



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EXAMENES DE GRADUACIÓN
CANC. DE EDUCACIÓN

" ELECCIÓN DE UN COAGULANTE Y UN FLOCULANTE PARA
EL TRATAMIENTO DEL AGUA DEL VALLE DE MÉXICO POR
UN TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO "

T E S I S
que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a
CARLOS HURTADO SANCHEZ



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.

1996



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

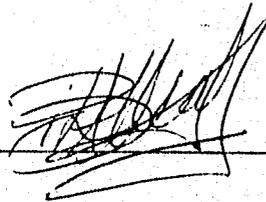
JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE : PROF. REYES CHUMACERO ANTONIO
VOCAL : PROF. DURAN DOMINGUEZ MA. DEL CARMEN
SECRETARIO : PROF. JIMENEZ CISNEROS BLANCA ELENA
1er. SUPLENTE : PROF. GARCIA CHARRETON ALMA ROSA
2do. SUPLENTE : PROF. TORRES BARRERA RODOLFO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

DRA. BLANCA ELENA JIMENEZ CISNEROS



SUSTENTANTE:

CARLOS HURTADO SANCHEZ



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Agradecimientos:

A mis padres: Carlos H. y Fernanda S.

A mis hermanos y familia en general.

A mis compañeros de la facultad y del instituto de ingeniería.

Al Instituto de Ingeniería por las facilidades proporcionadas en la elaboración de esta tesis y en especial a la Dra. Blanca Jiménez.

CONTENIDO

	PÁG.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. FUNDAMENTOS	3
2.1 Tratamiento primario avanzado	3
2.1.1 Opciones del tratamiento primario	4
2.2 Fundamentos teóricos de la coagulación-floculación	6
2.2.1 Generalidades	6
2.3 Coagulación	12
2.3.1 Termodinámica de la coagulación	13
2.3.2 Factores que intervienen en el proceso de la coagulación	17
2.3.3 Condiciones de operación que influyen en la coagulación	18
2.3.4 Elección del coagulante	18
2.3.5 Mecanismos de coagulación	18
2.3.6 Tipos de coagulantes	19
2.4 Floculación	32
2.4.1 Práctica de la floculación	32
2.4.2 Floculantes	32
2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de los polielectrólitos en el tratamiento del agua residual	38
2.4.4 Manejo de floculantes	43

2.4.5 Floculantes empleados en el tratamiento del agua (Policlectrólitos)	43
2.4.6 Floculadores	47
2.5 Control de la coagulación en el laboratorio	47
2.5.1 Medición del potencial Zeta	47
2.5.2 Pruebas de jarras	49
2.5.3 Jarras cuadradas	50
2.6 Equipo coagulador	50
2.6.1 Tanques de coagulación	50
2.6.2 Dosificadores	51
2.6.3 Dosificadores con control automático	51
2.7 Plantas depuradoras con tratamiento primario avanzado	51
2.7.1 Planta depuradora de Hyperion en los Angeles, California	51
2.7.2 Planta depuradora de San Diego, California	52
2.7.3 Planta depuradora de Owls Heal en Brooklyn, New York, EEUUA	54
2.7.4 Planta depuradora de Edar en Marsella, Francia	55
2.7.5 Planta depuradora de Orange County, California, EEUUA	56
2.7.6 Evaluación en la eliminación de fósforo, metales pesados, producción de lodos y costo para las plantas con tratamiento primario avanzado	56
2.7.7 El tratamiento primario avanzado y la legislación	61

2.8 Información técnica de polímeros empleados en el tratamiento primario avanzado (COMPLEX QUÍMICA AP30 Y PHOTAFLOC: 1122, 1123, 1124, 1125 Y 1126)	62
2.8.1 Complex química AP30	62
2.8.2 Photafloc (1122, 1123, 1124, 1125 y 1126)	63
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	66
3.1 Aguas en estudio	66
3.2 Parámetros empleados	66
3.3 Coagulantes y floculantes probados	68
3.4 Condiciones de operación	69
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
4.1 Evaluación del cloruro férrico como coagulante y varios polielectrólitos comerciales como floculantes	70
4.1.1 Estudio de floculantes (polielectrólitos)	75
4.2 Evaluación del sulfato de aluminio como coagulante y los mejores floculantes comerciales	77
4.3 Evaluación del hidróxido de calcio como coagulante y los mejores floculantes comerciales	88
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6. BIBLIOGRAFÍA	96
APÉNDICE	100

LISTA DE TABLAS

		PÁG.
TABLA 1	Tipos de tratamiento primario (% de remoción)	5
TABLA 2	Condiciones de diseño actualmente recomendado para el tratamiento primario avanzado	5
TABLA 3	Tiempo de sedimentación para diversas partículas	8
TABLA 4	Valores de k	10
TABLA 5	Dosis de coagulantes y sales metálicas adicionadas al agua residual	23
TABLA 6	Resumen de los coagulantes de aluminio	24
TABLA 7	Características químicas y físicas de algunas sales de hierro	28
TABLA 8	Dosis empleadas en clarificación y tratamiento de aguas residuales	29
TABLA 9	Solubilidad de la cal	27
TABLA 10	Características de algunos coagulantes a base de calcio	31
TABLA 11	Características de los diferentes tipos de silicatos	35
TABLA 12	Principales características de los floculantes orgánicos	44
TABLA 13	Polímeros más comunes para la potabilización del agua en Estados Unidos	45
TABLA 14	Polímeros comúnmente empleados en Noruega para agua residual doméstica	46
TABLA 15	Propiedades de polímeros (polímero "DMAEA" (marca comercial) DE ALLIED COLLOID LTD)	46
TABLA 16	Gradiente de velocidad en el aparato de jarras	49
TABLA 17	Condiciones de operación y eficiencia en la planta de Hyperion, los Angeles, California, EEUUA	52
TABLA 18	Resultados de la prueba de jarras para el cambio de tratamiento primario avanzado (TPA) en San Diego, California, EEUUA	53

TABLA 19	Comparación entre el cloruro férrico y el policloruro básico de aluminio (PCBA) al remover turbiedad en la planta de Point Loma, San Diego, California, EEUUA	53
TABLA 20	Eficiencia de remoción de SST, DBO, grasas y aceites, fósforo, al utilizar un tratamiento primario avanzado	54
TABLA 21	Condiciones de operación en la planta de Owls Hear en Brooklyn, Nueva York, EEUUA	54
TABLA 22	Eficiencia y condiciones de operación de la planta Edar Marsella, Francia	55
TABLA 23	Eficiencia de remoción de SST en la planta de Edar Marsella, Francia	56
TABLA 24	Eficiencia y condiciones de operación de la planta de Orange County, California, EEUUA	57
TABLA 25	Eliminación de fósforo en un tratamiento primario avanzado	57
TABLA 26	Remoción de metales pesados en la planta de Hyperion, Los Angeles, EEUUA	58
TABLA 27	Remoción de metales pesados en la planta de Orange County, California, EEUUA	59
TABLA 28	Incremento en la producción de lodos por el empleo de un tratamiento primario avanzado	60
TABLA 29	Comparación de la producción de lodos por el tratamiento primario avanzado (TPA) y el proceso convencional, (planta de tratamiento Hyperion, Los Angeles, California, EEUUA)	60
TABLA 30	Remoción de sólidos, en la planta de tratamiento Point Loma, San Diego, EEUUA	61
TABLA 31	Costo de operación y mantenimiento para la planta de Hyperion, California, EEUUA	61
TABLA 32	Principales eficiencia por costo de plantas de tratamiento primario avanzado	62
TABLA 33	Características de los polímeros photafloc (marca comercial) empleados	65
TABLA 34	Parámetros empleados para el seguimiento de las pruebas de jarras	66

TABLA 35	Condiciones experimentales para la selección de coagulantes y floculantes	68
TABLA 36	Condiciones empleadas con el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante	68
TABLA 37	Condiciones empleadas con el hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ y floculantes	69
TABLA 38	Características del agua del Gran Canal y de la planta de Ecatepec	71
TABLA 39	Principales constantes físicas de los polielectrólitos seleccionados	75
TABLA 40	Calidad del influente (Planta de Ecatepec)	84
TABLA 41	Calidad del efluente para la coagulación mecánica y diferentes dosis de sulfato de aluminio como $Al_2(SO_4)_3$	85
TABLA 42	Calidad obtenida en el efluente con las dosis recomendadas de $Al_2(SO_4)_3$ 51 mg/L (100 mg/L de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$) y floculante	88
TABLA 43	Calidad del influente (Planta de Ecatepec)	88
TABLA 44	Calidad del efluente para la coagulación mecánica y diferentes dosis de hidróxido de calcio	89
TABLA 45	Calidad obtenida en el efluente con dosis recomendadas de $Ca(OH)_2$ 250 mg/L y de floculante	90
TABLA 46	Resultados encontrados con los diversos coagulantes y mejores polielectrólitos	90
TABLA 47	Parámetros comparativos para las mejores dosis de coagulante y floculantes representativos de acuerdo a la NOM-CCA-032/1993	94
TABLA 48	Costo comparativo del cloruro férrico, sulfato de aluminio para diversos proveedores tomando como base la cal	94

LISTA DE FIGURAS

		PÁG.
FIG 1	Configuraciones básicas del tratamiento primario avanzado	4
FIG 2	Relación del potencial y la solución	7
FIG 3	Características de coloides	9
FIG 4	Interpretación teórica de los efectos electrocinéticos de la doble capa iónica en la interfase sólido-líquido	9
FIG 5	Curvas experimentales correspondientes a aguas y fangos indicando el porcentaje de las partículas de que son desplazadas en un campo de potencial variable	11
FIG 6	Secuencia ideal para una mayor coagulación	13
FIG 7	Efecto de polielectrólitos en remoción de sólidos suspendidos	39
FIG 8	Efecto de la concentración del polielectrólito en la floculación	40
FIG 9	Efecto de la salinidad el agua de mar en la turbiedad	41
FIG 10	Efecto de la fuerza iónica en la floculación	41
FIG 11	Efecto de la densidad de la carga en la floculación	42
FIG 12	Relación del potencial Zeta y el pH	48
FIG 13	Relación de la dosis-potencial Zeta	48
FIG 14	Relación de remoción-pH-dosis de coagulante	50
FIG 15	Sistema empleado para solubilizar el polímero	64
FIG 16	Sitios de muestreos	67
FIG 17	Comparación de turbiedad [UTN] en el agua del Gran Canal y de Ecatepec	72
FIG 18	Variación del oxígeno disuelto en las aguas residuales del Gran Canal y de la planta de Ecatepec	73
FIG 19	Eficiencia de remoción de turbiedad en función de pH y dosis de FeCl_3 (Gran Canal)	74

FIG 20	Eficiencia de remoción de turbiedad en función de dosis y pH (Ecatepec)	76
FIG 21	Resultados del tratamiento del agua del Gran Canal mediante el empleo de cloruro férrico y polielectrólito	78
FIG 22	Resultados del tratamiento del Gran Canal mediante cloruro férrico-ICA y zwitteriónico	79
FIG 23	Resultados del tratamiento de las aguas de Ecatepec mediante cloruro férrico y polielectrólito	80
FIG 24	Resultados del tratamiento del agua de la planta de Ecatepec mediante cloruro férrico-ICA y zwitteriónico	81
FIG 25	Efecto del peso molecular en remoción de turbiedad, Gran Canal	82
FIG 26	Efecto del peso molecular en remoción de turbiedad, Ecatepec	83
FIG 27	Remoción de turbiedad, SST y DQO _T con coagulación mecánica y $AL_2(SO_4)_3$	86
FIG 28	Remoción de turbiedad, SST y DQO de Prosifloc A252 y 25 mg/L de $AL_2(SO_4)_3$	87
FIG 29	Remoción de turbiedad, SST con $Ca(OH)_2$ y coagulación mecánica	91
FIG 30	Comparación de diversos coagulantes con el mejor coagulante (Nalcomex 0.4 mg/L)	92
FIG 31	Comparación de diversos coagulantes con el mejor floculante (Prosifloc 0.4 mg/L)	93

1. INTRODUCCIÓN

El agua es probablemente el recurso natural más importante del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades. Sin embargo, los desechos líquidos y sólidos tienen un potencial considerable para contaminar el ambiente.

