de manejo más seguro y menor toxicidad.

La operación de los cloradores puede hacerse manual ó automáticamente.

La operación manual consistirá en ajustar el aparato clorador para que inyecte una dosis fija y predeterminada de cloro, la cual se determina en el laboratorio como cloro libre residual. Los nive

les recomendados son de 0.5 a 1.0 mg/L en el agua residual tratada (ART).

Manualmente se corrige la cantidad que se desea aplicar, abriendo o cerrando el rotámetro del clorador, cuando se considere conveniente.

La operación semiautomática siempre es con la ayuda de un analizador en continuo de cloro residual. Permite el uso de alarmas y cartas registradoras que indican en cualquier momento las fallas en la dosificación de gas cloro.

La operación automática con sistema de ajuste de la dosis de acuerdo con el caudal tratado, constituye un método de control de circuito abierto en que las lecturas de presión diferencial registradas por el aparato medidor de flujo son convertidas por un traductor en impulsos eléctricos ó neumáticos que modifican la posición del mecanismo regulador del clorador y aumentan, disminuyen o cierran el flujo del gas en él.

La desinfección sólo puede controlarse de forma perfecta mediante análisis bacteriológicos, sin embargo se deben realizar determinaciones de cloro libre residual así como cloro combinado y cloro total ya sea de manera puntual ó por algún método digital en continuo.

Es indispensable el verificar que no se tengan interferencias en la determinación y de ser posible eliminarlas como por ejemplo la turbiedad, los nemátodos, la temperatura, el pH, el contenido de calcio y fenoles del agua del efluente final.

Los métodos más usados para la determinación de cloro y halógenos libres son el DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina) y OT (Ortotolidina), la cual comienza a ser descartada por ser una sustancia cancerígena (1).

Es de especial cuidado la instalación y manejo de gas cloro, para mayores detalles se recomienda acudir con los fabricantes de los equipos y distribuidores del gas cloro, dado el riesgo en el manejo de este gas.

Siempre es importante contar con equipos de respiración autónoma para manejar emergen-

cias de fuga de gas y de ser posible, podría manejarse otro tipo de microbicida halogenado o no para disminuir el riesgo del uso de este producto. Se pueden manejar alternativas de bromuro de sodio, hipoclorito de sodio y/o calcio, bromo-cloro hidantoínas, ácido tricloroisocianúrico, entre otras alternativas, las cuales puedan ser degradables y menos tóxicas.

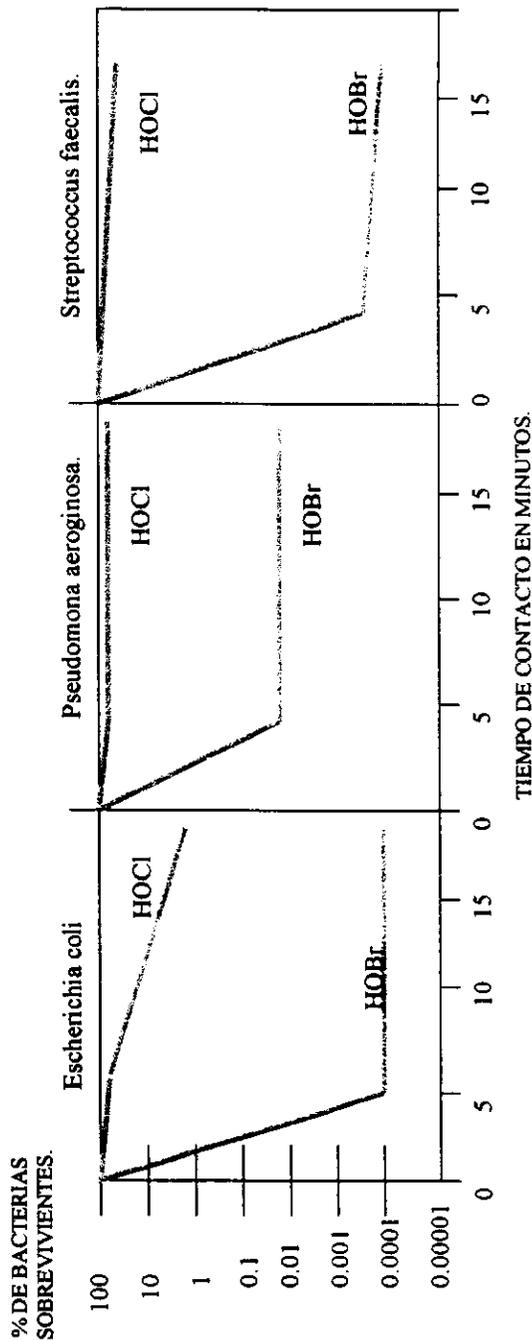
Para ilustrar con más claridad estos conceptos, se muestran en la figura N° 3 los resultados del estudio presentado en la Conferencia Internacional sobre Agua en noviembre de 1987, donde se habla de la eficiencia de bromo y cloro para la desinfección sobre bacterias indicadoras del área sanitaria, encontrando ventajas considerables del bromo sobre el cloro.

FIGURA N° 3

EFICIENCIA DE HALOGENOS.

CINETICA DE EFECTIVIDAD A UNA DOSIS DE 1.9 mg/L COMO Cl₂.
COMPARATIVO DE LA VELOCIDAD DE ACTIVIDAD DEL ACIDO HIPOBROMOSO Y EL ACIDO HIPOCLOROSO.

PROCEEDINGS 48th ANNUAL INTERNATIONAL WATER CONFERENCE, NOVEMBER 1987.



Los siguientes términos son importantes en la evaluación de sistemas de lodos activados:

1.4.1.- Sólidos suspendidos en el licor mezclado (MLSS).

Esta es una medida muy importante y muestra la cantidad de lodo en el tanque de aireación. En las plantas grandes este parámetro se determina varias veces al día y en plantas pequeñas sólo una vez. En la tabla N° 1 se muestran los valores recomendados para el proceso convencional de lodos activados.

1.4.2.- Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (MLVSS).

Este análisis indirectamente muestra la fracción de masa activa biológica de sólidos en el licor mezclado y directamente nos dice la cantidad inerte de sólidos. Debe oscilar entre 70 – 80% de los MLSS.

1.4.3.- Índice de densidad de lodo (SDI).

La velocidad a la que los sólidos del lodo activado sedimentan en el clarificador secundario depende de las características de sedimentabilidad del lodo. Estas características se determinan por una prueba muy sencilla de sedimentabilidad, cuyos resultados pueden ser usados para determinar el SDI. Se toman 1000 ml de muestra del tanque de aireación y se dejan sedimentar en un cilindro de 1000 ml de capacidad y graduado. Se lee el volumen de lodo al final de 30 min. Esta determinación también puede realizarse en un cono de Imhoff (1).

Un buen índice de densidad de lodo es de alrededor de 1.0, por ejemplo un lodo de SDI = 1.5, es denso y sedimenta rápidamente. Un SDI < 1.0, significa que se tiene un lodo ligero el cual sedimenta despacio.

1.4.4.- Índice volumétrico de lodo (SVI).

El índice volumétrico de lodo también se usa para indicar las características de sedimentabilidad de lodo activado. Si el SVI es de 100 ó menor se considera que el lodo tiene buena sedimentabilidad. Entre más bajo sea el SVI el lodo es más denso.

1.4.5.- Relación sustrato / microorganismos (F/M).

Este parámetro es usado para expresar la carga total de materia orgánica en el sistema biológico y es la relación que existe entre Kg de Demanda Bioquímica de Oxígeno al 5º día (DBO₅) que entra al tanque de aireación por día y los Kg de MLVSS en el tanque de aireación y el clarificador secundario. En la tabla N° 1, se muestran los valores recomendados para el proceso convencional de lodos activados.

Una relación de F/M alta, refleja una carga alta en el sistema de lodos activados, y esto indica que se está desechando mucho lodo. Un valor muy alto de F/M (> 0.5) indica normalmente un sistema inestable, aunque hay ocasiones en que una planta de este tipo opera muy bien a F/M mayor de 0.5. Una relación de F/M baja o una concentración normal de MLSS (< 0.1) indica una planta que tiene una carga baja de materia orgánica.

1.4.6.- Tiempo de retención de sólidos (SRT).

Es el tiempo promedio que los sólidos son mantenidos en el proceso.

El rango normal de una planta tipo convencional se encuentra dentro de los 5 a 15 días.

1.4.7.- Determinación de la cantidad de lodo desechado (purga de lodo).

La cantidad de lodo desechado de una planta convencional es normalmente alrededor de 0.5 a 0.6 Kg de lodo por cada Kg de DBO₅ removida. Si se están desechando mayores cantidades de lodo, los MLSS en el tanque de aireación disminuirán y finalmente alcanzarán niveles muy bajos disminuyendo la eficiencia de remoción de materia orgánica de la planta. Si se desechan cantidades pequeñas los MLSS aumentarán a un punto tal que finalmente derramarán por los vertedores del clarificador secundario.

1.4.8.- Tasa de recirculación de lodos (r).

Esta es la relación que guarda el flujo de recirculación de lodos (Q_r) del clarificador secundario al tanque aireador con respecto al flujo del influente general a la planta (Q).

Se recomienda que esta relación esté alrededor de 0.25 a 0.5. Con una buena sedimentación de lodo en la planta, puede reducirse la tasa de recirculación de lodo sin que se presente el problema del transporte de sólidos a través de los vertedores del clarificador secundario. En la tabla N° 1, se muestran los valores recomendados para el proceso convencional de lodos activados.

2.- Antecedentes de Operación para la Prueba en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Aragón en México, D.F.

La grave situación que enfrenta la Ciudad de México para el abastecimiento de agua potable ha dado como resultado que el Gobierno de la ciudad se vea obligado a realizar una serie de programas que propician un mayor aprovechamiento de este recurso natural. En esta estrategia destaca por su importancia, el programa para incrementar el reuso del Agua Residual Tratada (ART) en aquellos usos que no requieren de la calidad potable, con el fin de liberar volúmenes de agua potable.

Con el objetivo de propiciar que la iniciativa privada destine recursos financieros y materiales para la rehabilitación, operación y mantenimiento de la PTAR's durante el plazo de vigencia de su concesión asignada, la Planta de San Juan de Aragón es concesionada desde Diciembre de 1994, bajo los siguientes lineamientos generales:

- **Tiempo de duración de la concesión:** 15 años.
- **Capacidad de tratamiento de la PTAR:** 400 litros por segundo (lps).
- **Proceso de tratamiento:** Tratamiento biológico convencional de lodos activados.
- **Destino del ART:** 50% para uso municipal (riego y llenado de lagos); 50% para la comercialización (usos diversos).
- **Red de distribución:** 60 km de extensión. La operación, mantenimiento y ampliación de la red queda a cargo del Gobierno del Distrito Federal.
- **Tarifas:** Se establece una tarifa para el ART que corresponde al 75% de la tarifa máxima de agua potable para uso doméstico.

- Areas de influencia: Zona norte de la Ciudad de México y el Estado de México.

A su vez, el Gobierno del Distrito Federal proporciona el apoyo necesario para permitir la comercialización del ART, medio a través del cual los concesionarios buscan la rentabilidad de su proyecto promoviendo la utilización del ART y creando de esta manera un nuevo mercado que sea favorable para los usuarios en el Distrito Federal.

Cada una de las diversas PTAR's concesionadas responde a una serie de necesidades y lineamientos particulares. Específicamente la PTAR de San Juan de Aragón tiene, entre otras cosas, una ubicación geográfica estratégica para lograr una expansión del mercado. Esta ubicación permite la incursión en el mercado ubicado en el Municipio de Ecatepec, Estado de México, zona en donde se encuentra una gran concentración industrial.

Las bases del concurso de las diversas concesiones mostraban un mercado en la Ciudad de México que ya era atendido por el Gobierno del Distrito Federal (mercado cautivo) y un mercado potencial.

La PTAR de San Juan de Aragón mostraba un mercado cautivo de 3 lps, muy inferior en comparación a las otras PTAR's, y un mercado potencial cuya demanda era alrededor de los 50 lps, según la información proporcionada en las bases de la licitación pública.

Con base en la información estadística proporcionada por diferentes organismos gubernamentales, el potencial de la demanda de ART en el Municipio de Ecatepec se estimó que podría oscilar entre los 70 a 120 lps. Sin embargo, a pesar que se disponía de varias fuentes de información, hasta mediados de 1996 no se había realizado una investigación de mercado formal que permitiera estimar con bases más sólidas la demanda real.

Un aspecto que apoya el uso de ART es el "Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal" que obliga a ciertos usuarios a usar el ART, tales como lavado de autos, riego

de áreas verdes, limpieza de instalaciones y diversos usos industriales.

La PTAR de San Juan de Aragón atiende a dos segmentos principales del mercado según su canal de distribución:

- a) El mercado atendido por carro tanque y
- b) El mercado atendido por red de distribución

En ambos segmentos se busca que la calidad del producto sea homogénea, manteniendo los parámetros de calidad que corresponden a los principales usos que le dan actualmente al ART.

En la tabla N° 5 se muestran los valores promedio de la operación caracterizada para la PTAR de San Juan de Aragón y su comparativo con las especificaciones que les exige la Norma Oficial para el Distrito Federal (9).

Tabla N° 5

CALIDAD DEL AGUA DE LA PTAR SAN JUAN DE ARAGON Y NORMATIVIDAD VIGENTE SEGÚN SUS USOS.

PARAMETROS	UNIDAD	INFLUENTE	EFLUENTE	NORMA PARA CONTACTO DIRECTO	NORMA PARA RIEGO DE AREAS VERDES
pH		8.5	8.6	6.5 – 8.3	6.0 – 9.0
Sólidos Totales	mg/ L	1552	1244	1200	1200
Sólidos Disueltos Totales	mg/ L	1382	1244	1200	1200
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	12 E07	6 E04	1000	1000
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	31 E06	4 E03	200	200
D.B.O. 5 Total	mg/ L	242	4	20	20
D.Q.O. Total	mg/ L	520	43	45	50
Grasas y Aceites	mg/ L	21	0.25	2.5	
S.A.A.M.	mg/ L	12		3	1

2.1.- Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Aragón.