Los sitios con mayor desarrollo demandan cantidades de agua muy grandes y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales (municipales e industriales) en los cuerpos receptores y, por lo general, sin ningún tratamiento.

Los principales contaminantes que modifican la calidad del agua son: materia orgánica, que puede ocasionar la disminución del oxígeno disuelto; nutrimentos, que provocan la eutrofización acelerada; grasas y aceites que disminuyen la transferencia de oxígeno; organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas, que afectan la salud humana, a la flora y fauna acuática, etc.

Se estima que, para el año 2000, en México se producirán 207 m³/s de aguas residuales; esto implica un enorme reto no sólo para los servidores de agua potable y alcantarillado sino para los sistemas de tratamiento de agua. En nuestro país, hasta 1990, existían 223 plantas de tratamiento de agua residual municipal, con una capacidad total de 16.5 m³/s; y 177 para aguas de origen industrial, con una capacidad instalada de 12 m³/s. Es decir, sólo había capacidad para tratar 15.7 % del agua doméstica y el 15.5 % de la industrial. Sin embargo, se trata realmente sólo la mitad de la capacidad de operación de la planta instalada. (Jiménez, 1994)

En la actualidad existen tres clases de tratamientos:

- a) *Procesos físicos*. Dependen esencialmente de las propiedades físicas de la impureza, como tamaño de partícula contaminante, peso específico, viscosidad etc. Como ejemplos se tienen la desarenación, el cribado, la sedimentación y la filtración.
- b) *Procesos químicos*. Son los que dependen de las propiedades químicas de la impureza. Algunos de estos procesos son: coagulación, precipitación e intercambio iónico.
- c) *Procesos biológicos*. Estos procesos utilizan reacciones bioquímicas para la remoción de impurezas solubles o coloidales (normalmente sustancias orgánicas biodegradables). Los procesos biológicos se pueden llevar a cabo por medios anaerobios o aerobios. Algunos de estos procesos son: filtros percoladores, lodos activados, discos rotatorios y lagunas de estabilización.

Hoy en día el diseño de un sistema de tratamiento requiere del conocimiento de un gran número de parámetros que se determinan mediante las "pruebas de tratabilidad", las cuales

consisten en someter al agua residual a los procesos de depuración previstos para medir la eficiencia de remoción de diversos parámetros, evaluar la formación de sus productos y obtener las mejores condiciones de operación.

El principal objetivo de este trabajo es determinar la eficiencia de remoción, cantidad y tipo de coagulante y floculante como una alternativa para tratar el agua residual del Valle de México mediante un proceso primario avanzado.

El tratamiento primario avanzado es una tecnología que permite tratar agua residual a un nivel compatible con las necesidades de riego agrícola a un costo que se supone difícilmente logrado por otros procesos. Esta idea es la promotora del presente estudio que analiza las condiciones de tratabilidad del agua residual del Valle de México.

Realizar una prueba de tratabilidad aparentemente es un trabajo sencillo, pero su éxito depende del conocimiento profundo y de un entendimiento claro de los procesos y operaciones que se aplican. Por ello, se incluye en el capítulo 2 un compendio de la coagulación-floculación, que es el proceso principal que intervienen en un tratamiento primario avanzado.

A partir de la literatura y con base en un estudio preliminar realizado por la Comisión Nacional del Agua, el tratamiento primario avanzado es una opción de depuración interesante para las descargas de agua residual del Valle de México por las siguientes razones (CNA, 1994):

- a) Permite tratar los gastos variables originados por el empleo de un drenaje combinado además de un aumento de flujo de agua en época de lluvia, que en años recientes, llega a ser del doble que en época de estiaje.
- b) Producir un efluente compatible y útil para el uso posterior del agua de riego esto es, mantiene la materia orgánica disuelta en el agua, preserva el contenido de nitrógeno y fósforo y elimina los patógenos y sólidos.
- c) Para la calidad el efluente, resulta el proceso de menor costo.

El hidróxido de calcio, debido a su gran reactividad, demostró ser el coagulante más viable a usar debido a su alta eficiencia y un bajo costo en el mercado. En el capítulo 3 se presenta un resumen de los principales resultados encontrados en las pruebas de tratabilidad que comprendieron el período de 14/09/1994 al 23/02/1995.

Uno de los factores de gran importancia, tanto para las pruebas de jarras como para los muestreos, es que deben realizarse el mismo día; debe haber un muestreo adecuado y, además, no debe dejarse pasar mucho tiempo desde que se toma la muestra (Capítulo 4).

Todos los resultados de las pruebas de jarras realizadas se encuentran en un anexo al final de este trabajo.

2. FUNDAMENTOS

2.1 Tratamiento primario avanzado

Los fundamentos teóricos del proceso primario avanzado tienen que ver con tres aspectos: la desestabilización de los sólidos suspendidos, la formación de flóculos y la eliminación de estos de la suspensión. Los dos primeros aspectos tienen que ver con la teoría de la coagulación-floculación y el tercero con el de la sedimentación (aunque, en un futuro se pudiese pensar también en la filtración directa como proceso para la remoción de sólidos).

El tratamiento primario avanzado es la aplicación de la coagulación-floculación al tratamiento del agua residual. Es decir, es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica evaluada, ya sea como demanda química o demanda bioquímica de oxígeno (DQO_u o DBO_u). El tratamiento primario avanzado tiene más de 100 años de aplicación. En 1930, se dejó de emplear en favor de los procesos biológicos debido al elevado costo ocasionado por el tratamiento de una gran cantidad de lodos. Actualmente, su aplicación ha retornado con dos fines: la eliminación del fósforo y la obtención de efluentes de calidad media a costos inferiores a los convencionales. El nuevo auge del proceso se debe también al reconocimiento de que el costo del tratamiento debe ser acorde con la eficiencia deseada y a que los avances en la síntesis de polímeros floculadores con altas eficiencias se ha logrado a un menor costo.

El tratamiento primario avanzado se emplea en países nórdicos, principalmente Escandinavia y existen buenas experiencias del mismo en países como Francia y España. El tratamiento primario avanzado se aplica cuando los requerimientos del efluente son menores al tradicional 30/30 (DBO/SS) definido para efluentes secundarios, cuando el agua tratada se desea emplear para riego y es necesario mantener su propiedad de aportar al suelo nitrógeno, fósforo y materia orgánica, o bien, cuando la descarga del efluente es hacia el mar en zonas de alta dilución y resulta intrascendente pagar por un mejor efluente. Además, es útil para incrementar la capacidad de las plantas biológicas secundarias. En efecto, el empleo del tratamiento primario avanzado en el agua residual tiene la ventaja de disminuir el requerimiento de oxígeno y el tamaño del reactor biológico. Para mantener una eficiencia constante con gastos de alta variabilidad, el tratamiento primario avanzado no tiene comparación con los procesos biológicos: su flexibilidad es muy grande.

Entre otras ventajas el tratamiento primario avanzado es capaz de eliminar metales pesados como Pb, Zn, Cu en eficiencias del orden del 70%.

2.1.1 Opciones del tratamiento primario avanzado

Existen cuatro configuraciones comunes del tratamiento primario (FIG 1):

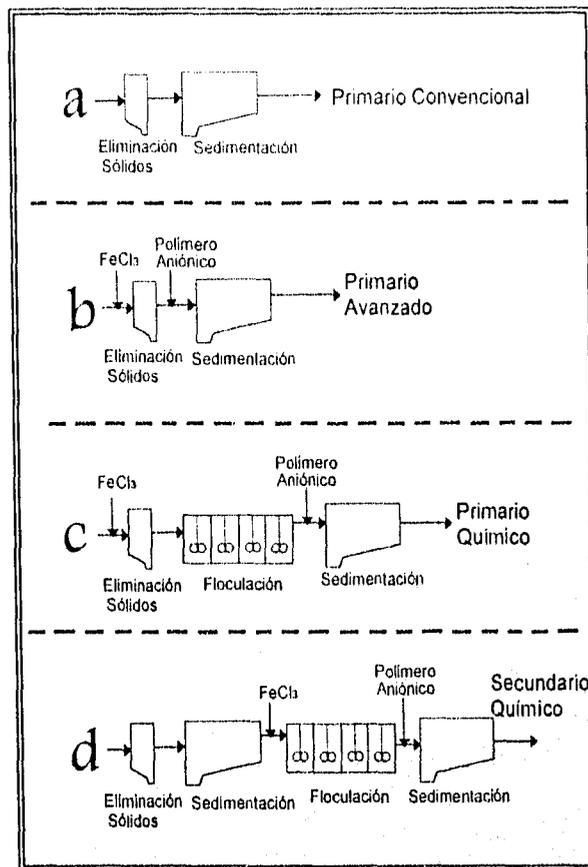


FIG 1 Configuraciones básicas del tratamiento primario avanzado (Shao, 1993)

a) Tratamiento primario convencional que consiste básicamente en desarenación y sedimentación primaria. Su eficiencia es de 65% en remoción de sólidos suspendidos y 30% en DBO, para aguas residuales domésticas convencionales.

b) Tratamiento primario avanzado que tiene una configuración igual a la anterior, pero se añaden reactivos: generalmente emplean cloruro férrico con dosis de 10 a 40 mg/L combinadas con pequeñas cantidades de polímero aniónico. Este proceso remueve entre 80 y 85% de los sólidos suspendidos y 50 a 55% de la DBO. Se adapta muy fácilmente en plantas en operación.

c) Tratamiento químico primario. En este caso se tiene una unidad de coagulación-floculación antes de la sedimentación. Se emplea con frecuencia en Noruega y Suecia donde el criterio de diseño para la etapa primaria se basa, además, en la eliminación fósforo, en los sólidos suspendidos y la DBO. En este caso, las dosis empleadas son

altas (150 mg/L de cloruro férrico con 0.2 mg/L de polielectrólito aniónico), con eficiencias de más del 90% para los sólidos, 75% para la DBO y 95% para el fósforo en agua residual doméstica.

d) Tratamiento químico de dos etapas. Este proceso se desarrolló en 1980 y consiste en añadir reactivos en dos etapas. La primera es un tratamiento primario avanzado la segunda es un proceso de floculación. Las dosis y el volumen de los reactores son menores. En la TABLA 1 se muestran los tipos de tratamiento primario avanzado, así como sus respectivas eficiencias en remoción de SST, DBO y fósforo.

TABLA 1 TIPOS DE TRATAMIENTO PRIMARIO (% de remoción) (Shao, 1991)

PROCESO	CONFIGURACIÓN	% de SS	% DBO	% P
PRIMARIO CONVENCIONAL	DA + SP	65	30	11
PRIMARIO AVANZADO	(AC)DA + (AP) SP	80- 85	50-55	31
FLOCULACIÓN PRIMARIA	(AC) DA + FL + (AP)SP	> 90	75	95
FLOCULACIÓN DE DOS ETAPAS	DA + SP + (AC) F + (AP) + SeS	83	52	SD

DA: Desarenación

SP: Sedimentación primaria

AC: Adición de coagulante

AP: Adición de polímero

F: Floculador

SeS: Sedimentación secundaria

SD: Sin datos

La TABLA 2 resume comparativamente el funcionamiento de un tratamiento primario avanzado empleando cloruro férrico o sulfato de aluminio. El mayor estudio de este proceso (de auge reciente), sin duda, irá afinando los datos de esta tabla.

TABLA 2 CONDICIONES DE DISEÑO ACTUALMENTE RECOMENDADAS PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (Chack, 1994; Chaudhay, 1991)

PARÁMETRO	CLORURO FÉRRICO	SALES DE ALUMINIO
Sólidos en el sobrenadante	Menor	Mayor
Flóculos	Más compacto	Menos compacto
Concentración de sólidos en el espesador	5.5 %	3.4 %
Olores en el espesador	Nulo	Presente
Efectos sobre la digestión de lodos	Mejora	.
Corrosión	Controladas por la precipitación de sulfuro	.

2.2 Fundamentos teóricos de la coagulación-floculación

La coagulación-floculación entendida como sistema de tratamiento consiste de tres etapas:

- a) Desestabilización del coloide.
- b) Formación de flóculos.
- c) Sedimentación de los flóculos y separación de los mismos del agua.

Cada una de estas etapas pueden realizarse en tanques separados o en uno solo. Se debe, además, tener presente que las condiciones óptimas de operación son diferentes en cada caso y que la eficiencia global del proceso depende de la eficiencia en cada etapa. Es por ello que para comprender su forma de actuación y cómo es necesario que un ingeniero actúe para obtener el máximo beneficio global de cada una se analizarán por separado.

2.2.1 Generalidades

La pequeña dimensión de las partículas coloidales presentes en un agua así como las cargas negativas repartidas en su superficie dan una gran estabilidad a las suspensiones coloidales. Uno de los métodos de tratamiento empleados para su control es la coagulación-floculación. Los términos "coagulación" y "floculación", se usan para describir el proceso de remoción de turbiedad del agua, pero hay una clara distinción entre ellos. La **coagulación**, del latín *coagulare* que significa solidificar lo líquido, es por definición, el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que se puede conseguir por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas negativas. Este proceso es producto de la adición de un reactivo químico llamado **coagulante**. En cambio, el término **floculación** del latín *floculare*, que significa formador de flóculos, es el siguiente estado de formación después de la desestabilización y consiste en agrupar las partículas descargadas negativamente para aglomerarlas. En contraste con la coagulación donde la fuerza primaria es electrostática o interiónica, la floculación ocurre por la formación de un puente químico o por la creación de una red física. En la floculación, se requiere agitar suavemente el agua a tratar con el **floculante** durante un período apreciable, para completar las reacciones de coagulación y alcanzar las condiciones que permite que los flóculos se junten y se adhieran formando grandes masas de ellos, capaces de ser retenidas en una fase posterior del tratamiento del agua, también pueden adsorberse sobre el flóculo ciertas sustancias disueltas (materia orgánica, contaminantes diversos...), la separación sólido-líquido del flóculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación, seguida o no de filtración.

La coagulación-floculación remueve sólidos orgánicos e inorgánicos y precipitan las sales metálicas su mayor dificultad de aplicación es con la materia orgánica debido a la amplia gama de componentes que la conforman que tienen un amplio intervalo de tamaños moleculares. Se considera que las moléculas orgánicas con alto peso molecular (10^4) son removidas tanto con fierro o aluminio, si se emplea el pH y dosis óptima; pero partículas con peso molecular inferiores a 1000 o 1500, según su naturaleza química prácticamente no son removidas (Tambo, 1990).

La coagulación y la floculación intervienen generalmente en el tratamiento de aguas destinadas al abastecimiento público y en la preparación de aguas industriales para sus procesos de fabricación. En el tratamiento de aguas residuales urbanas, con frecuencia es tal la concentración de materia en suspensión, que puede conseguirse una floculación mediante simple agitación, pero con el fin de favorecer este proceso se añaden coagulantes.

Caracterización de los coloides

Los coloides son partículas con tamaño entre 0.1 nm (10^{-10} cm) a 1 nm (10^{-9} cm) que no son removidas por sedimentación ni por los tratamientos físicos convencionales.

Los que se presentan en el agua residual pueden ser hidrofóbicos o hidrofílicos. Los hidrofóbicos (arcillas) no tienen afinidad por el agua y en consecuencia no tienen estabilidad en presencia de electrólitos y son muy sensibles al proceso de coagulación. Los coloides hidrofílicos, como las proteínas, tienen una marcada afinidad por el agua, la cual al ser adsorbida retarda la floculación por lo que requieren procesos especiales para lograr una coagulación efectiva.

Los coloides poseen propiedades eléctricas que crean una fuerza de repulsión que evita su aglomeración y sedimentación. Los iones que los estabilizan son fuertemente adsorbidos en una capa interna fija que los provee de una carga que es función de la valencia y número de los mismos. Al mismo tiempo, iones con carga contraria forman una capa exterior difusa que permanece cerca de la partícula por acción de fuerzas electrostáticas (FIG 2). El potencial Ψ se define como la caída de potencial entre la interfase de un coloide y la solución.

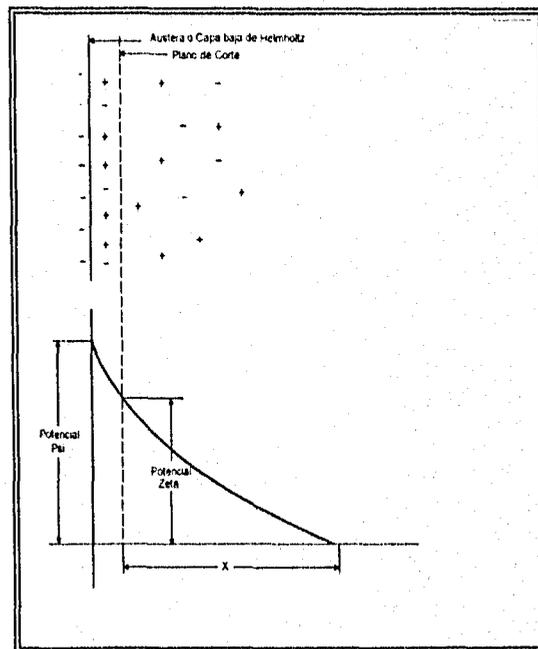


FIG 2 Relación del potencial y la solución (Eckenfelder, 1989)

La estabilidad del coloide se debe a las fuerzas electrostáticas de repulsión que es provocada en los coloides hidrofílicos por la solvatación (la envoltura que forman las moléculas de agua retarda la coagulación) en este caso la partícula se encuentra parcialmente ionizada de tal forma que se puede observar su desplazamiento cuando se somete a la acción de un campo eléctrico.

La TABLA 3 muestra el tamaño y tiempo de sedimentación el cual está influenciado únicamente por el peso de las diferentes partículas que se pueden encontrar en el agua. Un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas cargadas negativamente y del orden de una micra, aunque en conjunto sólo pesen 0.1 mg.

TABLA 3 TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN DE DIVERSAS PARTÍCULAS
(Degrémont, 1979)

DIÁMETRO, mm	EJEMPLO	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN PARA 1 m (orden de magnitud)
10	Grava	1 s
1	Arena	10 s
0.1	Arena fina	2 min
0.01	Arcilla	2 h
0.001	Bacteria	8 d
0.0001	Partícula coloidal	2 años
0.00001	Partícula coloidal	20 años

Los coloides contaminantes de un agua se pueden caracterizar con tres parámetros: tamaño, propiedades químicas y concentración (Tambo, 1990). Una clasificación realizada con este principio se muestra en la FIG 3.

Las partículas que se coagulan en el tratamiento de agua *a grosso modo* son arcillas (en potabilización) o materia orgánica (en depuración). Una suspensión de 1 mg/L de arcilla contiene entre 10^5 a 10^6 partículas por mL y para un agua de tratamiento biológico, las concentraciones son del mismo orden. En ambos casos, las partículas se encuentran cargadas negativamente y tienen una movilidad entre 1.5 y 2.5 ($\mu\text{m/s}/(\text{Volt/cm})$).

Indice Química Cualitativa	Orgánicos		Inorgánicos							
	Biodegradable DBO _u E260 insensible	No Biodegradable DXO _{Cl} -DBO _u E260 sensible	Compuestos Organo-metálicos (con numatos)	Precipitación	Estable					
Tamaño de impureza mm	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Materia Suspendida: Humus, << Tratamiento biológico Bacterias Aerobio >>, << Coagulación Química >>, Sedimento </div>									
μm						<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Materia Coloidal: Virus, Proteínas, Ácido húmico, << Membrana de separación >>, arcilla </div>				
nm						<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Materia Soluble: Ácido Orgánico, Sabor y Olor, DDT, BHC, etc., << Adsorción con Carbón activado >>, << Precipitación >> Fe²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺ etc, << Intercambio iónico >> Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻ etc </div>				
(A)										

FIG 3 Características de coloides (Tambo, 1990)

Potencial Zeta

La interpretación teórica de los efectos electrocinéticos, especialmente de la electroforesis, ha llevado a emitir la hipótesis de una doble capa iónica en la interfase sólido-líquido y, como consecuencia, de atribuirle una estructura definida (FIG 4).