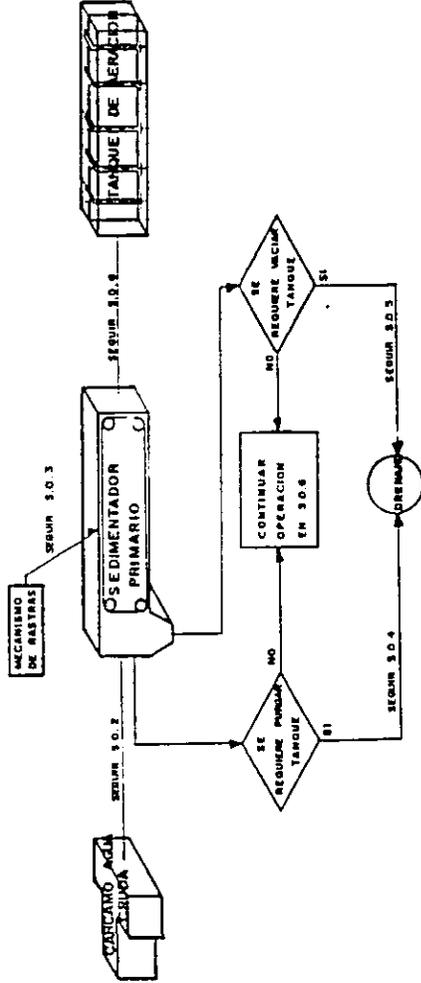
La PTAR de San Juan de Aragón tiene la siguiente estructura de diseño:

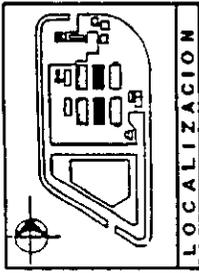
- Un cárcamo de agua cruda como caja repartidora del influente a las líneas,
- Dos líneas de tratamiento como módulo A y módulo B,
- Dos tanques rectangulares de sedimentación primaria en el módulo A y dos en el módulo B,
- Dos tanques rectangulares de aireación por difusión en el módulo A y dos en el módulo B,
- Dos tanques rectangulares de sedimentación secundaria en el módulo A y dos en el módulo B,
- Un cárcamo de recirculación de lodos para ambos módulos y una caja distribuidora de lodos para la entrada al aireador de cada módulo y
- Una cisterna de almacenamiento de agua tratada (ART).

Se anexan cuatro planos de diseño original de la PTAR de San Juan de Aragón correspondientes al sedimentador primario y al tanque aireador, así como la descripción de su operación.

La base de este estudio son los resultados obtenidos de la aplicación del PCSA a la entrada del sedimentador primario A-II.

Además de la estructura mencionada se cuenta con equipos de soplado, bombas de succión y recirculación de lodos, bomba de salida de ART, equipos mecánicos de rastra de fondo, equipo de cloración, etc.



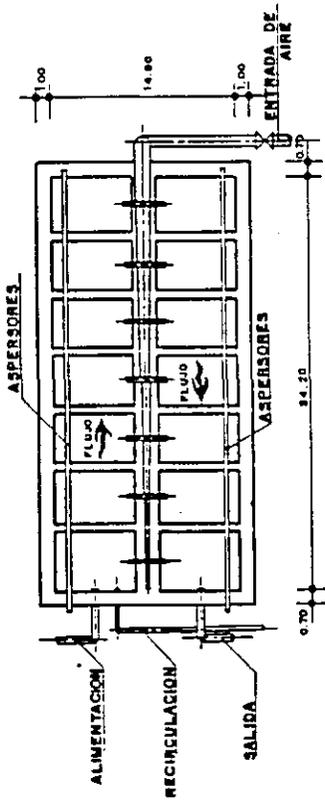


LOCALIZACION

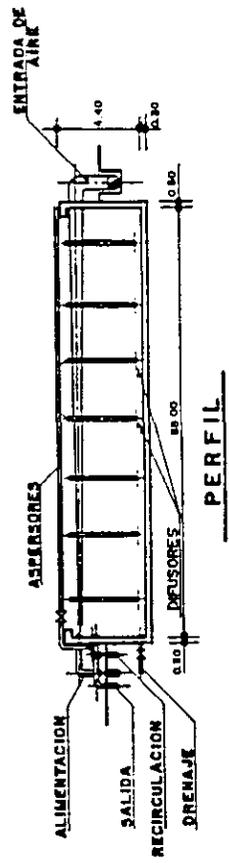
CARACTERISTICAS INDIVIDUALES DE LOS MODULOS

VOLUMEN	8.240
TOTAL DE CARTRAJES	14
TIEMPO DE RETENCION	4.000 s

PARA UN GASTO DE 188 LT./SEG.



PLANTA



PERFIL

D. D. F. D. G. C. O. H.	PLANTA: SR. JUAN DE ARAGON
	TANQUE ARRADOR
	FIG. 3.10
	FECHA:

2.2.- Condiciones de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Aragón, antes de la prueba.

Para el año de 1998 al establecerse el compromiso de realizar pruebas de tratabilidad con coagulantes de alto rendimiento para favorecer las condiciones de operación de esta planta, se tuvieron las siguientes condiciones de operación:

- Tres tanques de sedimentación primaria operando (uno del módulo A y dos del módulo B, de acuerdo al plano de diseño mostrado anteriormente).
- Tres tanques de aireación en uso (uno del módulo A y dos del módulo B).
- Tres tanques de clarificación secundaria operando (uno del módulo A y dos del módulo B).
- Tres bombas de salida, con capacidad total de 450 lps de bombeo en línea operando.
- Ocho motores de ½ HP

(Con un total de 284 HP, consumiendo 5084.7 kw-hr/día).

- Cuatro sopladores operando (tres de 100 HP y uno de 200 HP) y
- Flujo promedio de 140 lps para los primeros quince días de abril de 1998, con los parámetros fisicoquímicos siguientes:

Nota: Se tiene como antecedente al módulo A como el de menor eficiencia y coincidentemente en disponibilidad de equipos para desarrollar la prueba, por esta razón se enuncian sus parámetros así como en el influente general a la planta en este periodo.

Condiciones de operación del módulo A antes de la prueba.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio</i>
Conductividad	micromhos/cm	Influente general	1612	2190	1901
Conductividad	micromhos/cm	Sedimentador primario A-II	1574	1943	1758
DBO ₅	mg de O ₂ /L	Influente general	165	352	258
DBO ₅	mg de O ₂ /L	Sedimentador primario A-II	118	272	195
DQO	mg de O ₂ /L	Influente general	529	1216	872
DQO	mg de O ₂ /L	Sedimentador primario A-II	440	647	543
Flujo promedio	Litros/segundo	Propela	73	209	141
Índice volumétrico		Clarificador secundario A-I	157	474	315
Oxígeno disuelto	mg de O ₂ /L	Tanque aireador A-I	0.1	1.6	0.85
pH		Influente general	7.7	8.19	7.94
pH		Sedimentador primario A-II	7.73	8.29	8.01
Sólidos sedimentables	mg / L	Influente general	1.0	24	12.5
Sólidos sedimentables	mg / L	Sedimentador primario A-II	0.01	1.5	0.75
Sólidos suspendidos totales	mg / L	Influente general	150	500	325
Sólidos suspendidos totales	mg / L	Sedimentador primario A-II	140	310	225
Turbiedad	NTU	Influente general	324	461	392
Turbiedad	NTU	Sedimentador primario A-II	206	294	250

Como se puede apreciar, las condiciones iniciales de operación de la planta **no ofrecen** los parámetros mínimos de cantidad de ART de 400 lbs según el diseño de la planta y las exigencias del mercado de 240 lbs, con la calidad requerida por las Normas, tampoco se cubren.

Después de realizar pruebas de jarra (10) con adición de PCSA para verificar la tratabilidad del agua del influente a la PTAR y ver que existe una posibilidad de mejorar las condiciones de operación de la misma para alcanzar los volúmenes de ART que exige el mercado (120 a 140 lps) más un 50% de este volumen para usos municipales con la calidad que exige la Norma Oficial, así como obtener una operación más sana y efectiva para el lodo activado, se propuso a la empresa concesionada el desarrollar el proyecto de prueba industrial con el uso de un coagulante de alto rendimiento que sea rentable y que ofrezca todas las ventajas, sin afectar el proceso actual.

Dicho coagulante, PCSA es de nueva creación en el mercado de sales químicas para este fin y su funcionamiento se basa en la teoría de remoción de contaminantes por el proceso de precipitación química.

3.- Descripción de un Proceso de Precipitación Química Aplicado al Tratamiento de Clarificación de Agua Residual Municipal.

La necesidad de tratar las agua residuales antes de su descarga a los cauces pluviales ó marinos no surge como tal de manera global hasta principios del siglo XX. La canalización de las aguas residuales comienza en el siglo X con el sistema de acequias del califato de Córdoba en España y en los nueve siglos posteriores los países civilizados se van dotando de este tipo de infraestructuras. Algunas ciudades importantes comienzan a tratar sus efluentes en el siglo XIX, inicialmente con desbastes rudimentarios y más tarde con tratamientos de sedimentación, algunos de los cuales incorporan el uso de coagulante.

La invención de los tratamiento biológicos, bien de lecho fijo o por lodos activados a finales del siglo XIX supone una verdadera revolución en este campo, de manera que durante las primeras décadas de este siglo se extiende la opinión de que es el único método adecuado de tratamiento. El uso de coagulantes persiste en algunas instalaciones, pero el tratamiento se considera "anticuado" frente a la biología, más efectiva en la eliminación de materia orgánica, que en esos momentos es el único proceso que se considera que agota el oxígeno del agua.

Sin embargo, en los años 30's empiezan a detectarse problemas con las aguas tratadas, especialmente en Escandinavia, con su gran profusión de lagos. En efecto, con los tratamientos biológicos se ha eliminado la materia orgánica que agotaba el oxígeno, pero quedan los nutrientes nitrógeno y fósforo que junto con la materia orgánica residual crean organismos como las bacterias y algas en lagos y embalses, es decir, se han cubierto las necesidades primarias de oxígeno, pero se originan otras necesidades de oxígeno en muchos casos superiores a las anteriores. Esto da lugar al fenómeno de la eutroficación, que consiste básicamente en un agotamiento del oxígeno en estos cuerpos de agua.

El agua tiene color, olor y sabor, y su tratamiento para potabilización resulta extraordinariamente

complicado ó prácticamente imposible. Este fenómeno se comienza a detectar posteriormente a nivel mundial. Por ejemplo, a principios de los 80's la mitad de los embalses en España estaban eutrofizados y en México también existe este problema.

El siguiente paso en la depuración es la eliminación de nutrientes.

Para formar los metabolitos, que dan origen a la vida, se necesita una combinación de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo, siendo este último elemento el que interviene en menor proporción. Por tanto, si se consigue eliminar fósforo disminuirá la formación del ATP y se resolverá el problema de la eutroficación.

La manera más fácil de eliminar fósforo es utilizar coagulantes de hierro y aluminio, que precipitan los ortofosfatos en forma de fosfatos insolubles de hierro ó aluminio. A partir de entonces empiezan a desarrollarse en Escandinavia nuevos tipos de coagulantes, con especial énfasis en las sales de metales trivalentes, que son más efectivas y originan menos lodos que las de metales bivalentes que se utilizaban antes. En principio, este tratamiento fisico-químico se realizaba como una etapa posterior al tratamiento biológico, es decir, se hacía una postprecipitación. Este nuevo tratamiento suponía una mayor disponibilidad de terreno y una elevada inversión (5).

El TFQ de precipitación para el tratamiento de aguas residuales municipales fue abandonado por muchas ciudades desde la década de los años 30's debido a su gran producción de lodos.

La inoperancia del proceso biológico en aguas frías así como la necesidad de poder tratar el agua de alta variación en su carga contaminante, ofreciendo la calidad constante esperada, han dado como resultado el desarrollo de técnicas para mitigar el problema de alta producción de lodos todo esto con el uso de dos reactivos. Este desarrollo fue hacia la generación de floculantes sintéticos de alto peso molecular y alta densidad de carga lo cual permitió el uso de menores dosis de coagulante comúnmente inorgánico como sulfato de aluminio, sulfato férrico ó ferroso, alumbre, cloruro férrico ó ferroso, permanganato de sodio ó potasio, cal química, entre otros.

El TFQ de precipitación química dual (con coagulante inorgánico más polímero floculante sintético) se ha catalogado como Tratamiento Primario Avanzado y bajo esta modalidad se ha implementado en varias plantas de alta capacidad, como casos particulares se pueden mencionar las PTAR de Point Loma en San Diego; Hyperion en Los Angeles; Montreal en Canadá; Marseilles y Paris en Francia; así como las plantas de Noruega y Suecia. Actualmente se construyen los principales megaproyectos de PTAR bajo esta tecnología como por ejemplo la planta de Hong Kong (4).

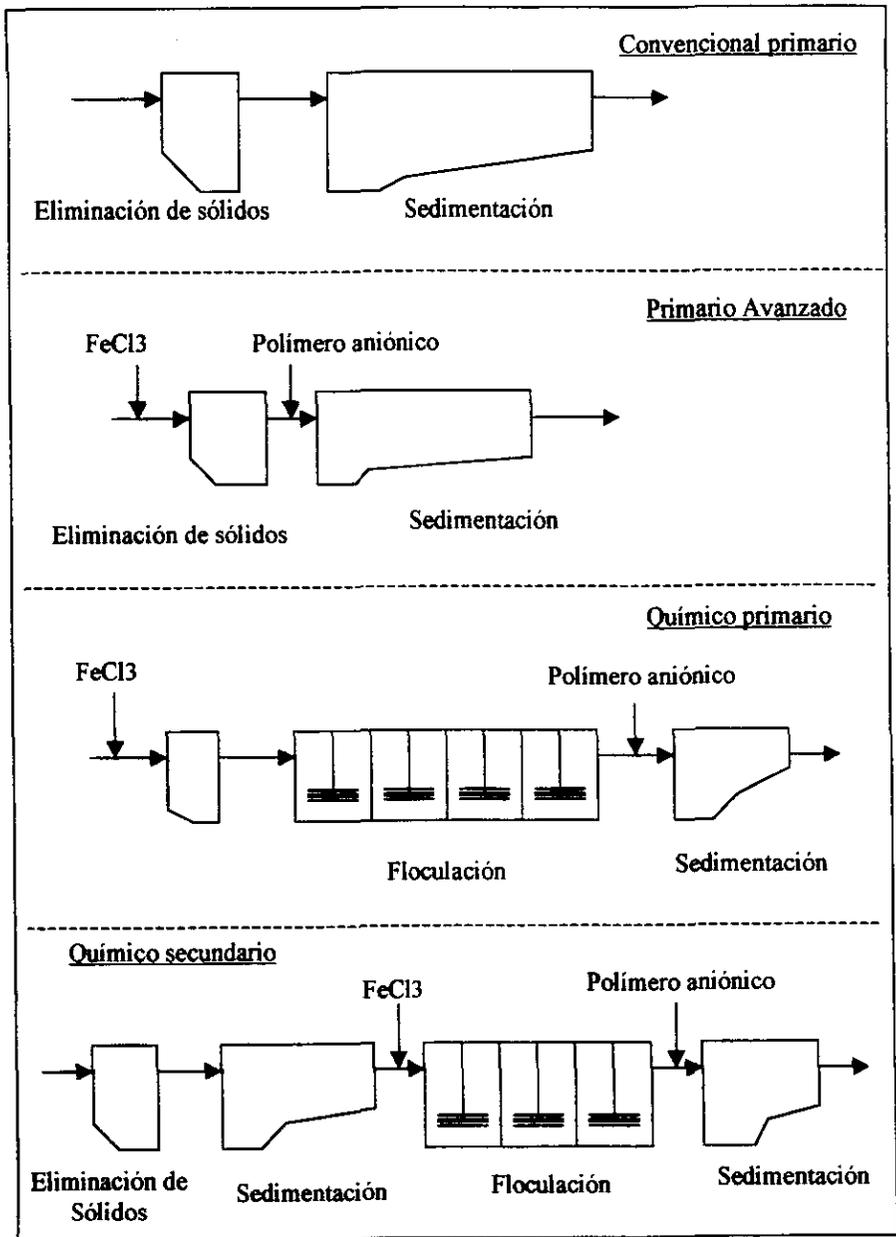
En México esta tecnología se ha usado desde los años 80's en la PTAR de Acapulco, Gro., y se están construyendo algunas plantas nuevas en Ciudad Juárez, Chih., Culiacán, Sin., entre otros proyectos que están en vías de licitación.