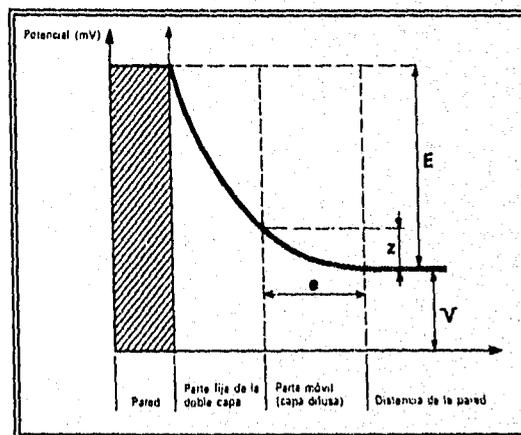


FIG 4 Interpretación teórica de los efectos electrocinéticos de una doble capa iónica en la interfase sólido-líquido (Degrémont, 1979)

Una parte de la doble capa se adhiere a la pared y la otra, está constituida por una nube difusa de iones. es el potencial del líquido con relación al electrodo de referencia

Se da el nombre de potencial Z a la diferencia de potencial entre la superficie que separa las partes fijas y móvil, por una parte y el seno del líquido por la otra. Z es un potencial electrocinético, por oposición al potencial termodinámico E, calculable por la fórmula de Nernst, y que es igual a la diferencia de potencial entre la pared y el seno del líquido.

El potencial Z depende a su vez del potencial E y del espesor de la doble capa. Su valor determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas y, por tanto, su probabilidad de adhesión. Cuando una partícula se encuentra sometida a un campo eléctrico, alcanza, casi instantáneamente una velocidad tal que se establece un equilibrio entre la fuerza eléctrica de atracción y la fuerza de rozamiento debida a la viscosidad del medio. El cálculo lleva a la relación siguiente entre Z y la movilidad de la partícula:

$$Z = \frac{kn\mu}{e} \quad (1)$$

donde

n: viscosidad dinámica en dPa.s

e: constante dieléctrica del medio

μ : movilidad de la partícula en $\mu\text{s}/(\text{V}\cdot\text{cm})$

Z: en mV

k: constante que es función de los valores relativos del diámetro de la partícula y del espesor de la doble capa iónica

La relación muestra que todas las partículas cuyo potencial electrocinético sea idéntico, tendrán la misma movilidad, cualquiera que sea su radio. Los valores de k se presentan en la TABLA 4.

TABLA 4 VALORES DE k (Metcalf y Eddy, 1993)

PARTÍCULA	k	FÓRMULA
Relativamente gruesa	4π	de Helmholtz
Aproximadamente esférica	6π	de Huckel

Las curvas experimentales correspondientes a lodos y agua, indican el porcentaje de las partículas que se desplazan en un campo de potencial variable. El máximo de la curva da el potencial Zeta de los coloides contenidos (FIG 5).

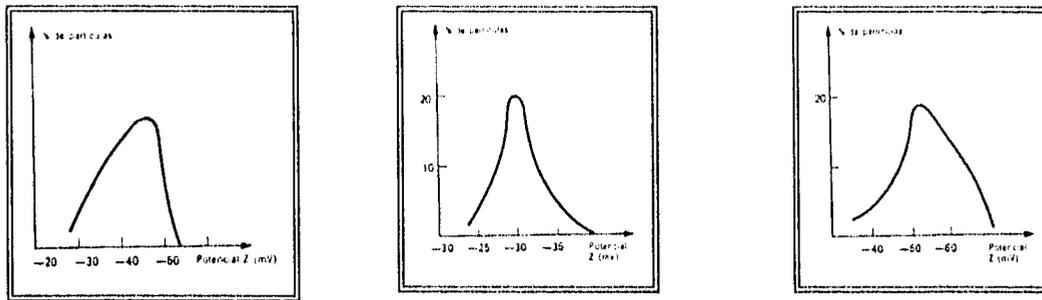


FIG 5 Curvas experimentales correspondientes a aguas y fangos indicando el % de las partículas de que son desplazadas en un campo de potencial variable (Degrémont, 1979)

Puesto que la estabilidad de los coloides se debe básicamente a fuerzas electrostáticas, la neutralización de esta carga induce a la floculación y precipitación. Para evaluar en qué medida es necesario efectuar lo anterior se requiere medir las caídas de potenciales. El potencial Ψ no se puede medir físicamente pero si es posible estimar el potencial Zeta de acuerdo con:

$$Z = \frac{4 \pi v}{e X} = \frac{4 \pi EM}{e} \quad (2)$$

donde

v: velocidad de la partícula

e: constante dieléctrica del medio

n: viscosidad del medio

X: potencial aplicado por unidad de longitud de la celda

EM: movilidad electroforética

Z: Potencial Zeta

Para fines de tratamiento de agua, la ecuación 2 puede ser sustituida por

$$Z (mV) = \frac{113,000}{e} n (poise) EM \left(\frac{\mu m/s}{V/cm} \right) \quad (3)$$

La cual, a 25 °C, se reduce a:

$$Z = 12.8 EM \quad (4)$$

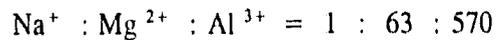
Así, el potencial Zeta es evaluado en el laboratorio midiendo con ayuda de un microscopio la movilidad de los coloides a través de una celda. En promedio, el potencial Zeta de los coloides en agua de abastecimiento y residual varía entre -12 a -40 mV, con promedios entre

-16 y -22 mV. El potencial Zeta prácticamente no varía en un intervalo de pH entre 5.5 y 9.5 (Eckenfelder, 1989).

El potencial Zeta se puede disminuir por:

- a) Un cambio en la concentración de los iones que lo producen.
- b) La adición de iones de carga contraria a los que lo producen.
- c) Compactación de la parte difusa de la doble capa por medio de un incremento de las concentraciones de iones en solución.

Tomando en cuenta que la gran mayoría de los coloides presentes en el agua de desecho tienen una carga negativa, el potencial Zeta se disminuye por la adición de cationes de alta valencia. Para tener una idea de la importancia de la magnitud de esta carga, es interesante observar cómo varía la velocidad de precipitación del óxido arsenioso para diferentes cationes (Eckenfelder, 1991).



La coagulación óptima ocurre cuando el potencial Zeta es cero; a esto se llama el punto isoelectrónico, sin embargo, en la práctica esto no ocurre sino que se obtiene a valores de +/- 0.5 mV.

2.3 Coagulación

La coagulación química (Imhoff, 1989) es utilizada específicamente para remover coloides (usualmente con una superficie de carga negativa) y partículas muy finas suspendidas en el agua residual.

La adición de cationes de alta valencia disminuye la carga de las partículas al igual que el espesor de la doble capa eléctrica dando por resultado el decremento del potencial Zeta. A medida que el coagulante se disuelve, los cationes neutralizan la carga negativa de los coloides, por ello la agitación rápida favorece este proceso que ocurre antes de que se observe la formación de flóculos. Una vez neutralizada la carga, se forman microflóculos con carga positiva, si el pH es ácido por la adsorción de H^+ . Estos microflóculos a su vez sirven para neutralizar y atrapar otros coloides.

Riddick (Eckenfelder, 1991), describe cuál es la secuencia ideal para que ocurra una coagulación efectiva (FIG 6). La secuencia es:

- a) Asegurar que el agua tenga alcalinidad suficiente. En caso contrario añadir bicarbonatos para no modificar el pH.
- b) Adicionar las sales de aluminio o hierro para cubrir el coloide con iones Al^{3+} y Fe^{3+} y formar microflóculos con carga positiva (desestabilización del coloide).

- c) Efectuar una mezcla rápida durante 1 a 3 minutos.
- d) Añadir los ayuda coagulantes (sílica o polielectrólitos) para formar el flóculo y controlar el potencial Zeta, y
- e) Efectuar una mezcla lenta por 20 a 30 minutos.

La desestabilización del coloide también se puede efectuar por la adición de polímeros catiónicos que tienen la ventaja de llevar el sistema al punto isoeléctrico sin cambiar el pH y ser de 10 a 15 veces más efectivos que los coagulantes convencionales. Sin embargo, el costo es mucho mayor.

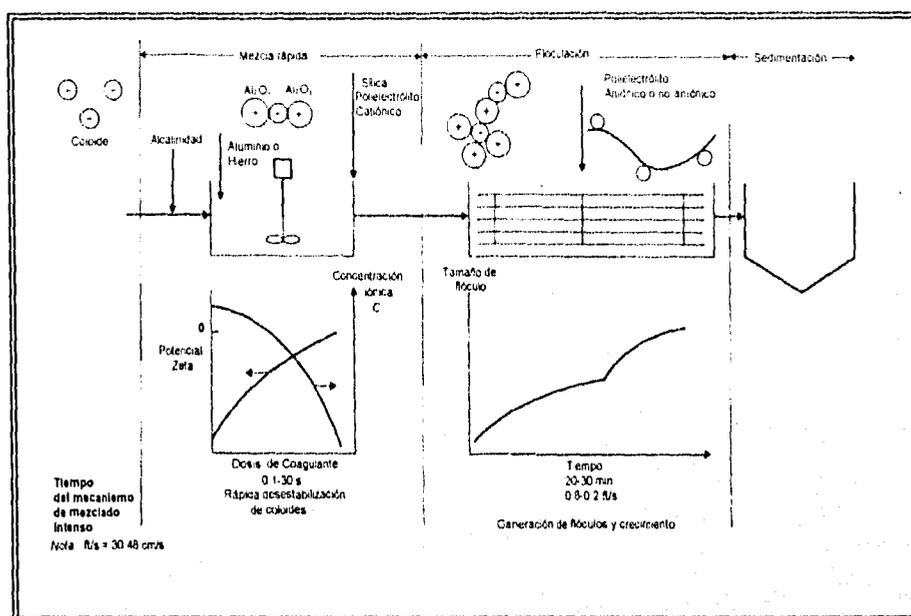


FIG 6 Secuencia ideal para una mejor coagulación (Eckenfelder, 1989)

2.3.1 Termodinámica de la coagulación (Voitskii, 1978)

Estabilidad y coagulación de sistemas coloidales

Un sistema coloidal posee diferente estabilidad colectiva. Algunos sistemas existen por solo algunos segundos desde su formación, pero muchos sistemas coloidales existen por un tiempo largo.

La estabilidad colectiva de un sistema disperso depende mucho en la composición del medio disperso y puede ser cambiado abruptamente por la introducción uniforme de una pequeña cantidad de electrolitos extraños. Un sistema coloidal está dividido dentro de dos clases, conforme al efecto de adición de electrolitos en su estabilidad: liofóbico y liofílicos. En un sistema liofóbico, la tasa de coagulación incrementa con la adición de electrolitos. Pasando

después de un cierto límite de concentración crítica, la tasa de coagulación logra un valor máximo el cual caracteriza una coagulación rápida.

Algunos autores interpretan la estabilidad colectiva de los sistemas coloidales liofílicos en términos termodinámicos, consideran la energía libre positiva de la interfase y la disminución de la energía libre de la doble capa eléctrica que se encuentran formadas por partículas además de la entropía del sistema. Así al determinar las condiciones bajo las cuales la coagulación está en equilibrio se obtiene un sistema coloidal colectivo estable.

Cinética de la coagulación

La coagulación puede ser rápida o lenta. La coagulación rápida ocurre cuando todas las partículas en movimiento browniano chocan entre sí unas con otras. En la coagulación lenta, solo algunas partículas permanecen juntas a pesar de la aproximación debido a la doble capa eléctrica o a una película de solvente presente particularmente la superficie de la partícula coloidal.

Las fuerzas de atracción y repulsión actúan entre partículas; las fuerzas de repulsión se debilitan cuando un electrólito se adiciona y desaparecen cuando esta concentración es suficientemente alta como para causar una coagulación rápida. Una adición posterior de electrólito no acelera la coagulación.

Solvatación de partículas. Mecánica estructural y factores entrópicos de la solubilidad

El concepto de fuerza molecular de atracción y de fuerza electrostática de repulsión es la base de la teoría moderna de la estabilidad de sistemas coloidales estabilizados con iones. Pero hay otras causas para la estabilidad de un sistema coloidal. Por ejemplo, la estabilidad de un sistema coloidal en medio de una dispersión de un líquido puede ser causada por la formación en la superficie de la partícula de capas solvatadas suficientemente desarrolladas. Estas capas evitan que las partículas se peguen unas a otras debido a que las primeras pueden resistir el corte que impide la formación de huecos entre las partículas; además no hay una tensión superficial notable en la interfase entre las capas solvatadas y el medio libre. Dos partículas solvatadas no se pegan unas a otras cuando se aproximan debido a la generación de presión de separación que aparece a causa de la diferencia en las propiedades entre las capas de solvatación y el resto de la fase.

La capa solvatada se forma en la interfase. No hay atracción molecular entre estas capas debido a que las fuerzas de interacción entre las moléculas de la capa son prácticamente iguales a las del medio. Cuando las partículas se acercan unas a otras, debe hacer se trabajo para desalojar la capa solvatada (trabajo de desorción), y esto causa la aparición de fuerzas de repulsión considerablemente fuertes entre las partículas.

La formación de capas solvatadas suficientemente desarrolladas es poco probable para sistemas coloidales, que tienen fases liofóbicas dispersadas debido a la energía de interacción débil entre el medio y la fase dispersa. La solvatación puede ocurrir sólo cuando la superficie

molecular de una fase dispersa esta confinando a las moléculas de un medio disperso, por uniones químicas o por lo menos por puentes de hidrógeno.

Reglas de coagulación por electrólitos

Un sistema coloidal puede coagularse bajo la acción de diversos factores: el envejecimiento del sistema, un cambio en la concentración de la fase dispersa o en la temperatura, efectos mecánicos, la acción de luz y así sucesivamente. Sin embargo, la coagulación ocurre cuando se adicionan electrólitos, lo que es de máxima importancia teórica y práctica.

No todos los iones de un electrólito tienen efecto coagulante, sino solo aquellos que tienen una carga del mismo signo del contraión de una micela (que es la misma, o es una carga de signo opuesto a la de la partícula coloidal).

También se ha mostrado que se debe de alcanzar una cierta concentración mínima de un electrólito en un sol para iniciar la coagulación. Esta cantidad γ es conocida como umbral de coagulación y es usualmente expresada en mmol/L o mg-equiv/L; aparentemente corresponde a la compresión de la doble capa eléctrica hasta que desaparece la barrera de energía que protege a las partículas de que se unan por medio de fuerzas moleculares de atracción.

Teoría de coagulación por electrólitos

Varios autores han propuesto teorías de coagulación por electrólitos. La teoría química de coagulación (J. Duclaux), la teoría de adsorción (H. Freundlich), y la teoría electrostática (H. Müller, A. Rabinovich, V. Kargin). Sin embargo todas ellas pierden importancia por una razón u otra y son ahora de interés histórico. La teoría física de coagulación por electrólitos que es ahora generalmente aceptada está basada en los principios de física estadística, la teoría de soluciones y la teoría de fuerzas moleculares. La teoría física de coagulación por electrólitos está basada en la consideración del balance entre fuerzas moleculares de atracción y las fuerzas iónicas de repulsión electrostática que actúan entre partículas y es ejemplificada por la interacción de partículas del tipo laminar (Voiutskii, 1978).

Considerando la coagulación de los sistemas coloidales, se debe hacer una distinción entre dos casos extremos:

- 1) Coagulación por neutralización cuando la estabilidad se pierde como resultado de la descarga de partículas coloidales y una disminución en el potencial φ_0 (que está relacionado con la capa límite de Stern).
- 2) Coagulación por concentración, cuando la pérdida de estabilidad es causada por la compresión de la doble capa difusa, en lugar de la caída del potencial.

Como se ha visto, los sistemas coloidales pueden coagular ya sea por mecanismos de neutralización o mediante mecanismos de concentración. Sin embargo en la mayoría de los casos la coagulación se lleva a cabo mediante ambos mecanismos simultáneamente. El

mecanismo de neutralización de la coagulación de liosoles es muy importante en los sistemas reales y depende del fenómeno de adsorción. Para una medida cuantitativa del efecto de adsorción en la coagulación se debe de considerar las teorías de solubilidad y coagulación de los sistemas estabilizados con iones.

Coagulación bajo la acción de factores físicos

La coagulación bajo la acción de electrólitos es el caso más típico de coagulación y es usualmente empleada en procesos tecnológicos cuando un sistema coloidal debe ser destruido. La coagulación es frecuentemente causada por otros factores físicos simples: la acción mecánica en un sistema coloidal, calentamiento o enfriamiento, dilución o concentración, la acción de luz visible y ultravioleta, rayos X, radiación radioactiva, una carga eléctrica y/o una descarga ultrasónica.

Coagulación espontánea. Cuando un sistema coloidal es almacenado por algún tiempo, puede ocurrir coagulación espontánea debido a reacciones químicas lentas o al efecto de algunas colisiones que se efectúan entre partículas y finalmente destruyen el sistema. La disminución espontánea en la estabilidad, depende en buena medida de las condiciones a que es almacenado el sistema.

Coagulación como un resultado de una acción mecánica. Esta coagulación se observa cuando un sistema coloidal es intensamente agitado, cuando se bombea a través de tuberías y así sucesivamente. La coagulación por acción mecánica ocurre debido al balance de la adsorción que estabiliza la superficie de partículas coloidales temporalmente. Tales partículas son capaces de aproximarse una a otra a una distancia a la cual las fuerzas moleculares son efectivas y consecuentemente se juntan.

El sistema que es más estable a la acción mecánica es usualmente más estable a la acción de electrólitos. Un sistema coloidal puede coagular como resultado de efectos vibratorios y la acción del ultrasonido. La coagulación vibratoria es usada en las tecnologías de proceso de pastas y concretos.

Coagulación cuando un sistema coloidal es diluido o concentrado. La coagulación ocasionalmente ocurre cuando hidrosoles diluidos con agua sufren la desorción del electrólito estabilizante de la superficie de la partícula hacia el medio disperso causando una disminución en la carga de la partícula. En este caso el estabilizador puede ser hidrolizado como resultado de que el sol pierde su estabilidad. En la práctica, cuando un sistema coloidal está siendo diluido en procesos de acuosos que contiene electrólitos, la coagulación puede ocurrir bajo la acción de estos.

Algunos trabajos atribuyen la coagulación de un sol en el curso de la concentración a un gran número de colisiones entre partículas. Pero esta explicación es poco probable por el hecho de que los soles se pueden coagular espontáneamente solo cuando su concentración es mayor a la de su valor crítico. La inestabilidad de un sistema coloidal arriba de una concentración definida puede atribuirse a un incremento por unidad de volumen en el contenido no solo de un electrólito extraño, sino también de partículas coloidales, las cuales deben considerarse

como iones polivalentes y, en forma semejante el contenido de los correspondientes contraiones.

2.3.2 Factores que intervienen en el proceso de coagulación

Es necesario considerar los factores que causan que las partículas queden en suspensión, estos términos son descritos como estabilidad o inestabilidad. La estabilidad se refiere a la propiedad inherente de la partícula coloidal a quedar dispersa y suspendida en solución después de algún tiempo, mientras que la inestabilidad describe la tendencia de la partícula a unirse con otras. Al respecto, dos teorías explican los mecanismos involucrados (Altree, 1977): La primera es la teoría química que supone que los coloides adquieren cargas eléctricas en su superficie por ionización de grupos químicos presentes en la superficie y entonces la coagulación o desestabilización es realizada por interacciones químicas entre las partículas de los coloides y los coagulantes. La teoría física se basa en la doble capa eléctrica, contrario a la adsorción, donde en la desestabilización ocurre por la reducción de fuerzas, tal como la del potencial Zeta.

Fuerzas de estabilidad

Puesto que el objetivo de la coagulación es desestabilizar las partículas; es necesario conocer las fuerzas que causan la estabilidad de la suspensión. Para los sistemas de coloides hidrofílicos, la estabilidad es mantenida por el fenómeno de hidratación, en que las moléculas del agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúa como un barrera de contacto entre ellas.

Fuerzas de inestabilidad

Ionización

La carga superficial se acumula en tres formas y dependen de la naturaleza química de las sustancias involucradas (Maskew, 1989):

- a) Establecimiento de una pequeña carga superficial por adsorción preferencial de un cierto tipo de ión.
- b) Sustituciones isomórficas dentro de la red estructural o de imperfecciones en ésta, ocurrido en el límite de la superficie sólida y
- c) La ionización de los grupos ionogénicos complejos situados sobre la superficie de las partículas suspendidas. Muchos sólidos coloidales contienen los siguientes grupos funcionales ionizables: hidroxilo, carboxilo, fosfato y sulfato, cuya carga depende del valor de pH del medio.

Las propiedades eléctricas de las partículas coloidales se basan en dos tipos de fuerzas, de efectos contrarios:

- a) una fuerza atractiva de Van der Waals tendiente a unir a las partículas y
- b) una fuerza electrostática repulsiva tendiente a separarlas.

Movimiento browniano

Uno de los factores importantes para la inestabilidad del coloide es el movimiento browniano. En los coloides normalmente la energía suministrada, por colisiones al azar entre las partículas coloidales y las moléculas del medio disperso, mediante el movimiento browniano (Myers, 1991). La energía para este movimiento es obtenida de las colisiones las cuales son función de la temperatura.

2.3.3 Condiciones de operación que influyen en la coagulación

Para un tratamiento óptimo de coagulación, las condiciones que se deben tomar en cuenta son el tipo de coagulante, el pH, la turbiedad, la composición química del agua, y los factores físicos (temperatura y condiciones de mezclado).