El tratamiento de precipitación química (TFQ) se aplica bajo cuatro modalidades:

- Tratamiento primario convencional.
- Tratamiento primario avanzado.
- Tratamiento químico primario.
- Tratamiento químico secundario ó de dos etapas.

Un esquema de configuración de estas modalidades se muestra en la figura N° 4.

Figura N° 4.
Configuración del Tratamiento Físicoquímico de Precipitación en PTAR's.



3.1.- El tratamiento primario convencional.

Consiste básicamente en la sedimentación natural de los sólidos del agua en una instalación simple formada por un tanque de agitación y homogeneización seguido de un sedimentador, en aguas municipales la eficiencia de remoción es de 65% para los sólidos suspendidos, de 30% para la DBO₅ y de 11% para el fósforo.

3.2.- El tratamiento primario avanzado (APT).

Consiste en la adición de reactivos, generalmente cloruro férrico ó sulfato de aluminio líquido en dosis de 10 a 40 mg/ L combinado con pequeñas dosis de 0.1 a 0.2 mg/ L de un polímero aniónico, la unidad de proceso es simple igual que en el caso anterior. Este proceso remueve entre un 80 a 85% de los sólidos suspendidos, un 50 a 55% de DBO₅ y hasta un 31% de Fósforo.

Este es un proceso que se adapta fácilmente a plantas que operan con tanques de poca profundidad.

3.3.- El tratamiento químico primario.

Está compuesto por una unidad de coagulación-floculación previa a la unidad de sedimentación. Se ha usado en Noruega y Suecia para eliminar la mayor parte del fósforo del agua residual con alta eficiencia. En este caso las dosis más altas han sido de 150 mg/ L de cloruro férrico ó sulfato de aluminio líquido como coagulante con 0.2 a 0.5 mg/ L de polielectrolito de alto peso molecular aniónico como floculante con niveles de eficiencia que van por arriba de 90% para Sólidos Totales, 75% para DBO₅ y 95% para Fósforo en agua residual municipal.

3.4.- El tratamiento químico secundario ó en dos fases.

Fue desarrollado en el año de 1980 y consiste en la adición de dos reactivos, coagulante y floculante por separado en dos diferentes etapas del proceso, posterior a la sedimentación primaria. Las dosis de reactivo y volumen son menores que las mencionadas en los casos anteriores.

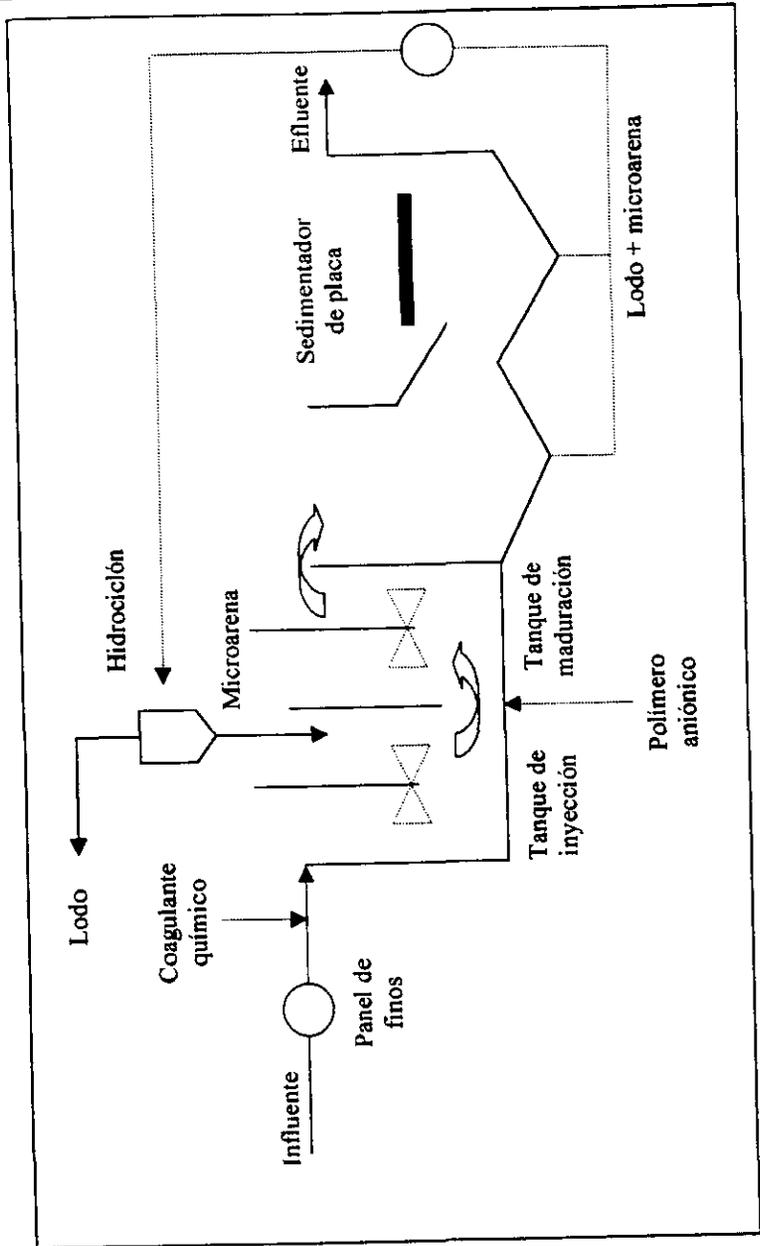
De todos estos procesos el APT tiene la ventaja remover la materia orgánica y nutrientes, en

una proporción tal que el agua tratada retiene parte de estos nutrientes requeridos para las propiedades del suelo, además de mantener un nivel uniforme de eficiencia a las altas variaciones de volumen y flujos de agua a tratar, así como tener capacidad de eliminar metales pesados tales como el plomo, zinc y cobre los cuales son contaminantes de muy alta interferencia para los usos agrícolas bajando los niveles de eficiencia del orden de un 70% (4).

Se han desarrollado nuevos polimeros y nuevos sistemas paquete como planta de tratamiento, inclusive dando origen a la patente de ciertas tecnologías para varias compañías basadas todas ellas en la teoría del APT. Uno de estos equipos de tratamiento incluye una unidad de coagulación y la ayuda de una floculación con el fin de aumentar la tasa de sedimentación con el implemento de un tanque para alta velocidad de sedimentación se muestra en la figura N° 5, la disminución en el espacio requerido y en la cantidad de equipo necesario son los principales factores que están impulsando a esta tecnología en todo el mundo, los costos de operación podrían ser mayores al del proceso convencional de lodos activados, pero el desarrollo de nuevos productos químicos se está enfocando a resolver este problema.

Este sistema APT se ha evaluado ampliamente para el caso para el caso del agua residual municipal de la Ciudad de México. Estudios recientes han demostrado que la dosis óptima para dicho tratamiento oscila entre 50 mg/ L de sulfato de aluminio líquido (4% de aluminio total) combinado con 1.0 mg/ L de un polímero aniónico de alto peso molecular para obtener buenos niveles de eficiencia en la remoción de contaminantes para este tipo de agua. Bajo estas condiciones los niveles de eficiencia para la remoción de sólidos suspendidos totales fue de 94%, incluso para la remoción de huevos de helminto la eficiencia fue de 96% (4).

Figura N° 5.
Diagrama de un proceso piloto de una planta paquete para APT.



3.5.- El tratamiento fisicoquímico con un solo coagulante y sus diferentes variantes.

Evidentemente, hay casos en los que el TFQ no es suficiente para eliminar toda la materia orgánica y las sustancias solubles de riesgo contaminante, en la figura N° 6 se ilustran los elementos y partículas del agua.

Principalmente para el ART de reuso industrial y para la reinyección en lagos naturales ó artificiales es preciso añadir una etapa biológica posterior. Este tratamiento se conoce como **preprecipitación**, y presenta una serie de ventajas que se explicarán más adelante.

Otro tipo de aplicación del TFQ es añadir el coagulante en el tanque de aireación de los lodos activados. Este proceso, llamado coprecipitación ó precipitación simultánea, se utiliza cuando se quiere obtener una reducción óptima de fósforo, y suele ser muy útil para combatir el incremento ó engrosamiento del colchón de los lodos activados (bulking). En la figura N° 7 se ilustran los diferentes tipos de TFQ descritos anteriormente.

Figura N° 6.

Elementos y partículas en el agua.

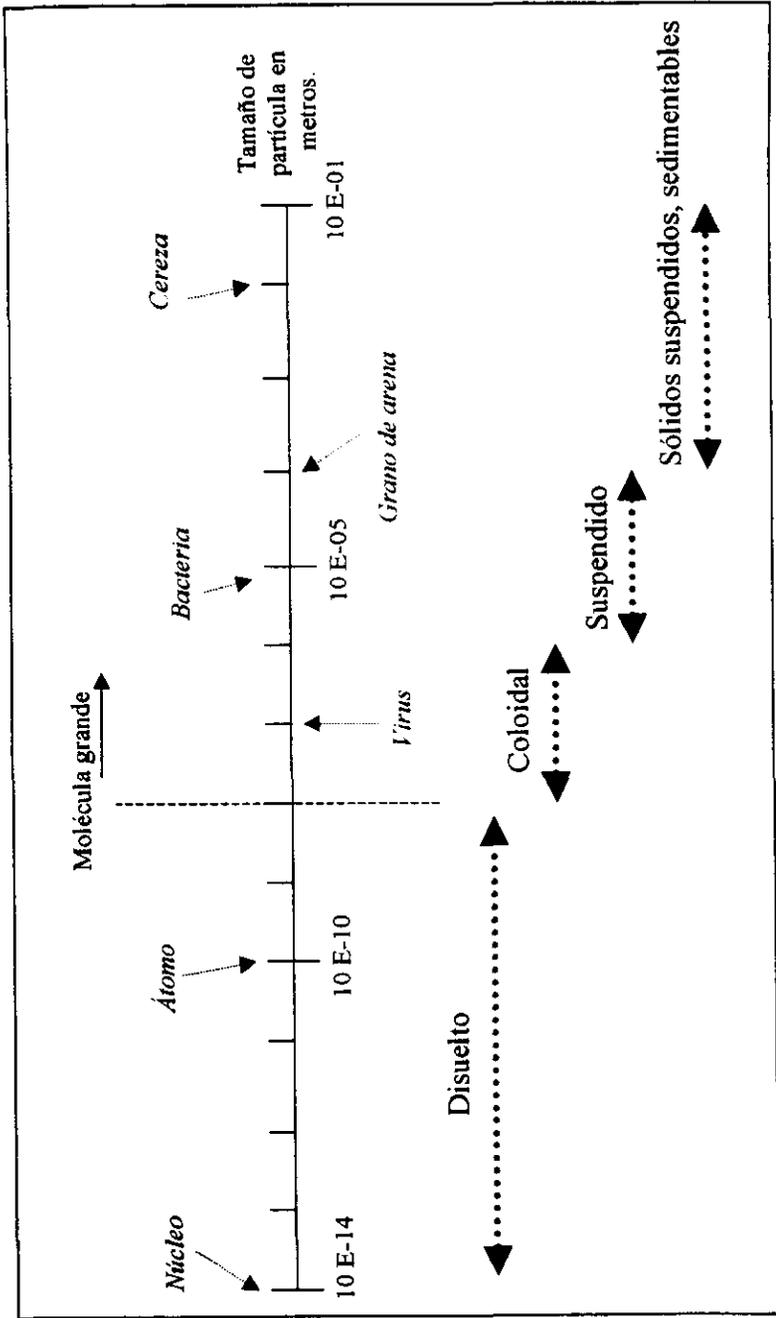
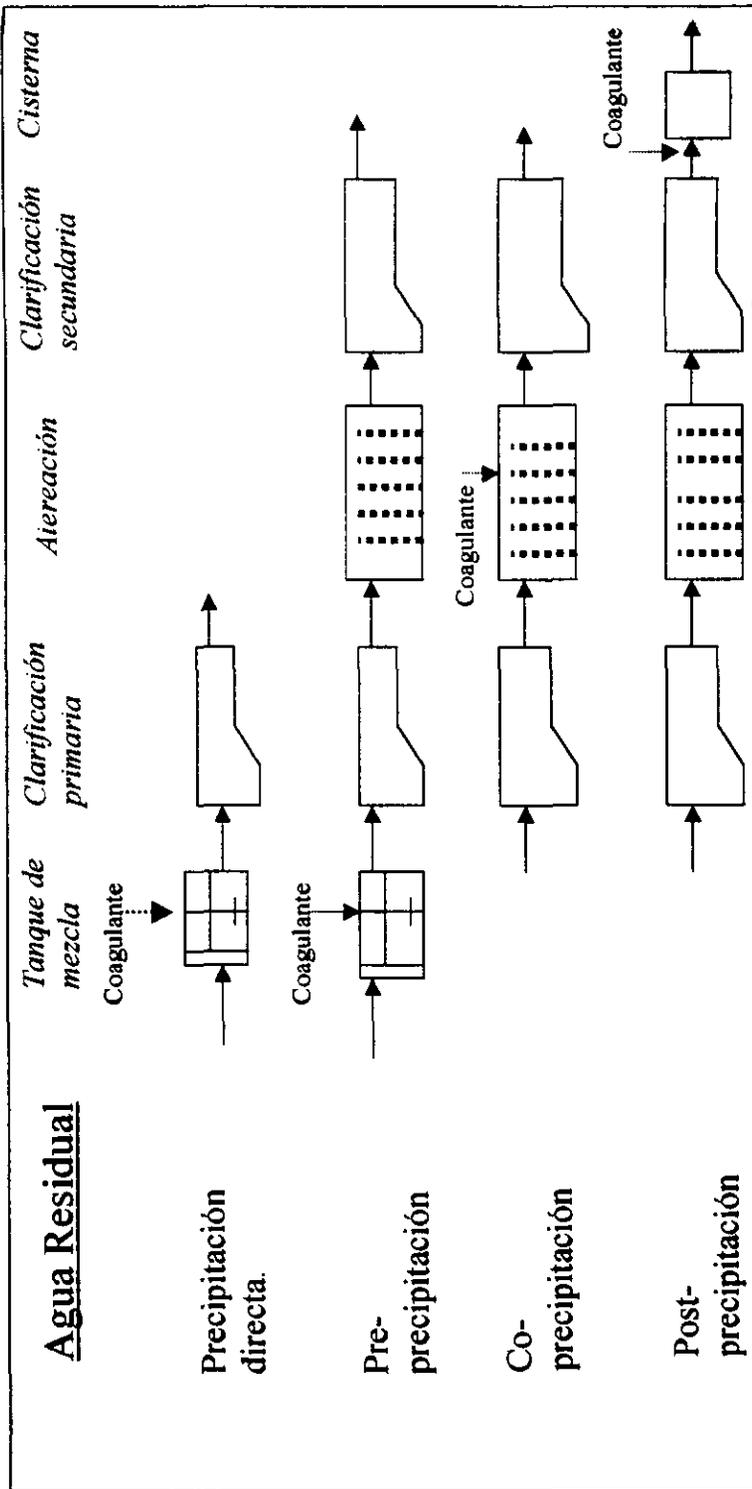


Figura N° 7.