2.3.4 Elección del coagulante

La elección del coagulante se efectúa por medio de ensayos en el laboratorio. Para ello debe tomarse en cuenta diversos factores:

- a) Naturaleza y calidad del agua sin tratar, conocida como "bruta",
- b) Variación de la calidad del agua bruta (variaciones diarias o según las estaciones, en especial, influencia de la temperatura),
- c) Criterios de calidad y destino del agua tratada,
- d) Tratamiento previsto después de la coagulación (coagulación sobre filtro, decantación) y
- e) Grado de pureza del reactivo, especialmente en el caso de aguas para abastecimiento público.

2.3.5 Mecanismos de coagulación

Los productos químicos que son adicionados, promueven la formación de flóculos por otros dos mecanismos:

- a) Neutralización de la carga superficial causando que las partículas formen grandes flocúlos por atracción electroquímica y adsorción superficial (floculación pericinetica) y por
- b) Precipitación de coloides (ortocinetica), estos pueden precipitar un número de componentes químicos como fosfatos o metales tóxicos.

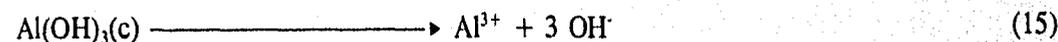
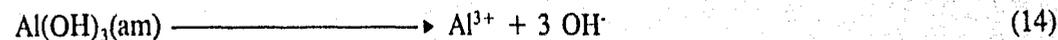
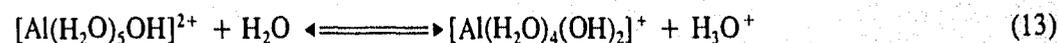
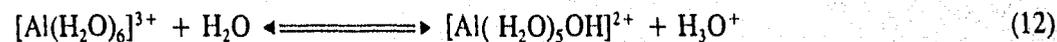
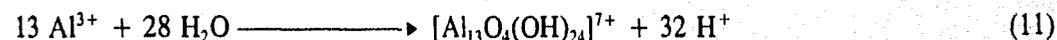
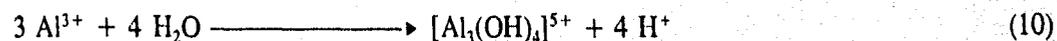
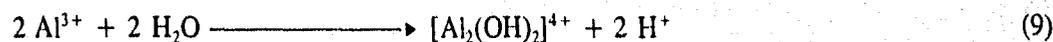
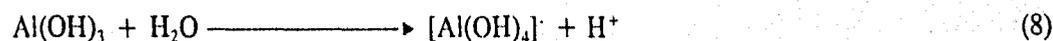
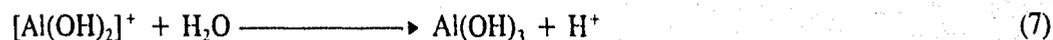
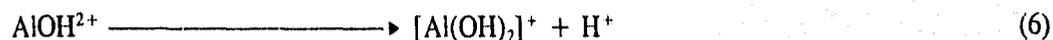
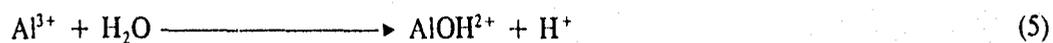
2.3.6 Tipos de coagulantes

Los coagulantes de más uso en el tratamiento de agua son :

- a) Los derivados del aluminio (sulfato de aluminio, alúmina de amonio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, polímeros de aluminio o policloruro básico de aluminio (PCBA))
- b) Los derivados de hierro, (sulfato férrico, sulfato ferroso y cloruro férrico)
- c) La cal.

Sales de aluminio

Cuando las sales de aluminio se adicionan al agua ocurren muchas reacciones por hidrólisis:



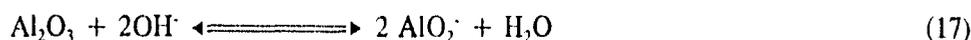
También pueden producirse moléculas neutras $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3]$ o cargadas negativamente $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]^-$ e, incluso, sufrir una polimerización $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$. Las reacciones que ocurren son muy complejas y dependen de las características químicas y físicas del medio, por lo que se debe recurrir a estudios en laboratorio para determinar la eficiencia del proceso sin necesariamente definir qué ocurre.

Un factor relevante que determina las reacciones es el pH. El hidróxido de aluminio tiene la forma química $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ y es anfotérico, es decir, puede actuar como ácido o base. En condiciones ácidas

$$[\text{Al}]^{+3} [\text{OH}]^{-3} = 1.9 \times 10^{-33} \quad (16)$$

Así, a un pH de 4.0 se puede tener hasta 51.3 mg/L de Al^{3+} en solución.

En cambio, en condiciones básicas, el óxido de aluminio hidratado se disocia.

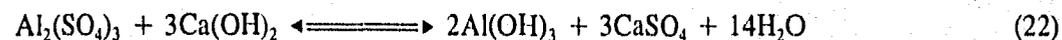
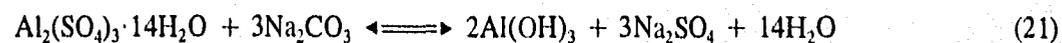
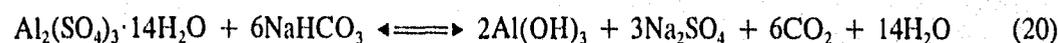


$$[\text{AlO}_2]^- [\text{H}]^+ = 4 \times 10^{-13} \quad (18)$$

A pH de 9.0 solo se tiene 10.8 mg/L de ión Al^{3+} . Esto es, las sales del hidróxido de aluminio actúan con mayor eficiencia en el intervalo ácido.

El proceso de remoción de sólidos se basa en el efecto de las sales metálicas sobre los coloides presentes en el agua por medio del catión, de acuerdo con la TABLA 5.

Por otra parte, es necesario considerar que las sales de aluminio reaccionan con compuestos que comúnmente se hayan en el agua de acuerdo con:



En términos cuantitativos, las reacciones anteriores expresan lo siguiente:

1 mg/L de aluminio reacciona con

====> 0.5 mg/L de alcalinidad natural, expresada como CaCO_3

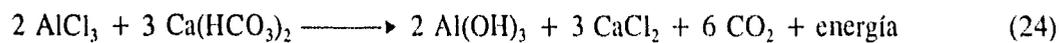
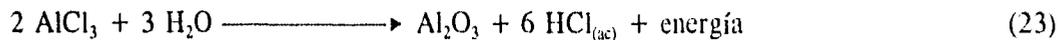
====> 0.33 mg/L 85% de cal viva como CaO

====> 0.39 mg/L 95% de cal hidratada como $\text{Ca}(\text{OH})_2$

====> 0.54 mg/L de soda ash o sosa solvay como CaCO_3

Cloruro de aluminio

Es un sólido de color blancoamarillento. El cloruro de aluminio anhidro, reacciona violentamente con el agua formando ácido clorhídrico, de acuerdo con:

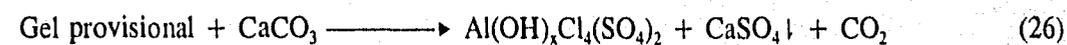
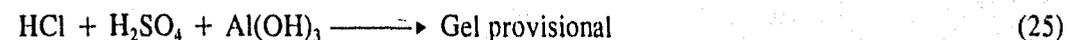


Polímeros de aluminio

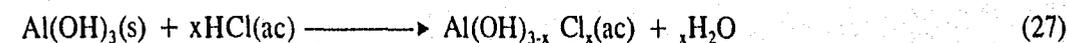
Las sales de aluminio se pueden condensar, formar polímeros capaces de coagular y flocular. El P.C.B.A. o P.A.C, policloruro básico de aluminio es un coagulante preparado por neutralización progresiva con sosa en una solución de cloruro de aluminio. Durante la neutralización, se obtienen polímeros de la forma $\text{Al}_6(\text{OH})^{6+}_{12}$ a $\text{Al}_{54}(\text{OH})^{8+}_{144}$. Esta reacción debe llevarse a cabo en el momento de su utilización ya que el PCBA no se conserva.

Por el contrario, otros productos comercializados con diversas marcas, tales como WAC (marca comercial) pueden prepararse y almacenarse durante un largo período, como consecuencia de la estabilidad aportada por la adición de diversos productos (aniones de ácidos fuertes, como SO_4^{2-} ...).

El PCBA es un producto químico representado por la fórmula $[\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_y(\text{SO}_4)_z]_n$ obtenido de acuerdo con dos procesos. El primero es llamado proceso de *Taki*, emplea hidróxido de aluminio en medio ácido produciendo un gel:



El segundo proceso de fabricación es llamado proceso de *Prodeco* y consiste en:



El PCBA es muy empleado en Europa para el tratamiento de agua y producción de papel. Los diferentes PACs elaborados (Locron L, Aqualenc, WAC, Alpoclar, Sachtoklar, PaperPacN, etc.); estos productos se tipifican por tres parámetros:

- a) Contenido de aluminio expresado en % de Al_2O_3 .
- b) Contenido de sulfatos expresado en % SO_4 .

c) Contenido de hidróxido expresado en basicidad.

Con este último parámetro se clasifican diferentes grupos; el más importante es el que tiene de 50-60 % de basicidad, conteniendo del 8 al 10% de Al_2O_3 , con 0.2 % de calcio y 2.7 % de sulfatos.

El segundo grupo con una basicidad de 40 a 50%, 16.5 a 17.5 % de Al_2O_3 , que no contienen sulfato, calcio y sodio.

La dosis que se adiciona al agua es de 25 a 30 μ moles o cerca de 1 a 10 mg/L con gradiente de 230 rpm por un minuto de mezclado rápido.

La baja velocidad de 43 rpm por 20 minutos permite la formación de "floc", seguido de un reposo de 30 minutos, lo que permite la sedimentación de los floc que se han formado.

Debido a la acidez de la solución, es necesario utilizar materiales plásticos para su preparación y distribución.

La TABLA 6 muestra las características principales de coagulantes de aluminio.

*Sales de hierro (Manwaring, 1971)**Cloruro férrico*

El cloruro férrico se presenta en forma sólida o en forma líquida, siendo esta última la más utilizada. La forma sólida tiene el aspecto de una masa cristalina, de color amarillo marrón, deliquescente (atrae la humedad), de fórmula teórica $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ y debe preservarse fuera del calor, puesto que se funde en su agua de cristalización a 34°C.

La forma líquida comercial tiene un contenido aproximado del 13 al 14% de hierro, es decir, unos 200 kg/m³ que equivale a 40% de $FeCl_3$. Es preferible expresar la dosis de coagulante en Fe equivalente, es decir 20.5% para la forma sólida y 14%, aproximadamente, para la solución acuosa comercial.

El cloruro férrico forma un coágulo más pesado y de mayor velocidad de sedimentación, puede trabajar en un intervalo de pH más amplio. En consecuencia, se usa cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentos son demasiados.