Tratamiento Físicoquímico (TFQ) para el Agua Residual.



En la preprecipitación el coagulante se añade antes de la sedimentación primaria, de manera que se consiguen remociones muy superiores a las obtenidas en una sedimentación convencional como se menciona a continuación (5):

	<u>Sólidos suspendidos</u>	<u>DBO₅</u>	<u>Fósforo</u>
Convencional	60 a 65%	30 a 35%	15 a 20%
Preprecipitación	70 a 90%	60 a 70%	> de 50%

En lo referente a DBO₅, se elimina prácticamente el doble que en un proceso convencional, y además se remueven las partículas y coloides grandes, quedando en el agua solamente la parte disuelta y los coloides más pequeños, por lo que la sustancia que queda es muy fácilmente degradable en un proceso biológico. En consecuencia, el proceso biológico requiere menos de la mitad de energía eléctrica que en el caso convencional para obtener el mismo rendimiento final en DBO₅, o bien puede tratar más del doble del caudal convencional. Por otra parte, la reducción final de fósforo puede superar el 90% con facilidad, mientras que en un proceso convencional apenas alcanza el 50%.

La preprecipitación es también un arma muy poderosa frente a las variaciones bruscas ó graduales en el caudal ó la carga del agua bruta, al poder variar a conveniencia la dosificación de coagulante. De esta manera, el TFQ absorbe las puntas, laminando la carga y actuando como “filtro químico” para el tratamiento biológico, que puede funcionar con mayor estabilidad.

Al disminuir la carga de entrada al tratamiento biológico, la edad del lodo activado aumenta y a su vez disminuye la relación carbono/nitrógeno (DBO/NTK), factores ambos que favorecen la nitrificación necesaria para desnitrificar posteriormente, aunque se realiza por medios biológicos, se ve favorecida por la preprecipitación.

La preprecipitación altera el balance de lodos, produciendo una mayor proporción de lodos en el sedimentador primario y una menor cantidad de lodos biológicos en el clarificador secundario, lo que redundará en una mayor producción de gas de digestión cuando existe una digestión anaerobia.

Si este gas se utiliza para la producción de energía eléctrica, puede obtenerse también por este medio una mejora en los costos de explotación.

Finalmente, los coagulantes proporcionan cationes Fe^{3+} ó Al^{3+} a los lodos, por lo que mejoran su deshidratabilidad, reduciendo el consumo de polímero catiónico para su compactación o requiriendo polímeros de menor densidad de carga catiónica, que son más económicos.

En la mayoría de casos actuales de preprecipitación de aguas residuales se emplean sales férricas, que a lo ya expuesto añaden algunas ventajas, como eliminación del ácido sulfhídrico y los malos olores. Además son muy eficaces para eliminar metales pesados y arsénico, lo que es muy interesante para la Región Lagunera y otras comarcas de México.

Se están desarrollando nuevos productos coagulantes de alto rendimiento como el PCSA, en los países Escandinavos, para sustituir a las sales férricas y de aluminio con más ventajas técnicas y económicas.

A continuación se resumen los beneficios que se han visto con el uso de la preprecipitación en la mayoría de los casos en que se ha usado (5):

- Ahorro de energía en aireación,
- Aumento de la capacidad de tratamiento de la planta,
- Control de olores,
- Variaciones estacionales de caudal y/o carga contaminante,
- Eliminación de nutrientes y
- Estabilización del tratamiento biológico.

3.6.- Fundamento teórico de la precipitación química como TFQ en la clarificación de agua residual.

El TFQ mediante la precipitación química se logra por la desestabilización de las partículas disueltas y suspendidas en el agua, debido a los cambios ocurridos en las cargas eléctricas a nivel de

superficie entre la fase acuosa y las partículas coloidales.

Algunos de estos coloides cuentan con carga iónica y los principales efectos se logran al agruparse iones metálicos de carga opuesta alrededor del coloide, dando como resultado un cambio en la partícula como la carga superficial de la misma que interactúa con el agua. La diferencia de potencial por este cambio químico que se presenta al lado exterior de la partícula con el agua, es de particular interés y es conocido con el nombre de potencial-Z.

Dependiendo de las características y la cantidad de iones activos en el sistema coloidal, este podrá ser de dos formas catiónico (con carga negativa) o aniónico (con carga positiva) y su reducción en el potencial-Z podrá ocasionar que actúe por repulsión.

La coagulación es un efecto ocasionado por la interacción del coloide con cationes trivalentes, bivalentes y monovalentes para los cuales el Al^{3+} es 11 veces mayor en carga que el Ca^{2+} y 730 veces mayor que el Na^{+} . Los iones con la misma carga o valencia tienen diferentes características de floculación como es el caso del Al^{3+} y el Fe^{3+} . Bajo este fundamento se han creado coagulantes con mayor concentración prepolimerizada como el PCSA, que con bajo peso molecular logran tener una mayor densidad de carga (Al^{7+}) a diferencia del catión (Al^{3+}) de la sal mineral como el sulfato de aluminio (3).

Las dosis bajas de estos compuestos hidrolizados pueden neutralizar la carga superficial de las partículas coloidales, logrando con mayor facilidad la aglomeración.

Las partículas hidrofóbicas entran en contacto con otras sustancias en el agua, sin embargo rápidamente comienzan a ser cubiertas con una capa de material hidrofílico, por ejemplo: carbohidratos de cadena larga, proteínas o residuos de detergentes tensoactivos. De esta manera, las partículas hidrofóbicas, también, pueden exhibir un comportamiento hidrofílico en el agua residual.

Invariablemente, para ser removidas pequeñas partículas estables por sedimentación, flotación o métodos similares, es necesario primero, una coagulación entre ellas. La forma estable en

que se encuentran necesita ser destruida, de tal manera que estas se ven atraídas unas con otras y pueden ser unidas formando una gran masa, las fuerzas que les permite permanecer en esta aglomeración son conocidas como fuerzas de van der Waals.

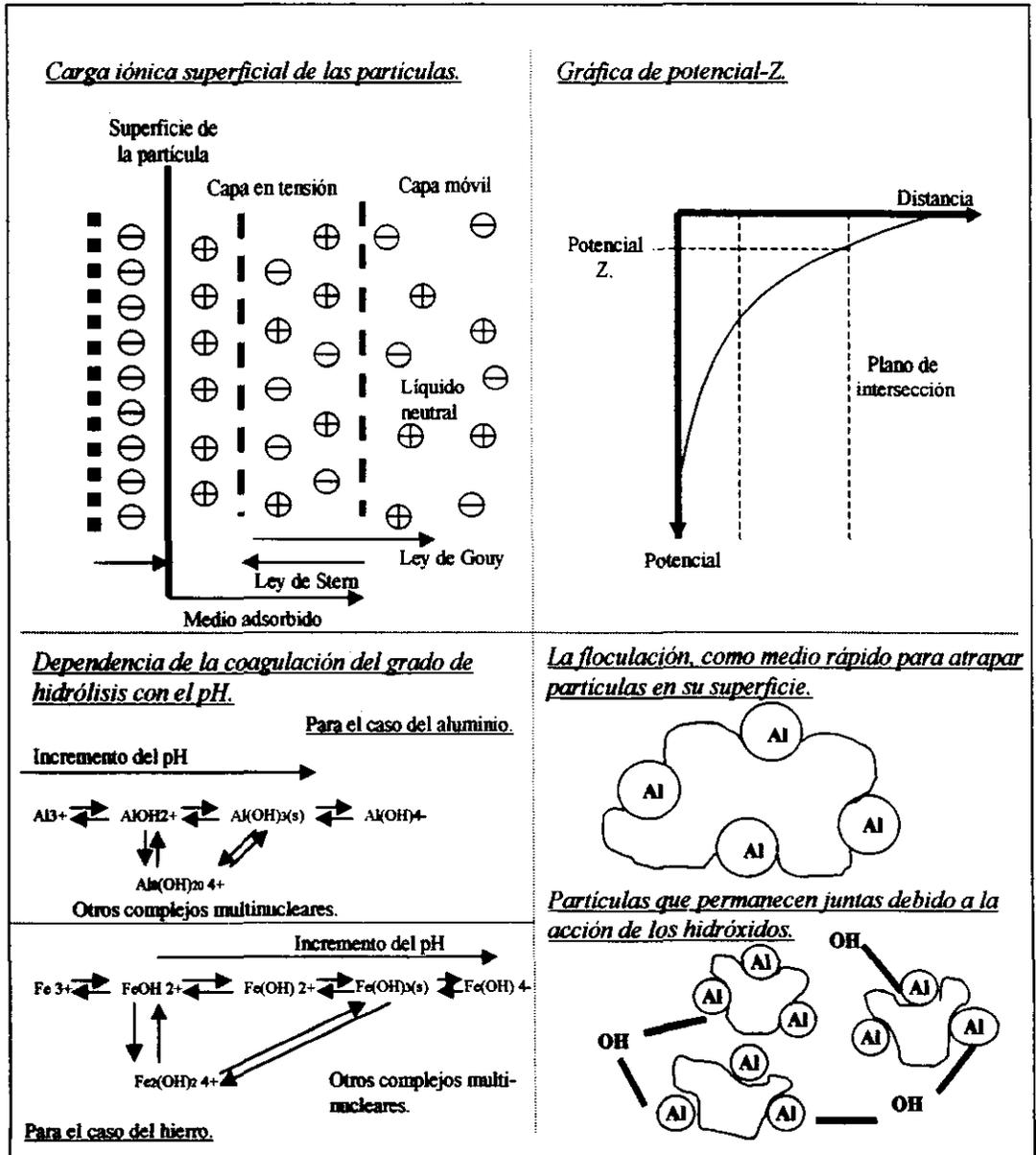
Al adicionar un coagulante, las altas cargas que aporta el ion metálico son adicionadas al sistema coloidal y estas son adsorbidas en la superficie de las partículas. (Siempre y cuando, el ion metálico usado sea capaz de formar complejos de hidróxidos ó compuestos poliméricos al pH normal del agua, sin acidificarla).

Esta reacción ocurre casi de manera instantánea, en menos de 0.1 segundos, comienza la desestabilización, al mismo tiempo que se está adicionando a la mezcla del coagulante químico se van acarreado las partículas, haciendo cada vez más corto el tiempo requerido para el proceso, lo cual significa que este requiere de alta energía.

La superficie de las partículas, cuando ha sido alterada, pierde longitud y por lo tanto solubilidad en el agua y en su lugar estas se combinan con otras partículas a través de la acción de los radicales hidroxilo del metal.

Un esquema de esta teoría se ilustra en la figura N° 8 que se presenta a continuación.

Figura N° 8
 Teoría de la desestabilización coloidal y diferencia de potencial (potencial-Z).



3.7.- Factores que influyen en el proceso de desestabilización.

El proceso de desestabilización para lograr el efecto de coagulación-floculación se ve afectado principalmente por dos factores; uno es el factor químico y otro el efecto del pH (3).

3.7.1.- Factores químicos.

Durante la floculación, el medio floculante comienza a ser atraído a la superficie de las partículas. Si la floculación es efectiva, el medio floculante y los contaminantes, estarán siendo químicamente compatibles. Cierta clase de contaminantes tienen mayor tendencia a reaccionar con los floculantes basados en hierro, mientras que otros prefieren los floculantes a base de aluminio.

La presencia de otros iones, particularmente calcio y magnesio, pueden cambiar radicalmente la afinidad entre el medio floculante y las partículas. Del mismo modo, contaminantes solubles, los cuales forman sustancias complejas, tensoactivas, sustancias húmicas, polisacáridos, biopolímeros, fosfatos, etc., pueden competir con el floculante y reducir su actividad (3).

3.7.2.- El efecto del pH.

El pH del agua afecta al proceso de floculación de dos maneras.

Primero, la solubilidad en agua de las moléculas que hace que durante el proceso de tratamiento químico se dificulte la precipitación del material líquido. La solubilidad, que depende fuertemente del pH, es también uno de los factores que mantiene las partículas en suspensión. Existen compuestos que pueden ser aglomerados espontáneamente en agua por ajuste del pH hasta alcanzar el punto isoeléctrico, sin embargo, el agua residual considerada de composición más complicada, puede no presentar punto isoeléctrico.

El desarrollo de nuevos coagulantes-floculantes está muy enfocado a enfrentar el problema de variación del pH, incluso con posibilidades de lograr un efecto de bufferización con el fin de disminuir la solubilidad de los contaminantes a pH neutro. Cuando las sales de hierro ó aluminio son adicionadas al agua residual, un largo número de diferentes complejos multinucleares base hidroxilos

se ven formados.

Siendo el aluminio el metal que compone el PCSA motivo de este estudio, cabe señalar que para el aluminio, la forma de ion Al^{3+} es la que predomina a pH menor de 4, dándole alta solubilidad al metal.

Para el rango de pH entre 4 a 6, un largo número de complejos multi-nucleares existen, tales como $Al_3(OH)_4^{5+}$. El hidróxido de aluminio es el que predomina en los rangos de pH entre 6 a 8 y el aluminato, $Al(OH)_4^-$, predomina para los pH mayores a 8.

Para las formas hidrolizadas que existen del ion a base de hierro, corresponden otros rangos de valores de pH.

En el interés de una buena formación del floc, el pH deberá ser controlado para que las partículas de carga negativa sean neutralizadas por los complejos multi-nucleares del hidróxido, que logran la desestabilización (coagulación) y son quienes encierran la facilidad ó dificultad para lograr la precipitación (floculación) ó solubilidad del hidróxido de aluminio formado en el agua (3).

4.- Propuesta de Preprecipitación como Complemento del Proceso Biológico de Lodos Activados.

Como se mencionó en el capítulo anterior el proceso de preprecipitación es capaz de proveer una remoción importante de la carga contaminante en la sedimentación primaria, paso anterior a la aireación de los lodos activados. Posteriormente se eliminará aquella materia orgánica soluble, de menor peso molecular y donde el proceso biológico hará labores de pulimento, dando por resultado un efluente de alta calidad, cumpliendo especificaciones más estrictas para la residualidad de compuestos como el nitrógeno, fósforo y sulfuros, que son indeseables en aguas de reuso industrial y municipal.

La calidad del proceso descrita en el capítulo referente a los antecedentes de operación de la PTAR de San Juan de Aragón muestra valores de baja eficiencia reportada en valores promedio de remoción de contaminantes y bajo flujo de ART de los resultados de operación para la primer quincena del mes de abril de 1998, el uso de un coagulante-floculante basándose en PCSA, el cual se propone como una alternativa química de aluminio prepolimerizado (polímero inorgánico), como complemento al proceso biológico de lodos activados ya existente.

El PCSA deberá ofrecer mayores ventajas que el sulfato de aluminio líquido y en polvo, el cual ya había sido evaluado en esta planta en años anteriores. Del mismo modo deberá ofrecer mayores ventajas que el cloruro férrico y sulfato férrico, los cuales también ya han sido evaluados sin ofrecer mejoría para la operación de la planta y cuyos resultados en todos estos casos no fueron satisfactorios, por afectar el pH del agua, requerir altas cantidades para una buena clarificación y la baja densidad del coágulo formado.

Cabe aclarar que el TFQ en cualquiera de sus versiones de precipitación química directa, primario avanzado, químico primario y químico secundario, tampoco son consideradas como alternativas viables debido al uso de polímeros sintéticos orgánicos de alto peso molecular, que se ha vis

to, alteran la salud del lodo activado provocando anaerobiosis y propiciando la formación de sulfuros inhibidores de los microorganismos aerobios.

La propuesta concreta para optimizar la operación de la PTAR de San Juan de Aragón está en función de:

- Optimización del consumo de energía (de ser posible lograr una reducción).
- Reducir la relación de consumo de energía en Kw/ hr/ Kg de DBO₅ a remover.
- Aumentar el flujo de agua tratada de 100-150 hasta 180-250 lps.
- Controlar los sólidos coloidales y suspendidos en el sedimentador primario con el uso de PCSA.
- Obtener la misma calidad que actualmente se tiene en el efluente y mantenerla constante.
- En términos generales aumentar la eficiencia de la planta en un 30% promedio.

Partiendo de los valores promedio reportados en los resultados de operación de los sedimentadores primarios de la planta para esta primera quincena de abril, se ven las siguientes necesidades:

- a) No aumentar la conductividad más de un 5% , de ser posible disminuirla.
- b) Aumentar la remoción de la DBO₅ de 24 a 35 % como mínimo a la salida del sedimentador primario, para alcanzar una remoción total apróx. de 60 a 70% en el ART.
- c) Aumentar la remoción de la DQO de 37 a 50% en la salida del sedimentador primario.
- d) Aumentar el flujo promedio de ART de 140 a 180 lps como mínimo.
- e) Disminuir el SVI de lodos de 300 a menos de 100.
- f) Alcanzar una concentración de oxígeno disuelto de 1.0 mg/ L en el tanque aireador.
- g) Mantener el pH lo más cercano a 7.0
- h) Mantener la remoción de sólidos sedimentables por arriba del 95%, no mayor de 1.0 ml/ L.
- i) Aumentar la remoción de sólidos suspendidos totales de un 30 a un 40% en el sedimentador primario como mínimo y de 70 a 90% en el ART.

- j) Disminuir la turbiedad en el sedimentador primario de 36 a 48% como mínimo y menor a 20 NTU para el ART.

Este proceso de preprecipitación química con PCSA no deberá alterar el buen funcionamiento de los lodos activados, aportará mejores condiciones de operación al mismo para poder llegar a tratar el flujo de influente propuesto y por ningún motivo la planta podrá convertirse en planta de proceso primario avanzado, deberá seguir utilizando el proceso biológico y para ello no presentará afectación alguna a los lodos activados aerobios. Solamente se acepta como un complemento del proceso, no sustituto del mismo.

La infraestructura de la planta no será modificada para este nuevo proceso, sólo se podrán adaptar algunos accesorios, como por ejemplo; algún tanque para disolución el PCSA, agitadores mecánicos, equipo neumático para bombeo de la solución de PCSA, mangueras y válvulas para su aplicación a la entrada del tanque sedimentador primario. Los parámetros de medición de la calidad del proceso se determinarán mediante análisis químicos en el laboratorio de la planta a cargo del personal técnico de la compañía Operadora de Ecosistemas, S.A. de C.V.

5.- Resultados de Operación de la Planta durante la Prueba.

Los resultados de operación de la planta usando la preprecipitación con el reactivo PCSA como coagulante-floculante en la entrada al sedimentador primario, corresponden a los valores reportados por el laboratorio al tomar una muestra al día durante la segunda quincena de abril de 1998, es decir del día 15 al 30.

Dichos resultados se presentan en gráficas para cada parámetro y en un cuadro resumen, mencionando los valores máximo, mínimo y promedio para este periodo.

La aplicación del PCSA se prolongó durante la siguiente quincena, es decir del día 1° al 15 de mayo de 1998, pero estos valores no se consideran dentro del análisis de resultados debido a que se presentaron fallas mecánicas en la operación de los equipos de eliminación de lodos de los tanques del sedimentador primario y secundario, como rompimiento de cadenas de rastras y catarinas del mecanismo motriz, lo cual afectó directamente al proceso y a los valores de análisis.

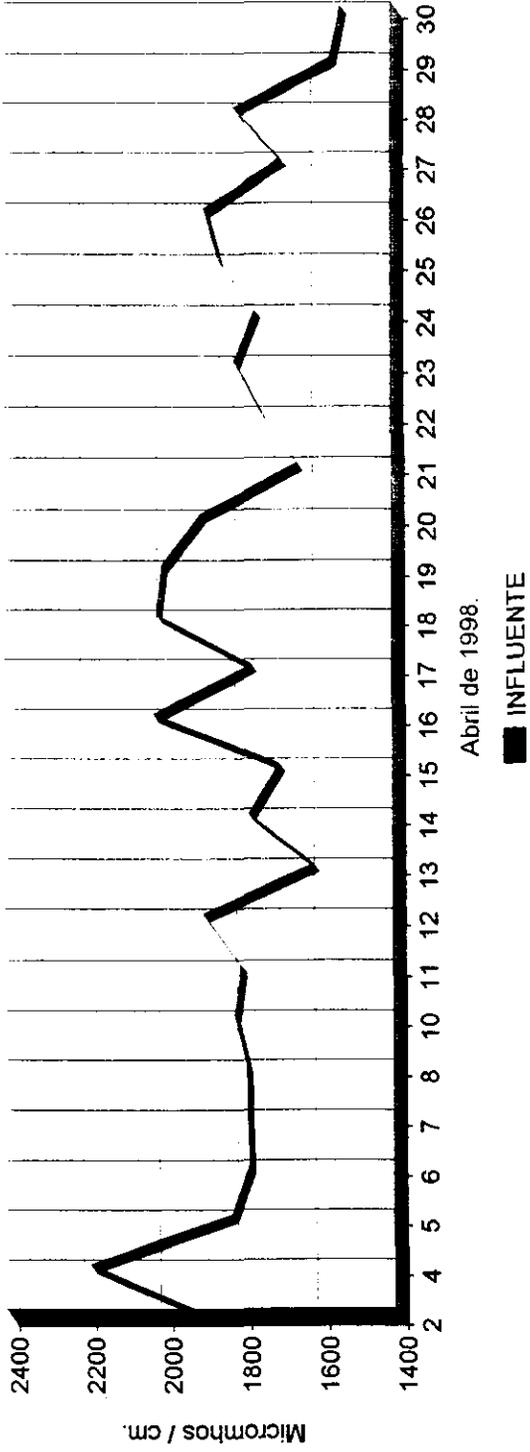
Cuadro de resultados al aplicar el PCSA en la PTAR de San Juan de Aragón

(operación de prueba industrial del 15 al 30 de abril de 1998)

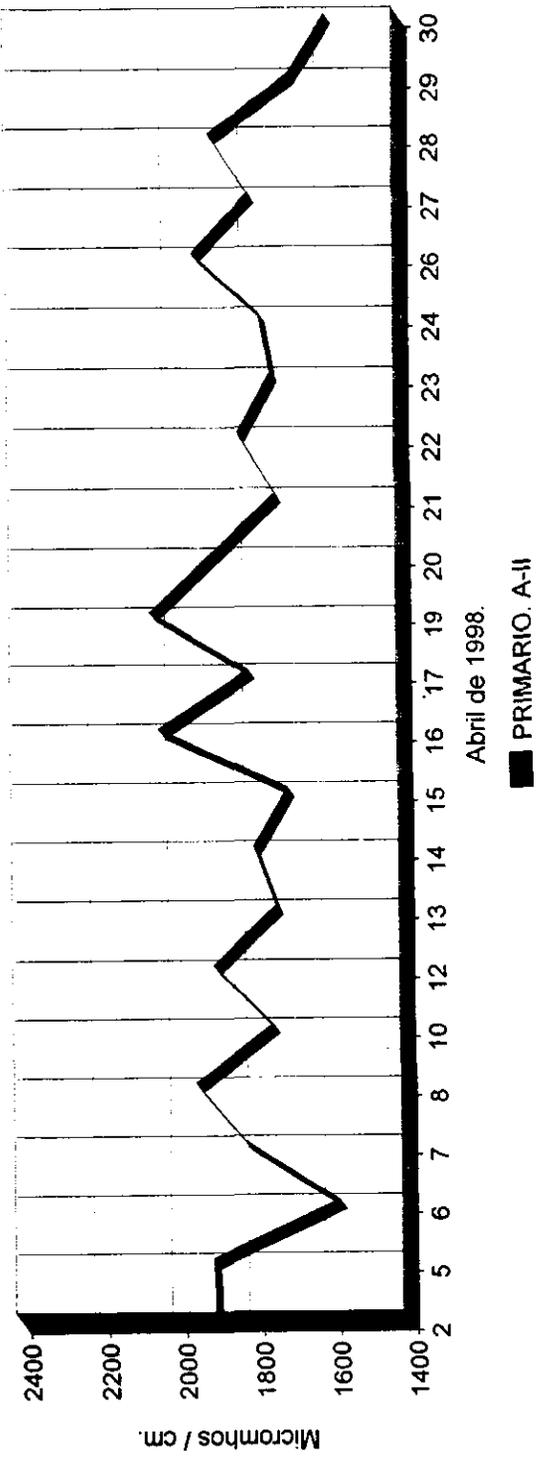
<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio</i>
Conductividad Eléctrica.	micromhos/cm	Influyente	1537	2010	1773
Conductividad Eléctrica.	micromhos/cm	Sedimentador Primario A-II	1586	2050	1818
D.B.O. 5	mg de O ₂ / L	Influyente	183	513	348
D.B.O. 5	mg de O ₂ / L	Sedimentador Primario A-II	117	215	166
D.Q.O.	mg de O ₂ / L	Influyente	485	1340	912
D.Q.O.	mg de O ₂ / L	Sedimentador Primario A-II	238	500	369
Flujo Promedio.	lps	Propela	152	219	185
Índice Volumétrico.		Clarificador Secundario A-I	160	437	298
Oxígeno Disuelto.	mg de O ₂ / L	Tanque Aireador A-I	0.4	1.9	1.1
pH		Influyente	7.0	8.13	7.56
pH		Sedimentador Primario A-II	7.89	8.21	8.05
Sólidos Sedimentables.	ml / L	Influyente	0.2	60	30.1
Sólidos Sedimentables.	ml / L	Sedimentador Primario A-II	0	3	1.5
Sólidos Suspendedos Totales.	mg / L	Influyente	180	980	580
Sólidos Suspendedos Totales.	mg / L	Sedimentador Primario A-II	70	250	160
Turbiedad.	NTU	Influyente	162	540	351
Turbiedad.	NTU	Sedimentador Primario A-II	121	320	220

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

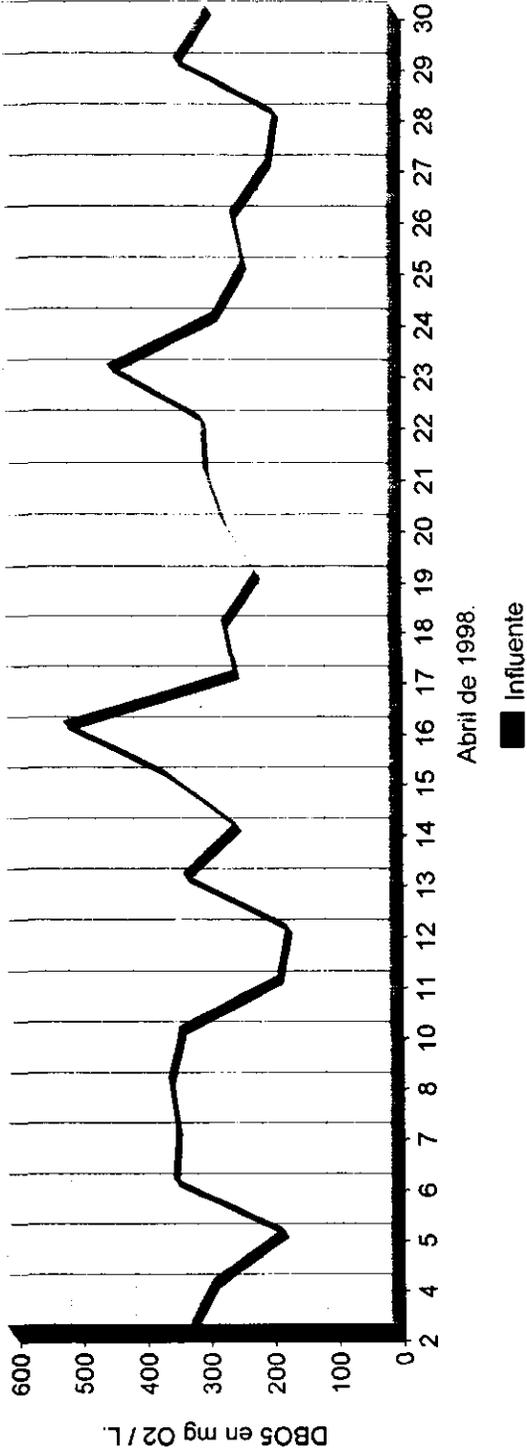
(Medido al influente general)