El intervalo de pH de 3 a 13 en el fierro se comporta como sigue:



$$[Fe]^{+3} [OH]^{-3} = 10^{-36} \quad (29)$$

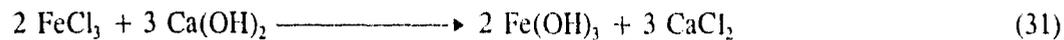
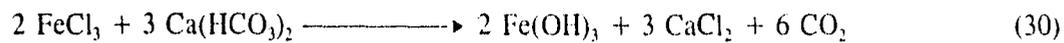
TABLA 5 DOSIS DE COAGULANTES Y SALES METÁLICAS ADICIONADAS AL
AGUA RESIDUAL (Degrémont, 1979; Eckenfelder, 1991)

COAGULANTE + SAL METÁLICA	DOSIS EN CLARIFICACIÓN (mg/L)	DOSIS EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (mg/L)
Sulfato de aluminio	10 a 150 expresada en producto comercial según la calidad del agua sin tratar o "bruta"	100 a 300 según la calidad del agua residual y la exigencia del efluente. 75 a 250 para coagulación de coloides y fósforo.
Sulfato de aluminio + cal	Se necesita de cal, un tercio de la dosis de sulfato de aluminio comercial $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	100 a 200 de cal por 150 a 500 de alúmina comercial
Sulfato de aluminio + sosa cáustica	Se necesita de sosa cáustica, NaOH, el 36% de la dosis de sulfato de aluminio comercial $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.	-
Sulfato de aluminio + carbonato de sodio	Se necesita de la llamada "soda ash" o "sosa solvay" a razón de 50 y 100 % de la dosis de sulfato de aluminio comercial.	-
aluminato de sodio	5 a 50 mg/m^3 de reactivo comercial con un contenido del 50% de Al como Al_2O_3	-

TABLA 6 RESUMEN DE LOS COAGULANTES DE ALUMINIO (A.W.W.A., 1971; Stran, 1989)

NOMBRE QUÍMICO	NOMBRE(ES) COMÚN(ES)	FÓRMULA	DENSIDAD (kg/m ³)	SOLUBILIDAD (mg/L)	PRESENTACIÓN(ES)	TRANSPORTE Y ALMACENAJE
Sulfato de aluminio	Alúmina Alumbre líquido Alumbre de filtración	Al ₂ (SO ₄) ₃ Al ₂ (SO ₄) ₃ ·XH ₂ O Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	609-721 961-1009 993-1073	60 a 0°C 65.3 a 10°C 71 a 20°C 78.8 a 30°C	Sólido, polvo, granulos, terrones de color café claro a gris verdoso. Líquido, verde claro, en solución al 1% y con un pH de 3-4	Manejo en seco en hierro, acero y concreto. Húmedo en plomo, plástico, hule endurecido, asfalto, cedro. Transporte en tanques de acero
Aluminato de sodio	Alumbre de soda	NaOAl ₂ O ₃	801- 961	Completa	Cristales de blanco a gris Polvo marrón. Líquido incoloro.	Manejo en hierro, caucho, plástico y acero inoxidable
Sulfato de aluminio y potasio	Alumbre de potasio	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·K ₂ SO ₄ ·24H ₂ O	993-1073 961-1041 961	36 a 6°C 395 a 15°C	Granos, trozos y polvo, 10-11 % de Al ₂ O ₃	Manejo en plomo, caucho y material de barro.
Sulfato de aluminio y amonio	Alúmina de amonia, Alumbre	Al ₂ (SO ₄) ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄ ·24H ₂ O	961	36 a -14°C 995 a 85°C	Trozos Polvo	Manejo en hierro, plomo y objetos de barro

La carga del floculo es positiva en la zona ácida y negativa en la alcalina, con una mezcla de cargas en el intervalo 6.5 a 8. Las reacciones del cloruro férrico con la alcalinidad son las siguientes:



En otras palabras,

1 mg/L de cloruro férrico reacciona con:

⇒ 0.92 mg/L de alcalinidad natural, expresada como CaCO_3

⇒ 0.72 mg/L 95% de cal hidratada.

El cloruro férrico se utiliza en combinación con el aluminato de sodio para el tratamiento de aguas residuales:



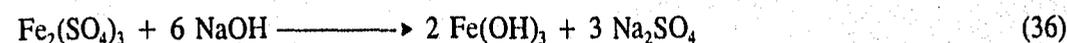
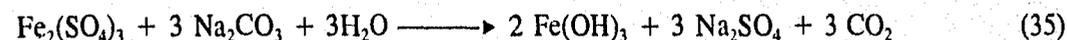
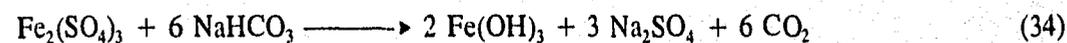
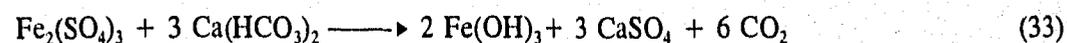
Las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso (FeCl_2) en presencia de hierro. Esta reacción explica su gran poder corrosivo sobre el acero, por lo que es necesario proteger los tanques de almacenamiento, de depósitos de preparación y de distribución.

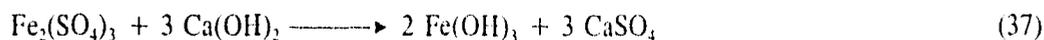
Por ello los tanques de almacenamiento se recubren con goma o vidrio aunque la forma anhidra se puede manejar en acero inoxidable.

Sulfato férrico

De fórmula $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ y que se presenta en forma de polvo blanco, muy soluble en agua y con densidad aparente de $1,000 \text{ kg/m}^3$. En disolución acuosa, el sulfato férrico se hidroliza con formación de ácido sulfúrico por lo que deben prevenirse los efectos de su acidez. La solución comercial se presenta al 40% (en volumen) y es una disolución que tiende a hidrolizarse y a depositar hidróxido férrico.

Las reacciones del sulfato férrico con la alcalinidad son de la siguiente manera:



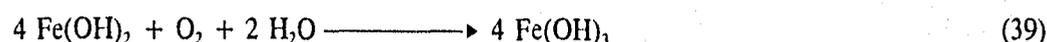


En general, los coagulantes férricos son útiles a un pH de 4.0 a 11.0. El sulfato férrico es particularmente exitoso para remover color a valores bajos y altos de pH y puede usarse para remover iones hierro y manganeso en el proceso de ablandamiento.

Sulfato ferroso

Con fórmula $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ es obtenido por el proceso llamado cloración de coperas y está disponible en forma de polvo de color verde. Tiene una densidad próxima a 900 kg/m^3 . Es una sal perfectamente soluble en agua con un contenido en hierro de aproximadamente el 19%. El pH de la solución al 10% es de 2.8 por lo que debe protegerse los tanques de almacenamiento, preparación y de distribución, o bien, se emplean materiales plásticos.

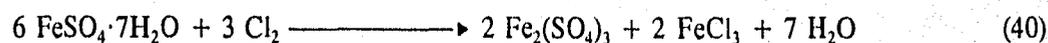
El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad natural o con otros compuestos alcalinos para formar hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$. A valores de pH de 8.5, la oxidación puede ser realizada por aireación con el oxígeno disuelto del agua o por la adición de cloro. Cada mg/L de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ adicionado requiere teóricamente 0.03 mg/L de oxígeno para obtener hidróxido férrico. El agua superficial contiene suficiente oxígeno para oxidar 100 a 200 mg/L de sulfato ferroso. Las dosis de cal requeridas para obtener la alcalinidad necesaria para la reacción son de 0.27 mg/L o por cada 1.0 mg/L de sulfato ferroso. Las reacciones más importantes del sulfato ferroso son:



Cloración de coperas

Cuando se utiliza el cloro para oxidar el hidróxido ferroso para obtener sulfato ferroso, el proceso de tratamiento es llamado cloración de coperas. El sulfato ferroso y el cloro pueden alimentarse en forma conjunta y, generalmente son mezclados para usarse en el sistema de coagulación. Teóricamente, cada mg/L de sulfato ferroso requiere de 0.13 mg/L de cloro, aunque se añade un exceso para completar la reacción y desinfectar el agua.

La reacción es la siguiente:



La coagulación con coperas cloradas se emplea para plantas que requiere precloración.

Clorosulfato férrico, FeClSO₄

Se presenta en solución concentrada, de color rojo oscuro, con densidad de 1,500 kg/m³, aproximadamente.

La TABLA 7 presenta las principales características de las sales de hierro para el tratamiento de aguas residuales.

En la TABLA 8 se indican las dosis empleadas en el proceso de clarificación y tratamiento de aguas residuales.

Cal

La cal es un producto barato y fácilmente accesible, por lo que se emplea con frecuencia en el tratamiento del agua. Sin embargo la cal no es un coagulante verdadero ya que su eficiencia se debe a la reacción con la alcalinidad de bicarbonatos para precipitar carbonato de calcio o con los ortofosfatos para precipitar hidroapatita cálcica y tiene la ventaja de que los lodos resultantes pueden ser fácilmente espesados, deshidratados y calcinados para convertir el carbonato de calcio nuevamente en cal para ser reusada.

La desventaja de tratar el agua con cal es que genera un pH elevado (Cáceres, 1993). La cal es el único de los coagulantes que tiene la habilidad de remover los sólidos disueltos totales.

Cal viva, CaO

En el tratamiento de aguas, la cal viva se utiliza en forma de polvo para neutralizar, precipitar y descarbonatar. Sus ventajas sobre la cal hidratada son: menores precios y necesidad de almacenamiento para una misma cantidad de iones calcio. La causticidad del producto obliga a tomar precauciones especiales para su almacenamiento y conservación.

Antes de su empleo, es preciso "apagarla" por hidratación en un depósito de mezclado y obtener lechada de cal. La reacción es exotérmica. La densidad de la solución varía entre 800 y 1,200 kg/m³. La pureza de la cal viva en óxido de calcio nunca debe ser inferior al 90%, con insolubles (carbonato de calcio y de sílice) inferiores al 5%. La solubilidad de la cal viva aparece indicada en la TABLA 9. Para la utilización de cal en roca o en granulados se necesita recurrir a aparatos más complejos.