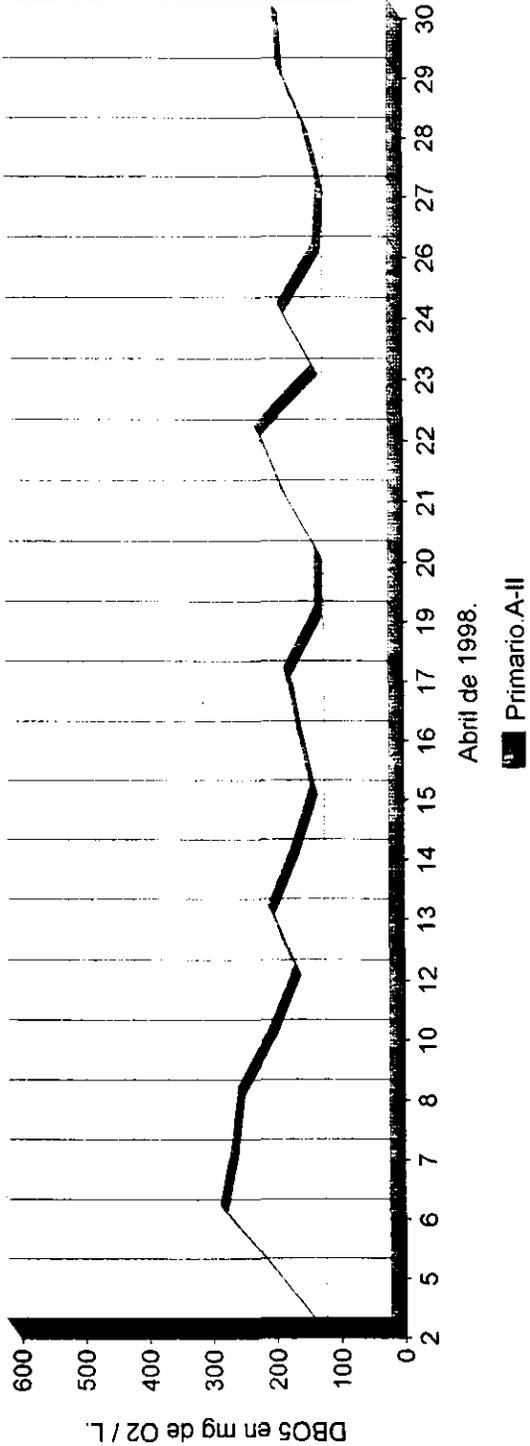
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. (Clarificador Primario A-II)



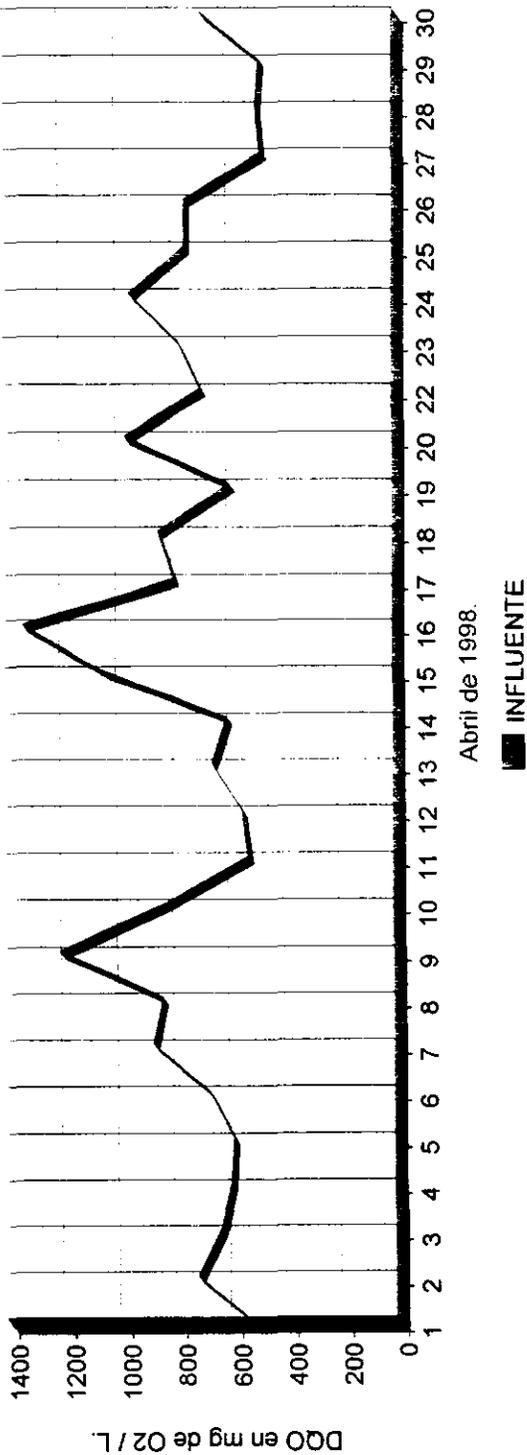
Demanda Bioquímica de Oxígeno. (Influente general a la planta)



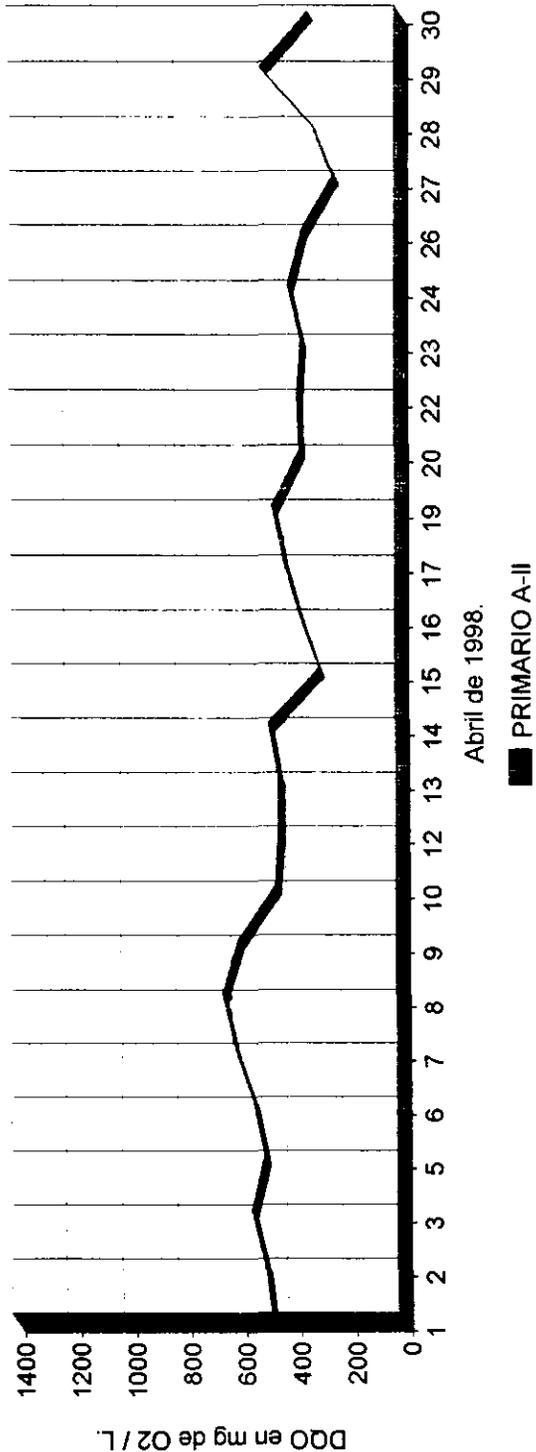
Demanda Bioquímica de Oxígeno. (Clarificador Primario A-II)



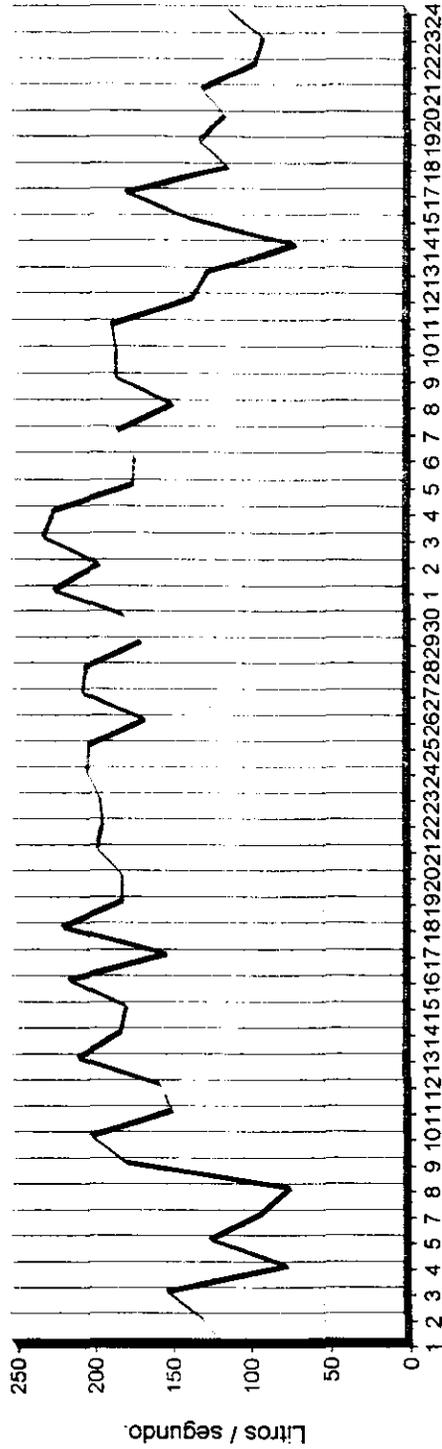
Demanda Química de Oxígeno (DQO). (Influente general a la planta)



Demanda Química de Oxígeno (DQO). (Clarificador Primario A-II).



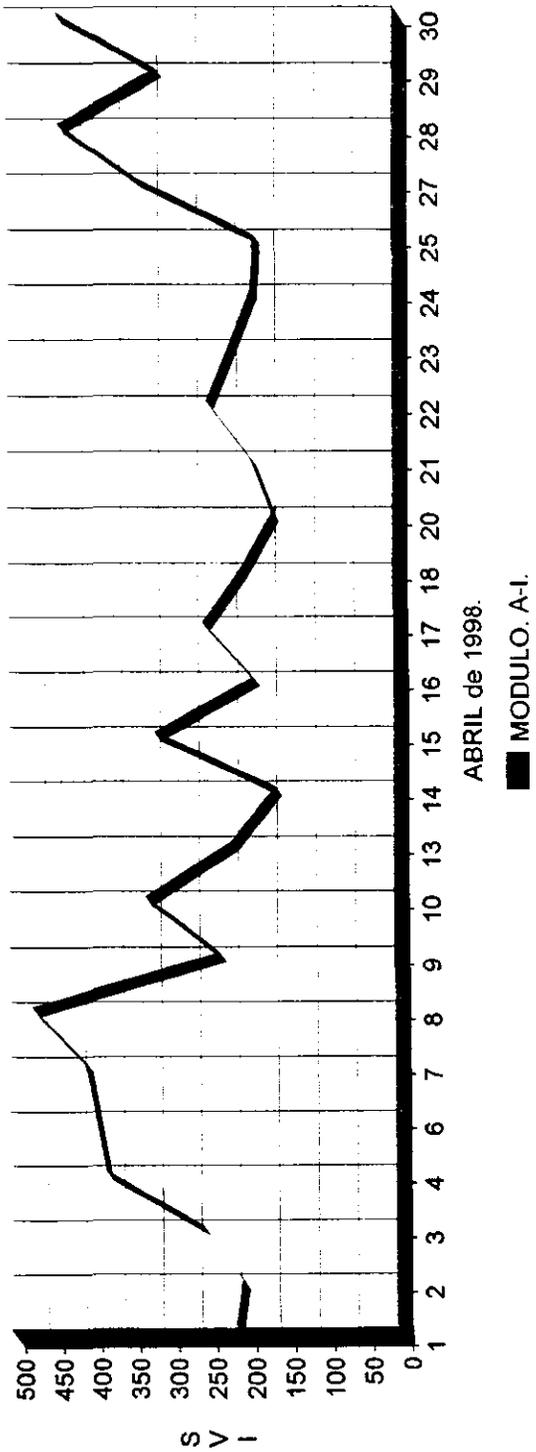
FLUJO PROMEDIO
(Flujo medido en propela)



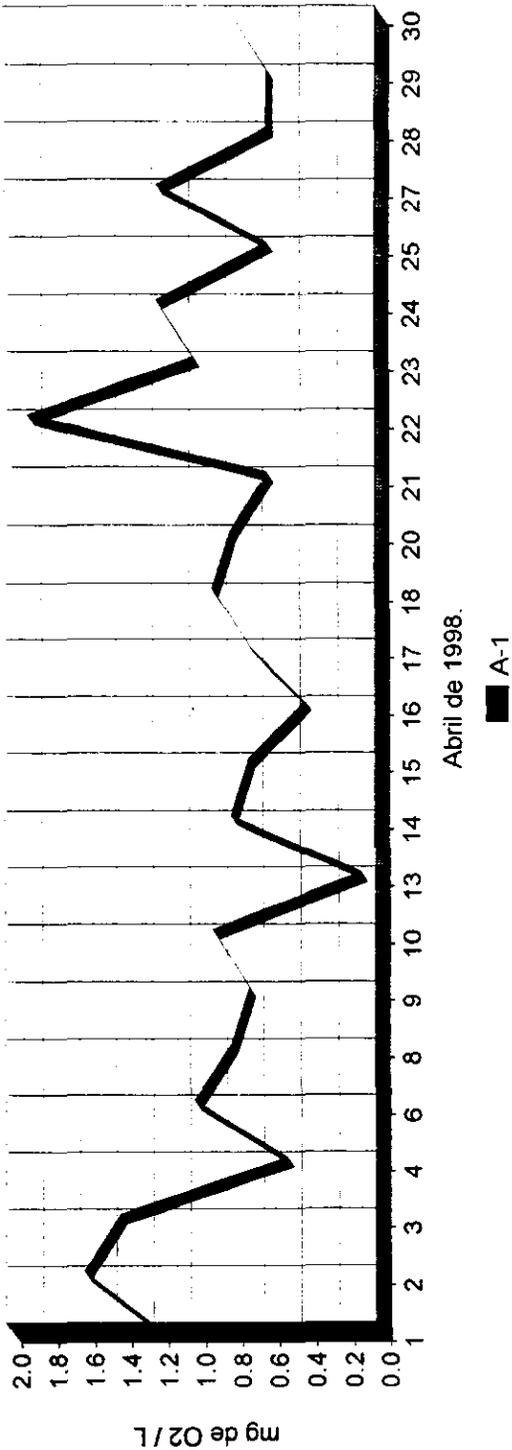
de Abril a Mayo de 1998.

prop.

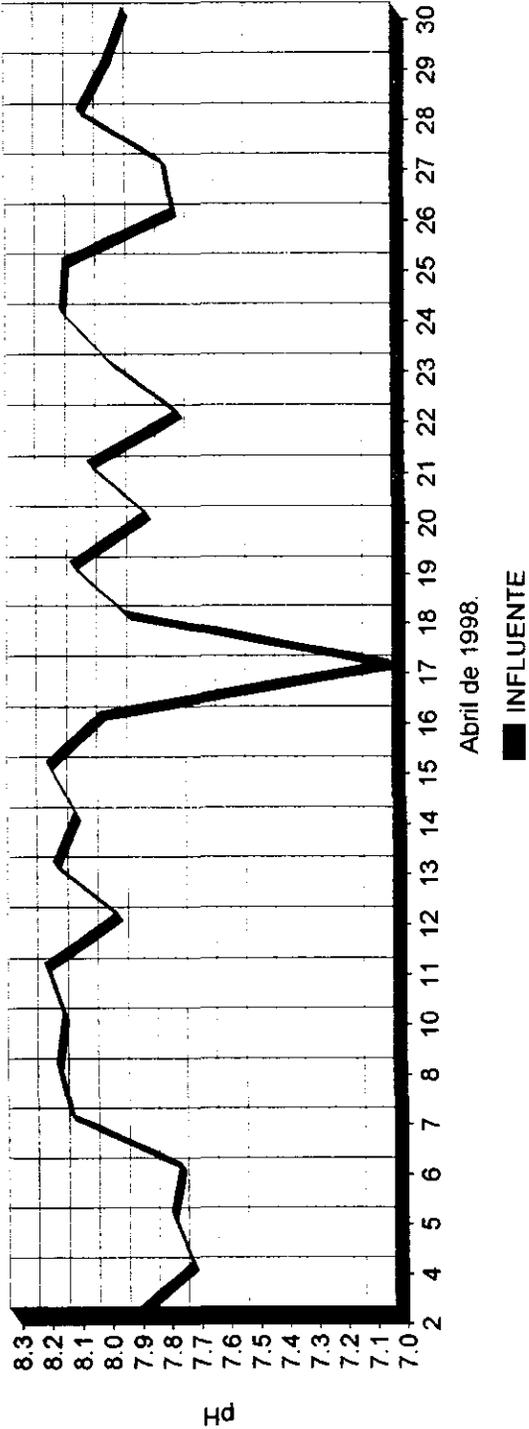
**INDICE VOLUMETRICO (SVI).
CLARIFICADOR SECUNDARIO. A-I.**



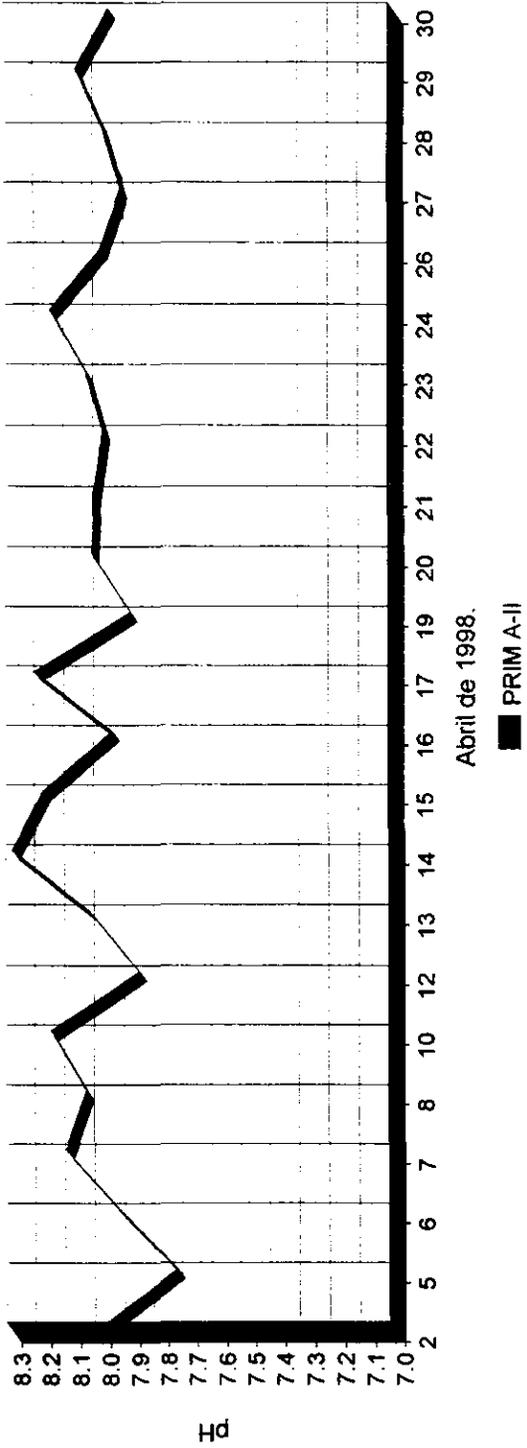
**OXIGENO DISUELTO.
MODULO A-1.**



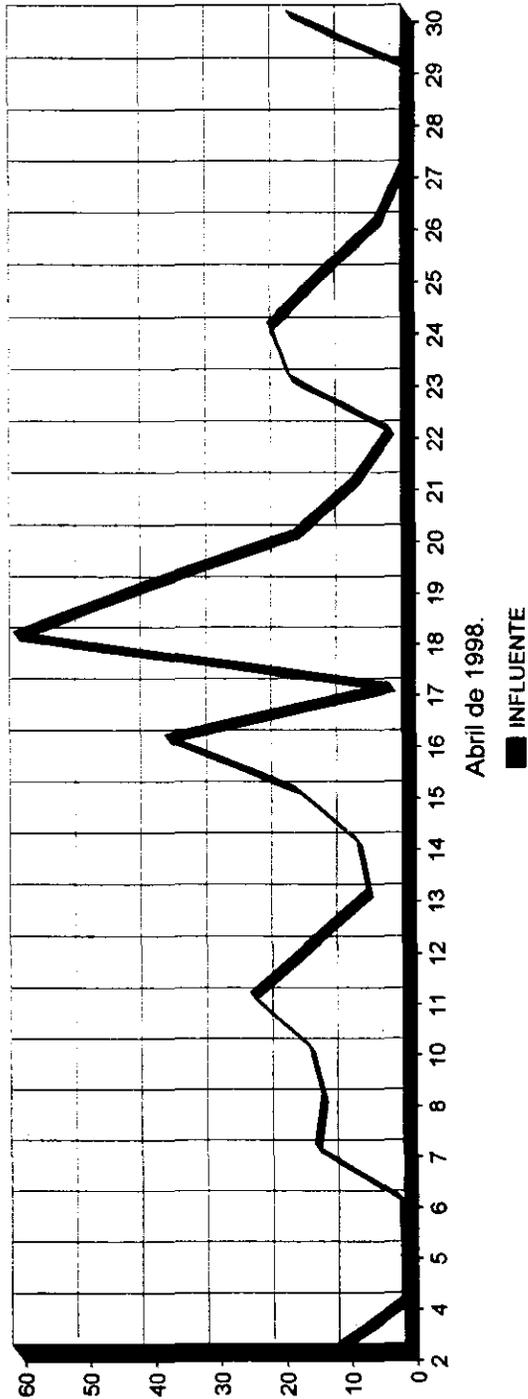
Gráfica de pH.
(Medido en agua de influente)



Gráfica de pH.
(Medido Clarificador Primario A-II)



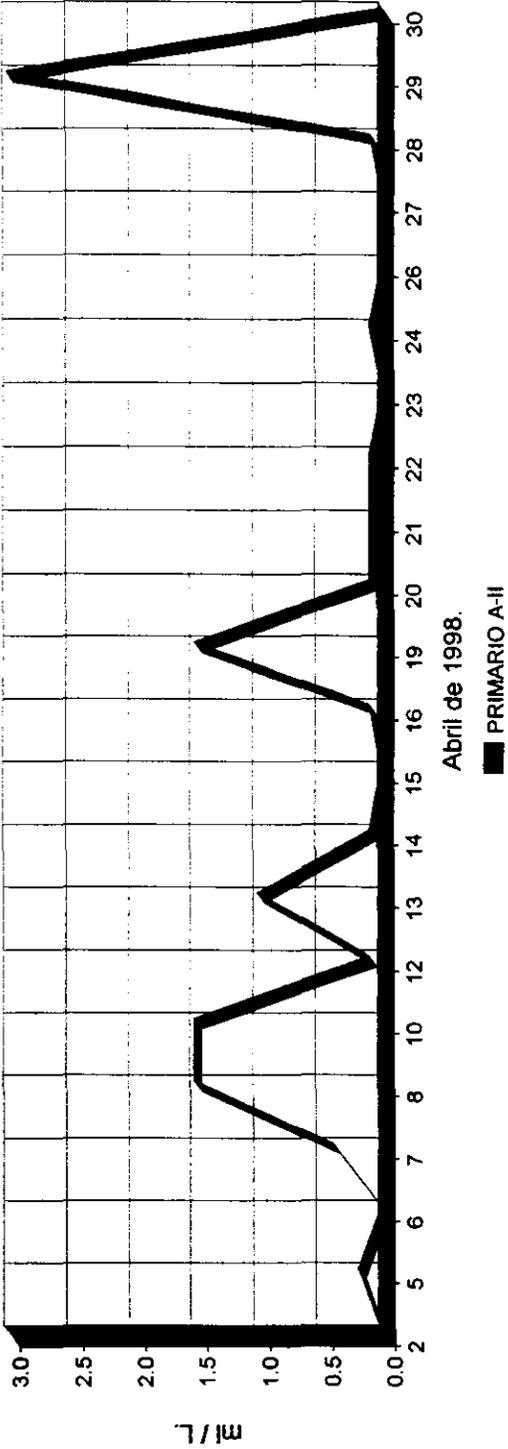
Sólidos Sedimentables.
(Influente general a la planta)



m/L

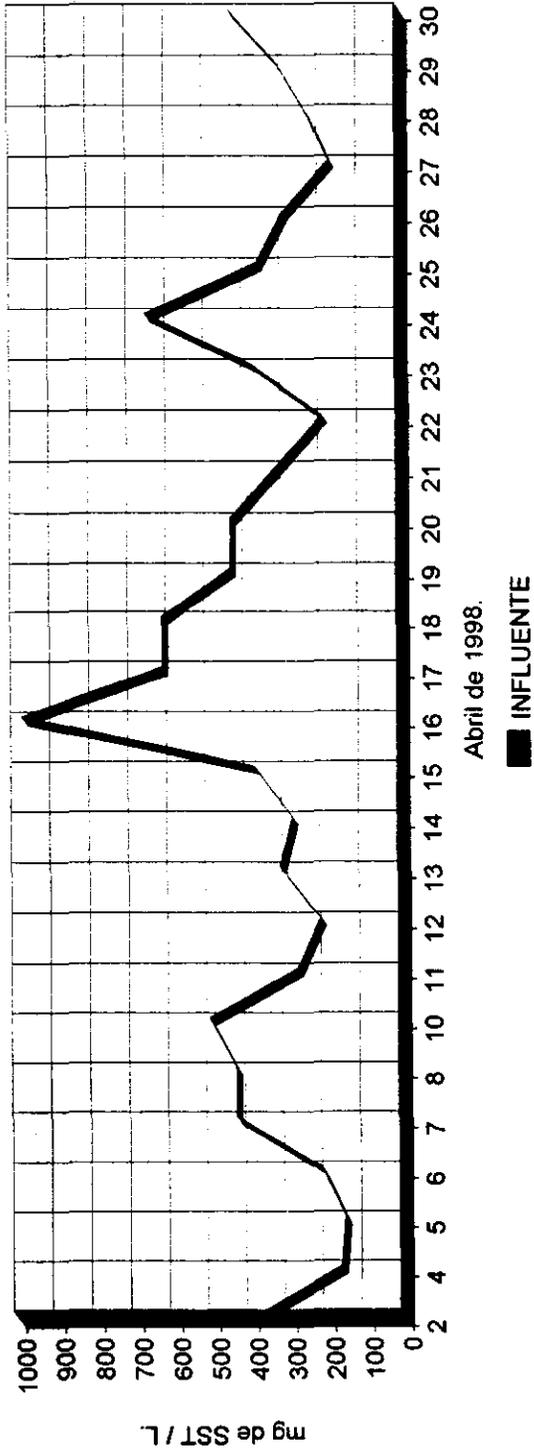
**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Sólidos Sedimentables. (Clarificador Primario A-II)

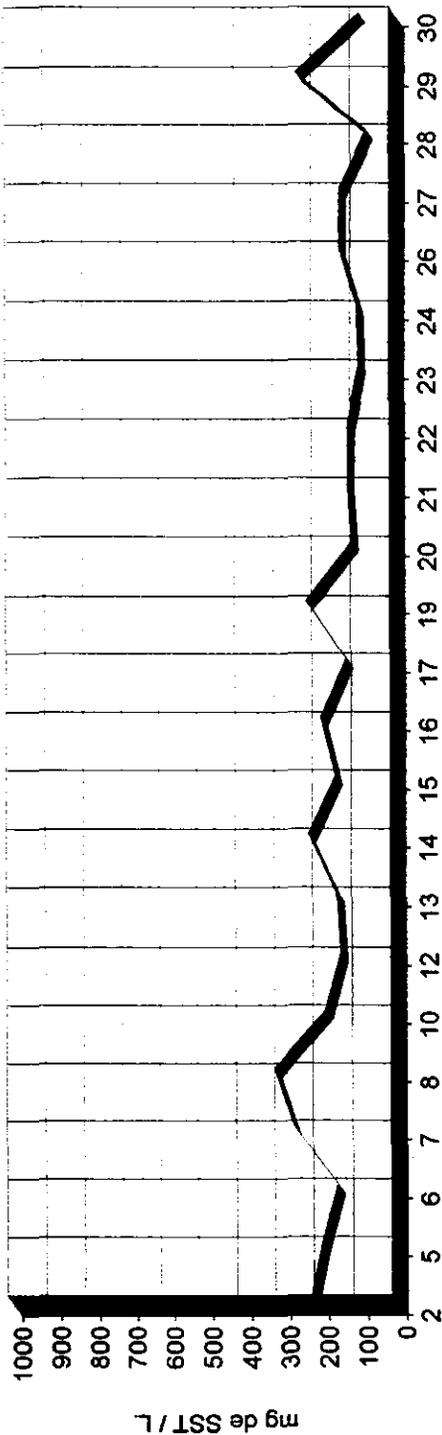


Sólidos Suspendedos Totales (SST).

(Influente general a la planta)



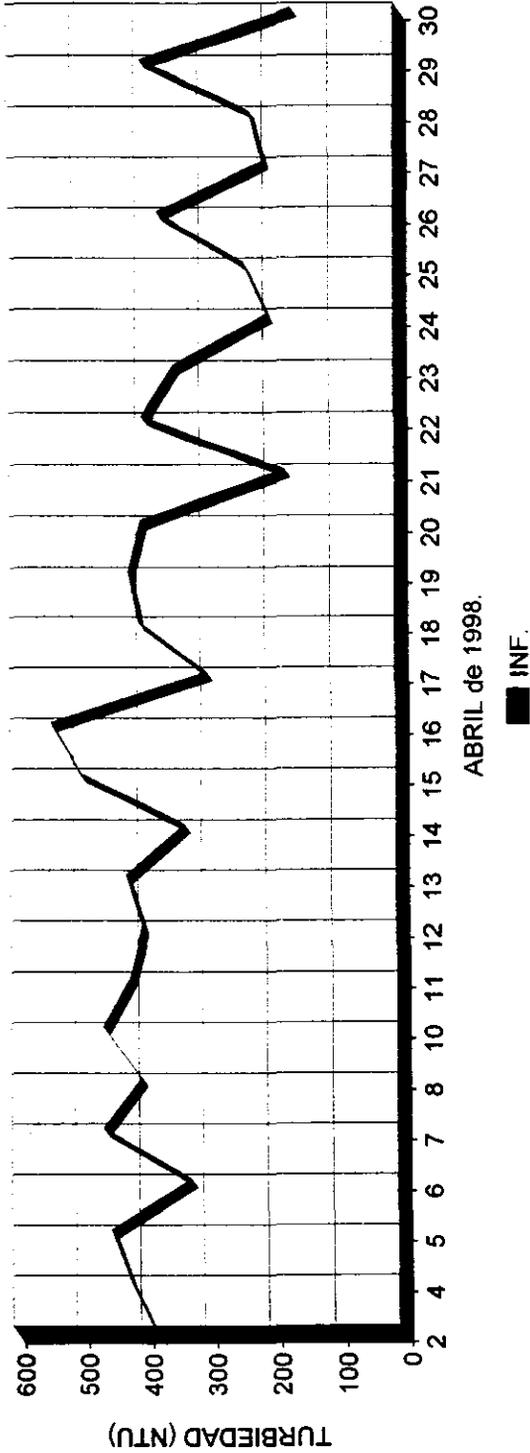
Sólidos Suspendidos Totales (SST). (Clarificador Primario A-II)



Abril de 1998.

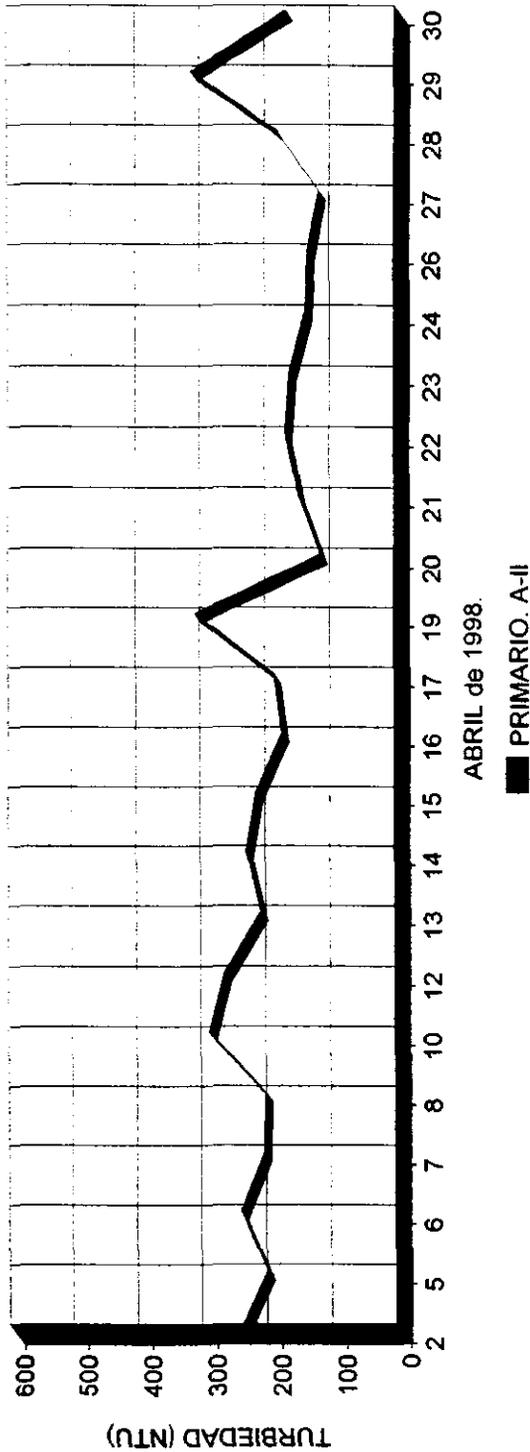
■ PRIMARIO. A-II

TURBIEDAD. AGUA DE INFLUENTE.



TURBIEDAD

(Clarificador Primario A-II)



Parámetros de calidad final del ART producida en el periodo de prueba con PCSA, medido en el efluente de la cisterna de salida.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor promedio</i>	<i>Observaciones</i>
Conductividad	micromohs/ cm	1700	Cumple con la Norma
DBO ₅	mg / L	14.8	Cumple con la Norma
DQO	mg / L	51.4	Cumple con la Norma
Flujo de ART	Litros / segundo	190	Cumple con el valor mínimo
Índice volumétrico		260	Requiere disminución
pH		8.24	Cumple con la Norma
Sólidos Sedimentables	ml/ L	0.01	Cumple con la Norma
Sólidos Suspendedos Totales	mg/ L	16.5	Cumple con la Norma

6.- Análisis de Resultados.

Los resultados obtenidos durante el periodo de prueba en la PTAR de San Juan de Aragón con el uso de PCSA como coagulante-floculante inorgánico, complementando el proceso biológico de lodos activados, muestran que este procedimiento puede ser buena alternativa de optimización para elevar la eficiencia general de la planta y alcanzar los volúmenes de ART requerida para cumplir con las exigencias de base en la licitación para la concesión de la planta y para cubrir la demanda de cantidad y calidad de ART que tiene el mercado industrial de la zona norte de la Ciudad de México asignada para esta PTAR.

Para poder observar con más claridad los diferentes beneficios y de manera global, se sugiere que este tratamiento pueda considerarse para un mayor tiempo de aplicación, de preferencia, por todo el ciclo anual.

Es muy probable que en época de lluvias el comportamiento sea diferente que en la época de estiaje en que se desarrolló la prueba y las dosis de PCSA tengan que cambiar e inclusive sea necesario la suspensión temporal en ciertos días, donde los flujos de agua pluvial se elevan y por dilución pueda disminuir la carga contaminante.

Por otro lado los resultados son positivos aunque parciales. Estos serán totales o definitivos al evaluar de nuevo la operación de la planta con la aplicación del reactivo PCSA en sus dos módulos (A y B) y al total de flujo de agua a tratar, dado que los lodos activados al recircular al aireador se mezclan, tanto la línea A con la línea B y esto no se pudo lograr con éxito debido a fallas del equipo mecánico de la planta.

Los valores obtenidos en este periodo de prueba se consideran parciales y para poder aminorar que hubo un importante cambio en el proceso general de la PTAR se recomienda que se tome en cuenta este estudio como referencia y dé pie a posteriores investigaciones que nos apoyen en la confirmación de la efectividad de esta nueva tecnología.

Por lo pronto los resultados parciales obtenidos en dicha prueba arrojan un interesante estudio comparativo con la condiciones de operación anteriores a la prueba y durante la aplicación de la preprecipitación como TFQ complemento al proceso biológico.

Cuadro comparativo de resultados antes y después de aplicar el PCSA.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>Resultado</i>
Conductividad Eléctrica.	micromhos/cm	Sedimentador Primario A-II	1758	1818	Aceptable.
D.B.O. 5	mg de Oz/ L	Sedimentador Primario A-II	195	166	Buena mejora.
D.Q.O.	mg de Oz/ L	Sedimentador Primario A-II	543	369	Muy buen Resultado.
Flujo Promedio.	Litros/segundo	Propela	141	185	Buen resultado cumple con lo propuesto.
Indice Volumétrico.		Sedimentador Secundario A-I	315	298	Hay mejora.
Oxígeno Disuelto.	mg de Oz/ L	Tanque Aireador A-I	0.85	1.1	Buen resultado
pH		Sedimentador Primario A-II	8.01	8.05	Aceptable.
Sólidos Sedimentables.	ml / L	Sedimentador Primario A-II	0.75	1.5	Buen resultado mejora el doble.
Sólidos Suspendidos Totales.	mg / L	Sedimentador Primario A-II	225	160	Muy buen resultado.
Turbiedad.	NTU	Sedimentador Primario A-II	250	220	Buen resultado

Como podemos observar los resultados con PCSA se ven mejores que los que se tenían sin el uso del reactivo.

Un punto muy importante es el de lograr incrementar el flujo de ART por arriba de 180 lps, mínimo necesario para atender las necesidades del mercado con agua de buena calidad. Con este resultado se justifica el uso de PCSA, con recuperación de su inversión al poder surtir las necesidades de la industria a la cual se debe proveer de ART.

Otro punto muy bueno es el de pH del agua, las sales de hierro y el sulfato de aluminio, evaluados anteriormente habían presentado acidificación del agua, lo que no es adecuado para los lodos activados, y esto no sucedió al usar PCSA durante el mes de aplicación, lo cual se marca como una ventaja importante a pesar de que PCSA contiene aluminio y es un producto ácido. Esto tal vez se dió así debido a la baja dosis de producto usado y la alta carga que aporta el PCSA con esta misma dosis. Los 15 mg de PCSA/ L aplicados, fueron suficientes para lograr este efecto y para remover de manera importante los sólidos suspendidos y coloidales en la sedimentación primaria.

El lodo se comportó con una tendencia a mejorar, esto se debe confirmar con un mayor tiempo de aplicación de este tratamiento, pero con lo obtenido en esta prueba se ve que hay una importante tendencia a la mejoría y ser estos lodos más sanos y activos, esto se refleja en la disminución del SVI.

La remoción de las sustancias contaminantes que aportan la DBO₅ y DQO se ven removidas en un alto porcentaje, lo cual se marca también como una ventaja que aporta PCSA al proceso, haciendo más fácil el trabajo a los lodos activados para eliminar tan sólo la DBO₅ soluble y DQO en el tanque de aireación. Este buen resultados marca una importante justificación para que se pueda proponer el uso de PCSA en todas las plantas que usen el proceso convencional de lodos activados y vean la prioridad de aumentar la eficiencia de la planta sin tenerla que dismantelar por obsoleta.

7.- Conclusiones Generales.

La prueba de tratabilidad industrial con PCSA en la PTAR de San Juan de Aragón demostró que este tipo de tecnología favorece al mejoramiento del proceso de remoción de carga contaminante y al aumento de la producción del agua tratada con la calidad requerida por la Norma Oficial.

Son varios los parámetros utilizados como índice del grado de mejoramiento.

Si basamos el cálculo en la DBO₅ removida por m³ de ART, se obtendrá una disminución de 1.38 hasta 0.89 el cual es muy buen resultado de mejora, por lo tanto PCSA puede disminuir el índice de requerimiento de energía por Kg de DBO₅ a remover.

Al revisar los valores de registro de cambios en el flujo de agua tratada, se ve el cambio en un incremento general promedio de 31.2%, por lo tanto PCSA puede aumentar el flujo de la PTAR.

Con respecto a la reducción de olor y control de los sólidos coloidales, se observa un cambio en los sólidos suspendidos totales importante, que corresponde a un incremento de 28.8% y además un importante incremento de eficiencia de remoción del 97 a 99% de los sólidos sedimentables, es decir el doble de la remoción que se tenía antes de la prueba, por lo tanto, PCSA elimina la mayoría de los sólidos de alto peso molecular, coloidales y suspendidos, muchos de ellos productores de mal olor.

En términos generales la calidad final del efluente ó ART se mantuvo dentro de las especificaciones de la Norma Oficial con lo que se puede afirmar que PCSA permite que la calidad del ART sea constante y aceptable, a pesar de que el caudal de agua en la planta se haya incrementado.

Tomando como base de cálculo el aumento de eficiencia en el flujo de ART, remoción de sólidos, remoción de DBO₅ y DQO, en el sedimentador primario y por consecuencia, este ser un importante factor que favorece el resto del proceso de lodos activados, se puede afirmar que el PCSA puede aumentar la eficiencia general de la planta, con proceso convencional de lodos activados, por lo menos un 30%.

Finalmente, como conclusión general se puede afirmar que el uso del PCSA como TFQ complementario al proceso biológico, es buena alternativa para la optimización de la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales con proceso convencional de lodos activados y en cuyo antecedente de funcionamiento se observen las necesidades de incrementar el ART que esta produzca.

Para aquellas plantas de aguas residuales municipales que se encuentren dentro de la zona urbana de su ciudad, este tipo de tecnología es de gran ayuda puesto que no se necesitan hacer grandes y costosas modificaciones a dichas plantas para mejorar su operación, y es muy probable que se resuelvan sus problemas de baja eficiencia, alta generación de olores y mejorar la calidad del agua producida, con opción de destinarla a la creación de lagos artificiales, usos industriales de mayor aprovechamiento y recuperación de recursos por su comercialización.

Referencias Bibliográficas.

1. APHA, AWWA and WPCF. *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Ediciones Diaz de Santos. Madrid, España. (1992).
2. D.D.F., D.G.C.O.H., *Manual de Diseño de Operación de la Planta de Aguas Residuales de San Juan de Aragón*. Ciudad de México, D.F. (1997).
3. Kemira Kemi AB. *Handbook on Water Treatment*. Kemwater. Sweden. (1997).
4. Jiménez, B., Capella, A., and Landa H. "Advanced Primary Treatment: A New Technology. Engineering Institute, Task Group: Treatment and Reuse. National Autonomous University of Mexico/ National Water Commission. México. (1996).
5. Kemira Kemi AB. *Kemwater Seminar in Chemical Water Treatment*. October 13 th, Cuernavaca, Morelos. México. (1997).
6. *Agua Potable y Potabilización. Aguas Residuales. Tratamiento y Reuso. Memorias Técnicas XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Tomo I. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A.C. (1997).*
7. Metcalf & Eddy Inc. Revised by Goerge Tchobanoglous & Franklin L. Burton. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill Book Inc. U.S.A. (1991).
8. Ross E. McKinney. *Microbiology for Sanitary Engineers*. McGraw-Hill Book Co. U.S.A. (1962).
9. Saavedra García Ricardo. *La Comercialización del Agua Residual Tratada en México; Desde el Punto de Vista de la Mercadotecnia. Noticias Del Agua y Medio Ambiente. Water Environment Federation/ Agua y Ambiente, A.C./ Sociedad Mexicana de Aguas, A.C. Octubre. 1-14. (1997).*
10. *Standard Practice for Coagulation- Floculation Jar Test of Water. ASTM D 2035-80. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01. March. (1989).*