TABLA 9 SOLUBILIDAD DE LA CAL (Degrémont, 1979)

TEMPERATURA °C	0	10	20	30	30	50	60	70	80	90	100
CaO g/L	1.4	1.33	1.25	1.16	1.06	0.97	0.88	0.80	0.71	0.64	0.5
Ca(OH) ₂ g/L	1.85	1.65	1.53	1.41	1.41	1.28	1.16	1.06	0.94	0.85	0.7

TABLA 7 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE ALGUNAS SALES DE HIERRO (Stran, 1989; De Zuam, 1990)

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	FORMA DISPONIBLE	APARIENCIA Y PROPIEDADES	ALIMENTACIÓN	MATERIAL DE MANEJO
CLORURO FÉRRICO	$FeCl_3$ (anhidro y como solución); $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (cristales)	Cloruro de hierro, ferrichlor	Solución en garrafrones de 20 y 50 L.	Solución: jarabe café oscuro; cristales: terrones café-anarillo; anhidro: verde, negro. Higroscópico, muy corrosivo; solución al 1%. pH 2.	En forma de solución conteniendo hasta un 45% de $FeCl_3$ (800 g/L para la forma anhidra).	Hule, vidrio, cerámica y plásticos.
SULFATO FÉRRICO	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$ y $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$	ferricfloc, ferriclear, sulfato de hierro	Gránulos por bulto	2 H_2O -café rojizo, 3 H_2O -gris rojizo; higroscópico, muy corrosivo.	La alimentación es mejor en seco, 170 a 270 g/L, tiempo de residencia en disolver 20 min.	Acero inoxidable, hule, plomo y cerámica, se debe almacenar en recipientes herméticos.
SULFATO FERROSO	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$.	Caparrosa, sulfato de hierro, sulfato de azúcar, vitriolo verde	Gránulos, cristales, polvo y terrones en bultos de 50 kg	Verde a café-amarillento; higroscópico, muy corrosivo.	Se aplica mejor como gránulos secos, 60 g/L, tiempo de residencia en disolver 5 min.	Manejarse seco en hierro, acero y concreto húmedo, en plomo, hule, hierro, asfalto, cedro y acero inoxidable, almacenarse seco en recipientes herméticos.

TABLA 8 DOSIS EMPLEADAS EN CLARIFICACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (Degrémont, 1979)

REACTIVO	DOSIS EN CLARIFICACIÓN [mg/L]	DOSIS EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES [mg/L]
CLORURO FÉRRICO	5 a 150 reactivo comercial $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	100 a 500 de reactivo comercial
CLORURO FÉRRICO + CAL	-	100 A 800 de cal para dosis de 100 a 600 de cloruro férrico comercial
SULFATO FÉRRICO	10 A 150 DE REACTIVO COMERCIAL $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	-
SULFATO FÉRRICO + CAL	Se necesita de cal el 40% de la dosis de sulfato férrico comercial	-
SULFATO FERROSO	10 a 100 de reactivo comercial $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	200 a 400 de reactivo comercial
SULFATO FERROSO + CLORO	Se necesita de cloro el 12% de la dosis de sulfato ferroso comercial adicionado	-
SULFATO FERROSO + CAL	Se necesita el 26% de la dosis de sulfato ferroso comercial $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	100 a 150 de cal para una dosis de 250 a 350 de sulfato ferroso comercial
CLORURO FÉRRICO + ALUMINATO SODICO	-	Se necesita tanto aluminato de sodio comercial del 50% de Al_2O_3 como cloruro férrico comercial $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Cal hidratada, Ca(OH)₂

Su empleo es idéntico al de la cal viva. La densidad de la cal varía entre 400 y 600 kg/m³. Su solubilidad en el agua decrece con la temperatura. La cal cernida se utiliza en el tratamiento de aguas en forma de polvo resultante de la hidratación de la cal viva de forma que se anula químicamente su afinidad por el agua. Se compone esencialmente de hidróxido de calcio, de hidróxido de magnesio y de impurezas (carbonatos de calcio y sílice). La cal en polvo se clasifica por su granulometría, dada en números de tamices. La correspondencia entre el número de tamiz y las dimensiones de las partículas son:

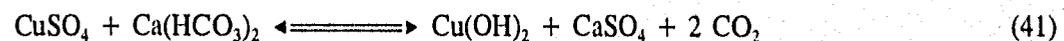
- Tamiz 80: partículas inferiores a 0,197 mm;
- Tamiz 100: partículas inferiores a 0,160 mm;
- Tamiz 120: partículas inferiores a 0,135 mm;
- Tamiz 150: partículas inferiores a 0,100 mm;
- Tamiz 200: partículas inferiores a 0,080 mm;
- Tamiz 300; partículas inferiores a 0,050 mm.

Como la cal, puede comprarse como cal viva o hidratada, en bultos o por volumen (que es más atractivo). La cal puede estar en forma de polvo o lechada. La velocidad para conducir por tubería la lechada debe ser como mínimo de 1.5 m/s (Imhoff, 1989) y los tubos deben ser limpiados periódicamente.

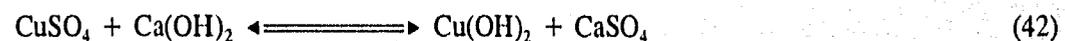
En la TABLA 10 se muestran las principales características de algunos compuestos de calcio utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Sulfato cúprico, CuSO₄

El sulfato cúprico se emplea en dosis de 5 a 20 mg/m³ y funciona de acuerdo con la reacción



ambas se pueden usar combinando con cal de acuerdo con



Se necesitan 30 g de cal Ca(OH)₂ por cada 100 g de sulfato cúprico CuSO₄ · 5H₂O (empleo excepcional).

TABLA 10 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS COAGULANTES A BASE DE CALCIO (Lund, 1971)

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	NOMBRE(S) COMUN(ES)	FORMAS DISPONIBLES	APARIENCIA Y PROPIEDADES	ALIMENTACIÓN	MATERIAL DE MANEJO
Óxido de calcio	CaO	Cal viva Cal cocida Cal química	Terrones Guijarros Triturada Molida En bultos a prueba de humedad de 50 kg	Blanca Grisáceo Inestable Cáustica Irritante Exotérmica al añadir agua Una solución saturada tiene un pH de 12.4	Aplicación es como: Guijarros de 2 cm, Triturada de tal manera que atraviese una argolla de 2.5 cm. Después de apagarla diluirla a 110 g/L (solución al 10%).	Manejo en seco en hierro, acero, concreto; apagada, en hierro, acero, manguera de hule y concreto; no debe almacenarse durante más de 60 días, aún en recipientes herméticos.
Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂	Cal hidratada Cal apagada	Polvo en bultos de 20 kg	Blanco Cáustico Polvoriento e irritante	Alimentar en seco, 60 g/L máximo y como suspensión 110 g/L.	Manejo en seco, manguera de hule, hierro, acero, asfalto y concreto. Se debe almacenar en lugar seco.
Cal clorada	CaO·2CaOCl ₂ ·3H ₂ O	Polvo Blanqueador Cloruro de cal	Polvo en tambores de 350 kg	Blanco Corrosivo Oloroso Inestable se deteriora	Se debe disolver y mezclar totalmente en tanque, seguido de un período de sedimentación para remover los sólidos insolubles. Aproximadamente 39 mg/L hacen una solución al 1% de Cl ₂ disponible.	Manejo en vidrio, hule, barro, madera. Debe almacenarse en seco.

2.4 Floculación

El coagulante introducido da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión. Se favorecerá el engrosamiento del flóculo por medio de:

- Una coagulación previa, tan perfecta como sea posible.
- Un aumento de la cantidad del flóculos en el agua; en efecto conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior (recirculación de lodos).
- Una agitación homogénea y lenta con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales sin carga eléctrica se encuentren entre sí.
- El empleo de ciertos productos, llamados floculantes.

2.4.1 Práctica de la floculación

Del coagulador, en el que tiene lugar la agitación rápida, y el floculador, en el que se mantiene una agitación lenta durante cierto tiempo. Esta agitación lenta, tiene lugar en un tanque separado, o bien, en el interior del decantador propiamente dicho.

La elección del tipo de mezclador y del floculador está en estrecha relación con la elección del procedimiento de separación utilizado al final del tratamiento; situación que debe estudiarse cuidadosamente, cuando la floculación es del tipo difuso.

2.4.2 Floculantes

Los floculantes son también llamados **ayudantes de coagulación** ayudantes de floculación e, incluso, ayudantes de filtración y son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones. La acción que ejercen es al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del flóculo (flóculo más pesado, voluminoso y coherente). Los floculantes más comunes son: la sílice activada y los polielectrólitos.

Los floculantes se clasifican por su naturaleza (mineral u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico, no iónico y zwitteriónico).

Sílice activada

La sílice activada fue el primer floculante que se empleó, y sigue siendo, en la actualidad, el que mejores resultados puede dar, principalmente si se utiliza juntamente con sulfato de aluminio. Se introduce generalmente después del coagulante y se prepara neutralizando parcialmente la alcalinidad de una solución de silicato de sodio.

Preparación de la sílice activada

La sílice activada está constituida por una solución de ácido polisilícico (H_2SiO_3)₄ procedente de la polimerización controlada del ácido silícico. Es poco estable por lo que debe prepararse *in situ*. Durante mucho tiempo se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse con las sales de aluminio, hasta el reciente desarrollo de los polielectrólitos. Se sigue utilizando frecuentemente en la producción del agua potable. Existen dos métodos de preparación por lote que se describen a continuación.

Aunque también, puede -activarse- el silicato de sodio con ácido clorhídrico, cloro, ácido carbónico, bicarbonato de sodio, etc., en la dosis necesaria para neutralizar el 90% de su alcalinidad.

a) Método Baylis

- Partir de 25 mL o 35 g de silicato de sodio de 41°Bé (28% de SiO_2)
Completar hasta 500 mL con agua
- Añadir lentamente, y agitando, 170 mL de agua que contenga 2.4 mL de ácido sulfúrico de 66°Bé
- Agitar lentamente durante 2 h
- Completar hasta 1 L
- La solución así obtenida contiene un 0.5% de SiO_2 .

b) Método Hay

- Partir de 25 mL o 35 g de silicato de sodio de 41°Bé (28% de SiO_2)
Completar hasta 400 mL con agua
- Añadir lentamente y agitando, 6.7 g de sulfato de amonio disuelto en 100 mL de agua
- Agitar lentamente durante 2 h
- Completar hasta 1 L
- La solución obtenida contiene un 1% de SiO_2

La solución obtenida con el método Hay es más estable que la obtenida por el método Baylis. La presencia de sales de amonio hace difícil la aplicación del método Hay cuando existe una precloración. En los dos métodos descritos anteriormente, la preparación industrial requiere precauciones especiales.

Industrialmente, en grandes instalaciones, se prefiere dosificar las soluciones de silicato de sodio y de ácido de forma continua. Para ello se mezclan estas dos soluciones en un depósito a donde se alimentan y a continuación se hace pasar la solución a un depósito de maduración, con un tiempo de residencia de media hora. Para producir 1 kg de SiO_2 por hora se necesitan aproximadamente: 2.5 L/h de silicato de sodio a 41 °Bé y 0.24 L/h de ácido sulfúrico a 66 °Bé ó 850 g/h de bicarbonato de sodio con 100 L/h de agua. Se requiere controlar regularmente la neutralización del silicato de sodio por medio de la determinación de la alcalinidad.

Silicato de sodio Na_2SiO_3

Es empleado en floculación y acondicionamiento del agua. Se utiliza en forma sólida o líquida, empleándose con mayor frecuencia esta última por razones de comodidad de preparación. El silicato de sodio líquido se define por su relación másica (Rma) o su relación molar (Rmo) y su densidad. La relación másica es la relación entre la masa de sílice y la masa de óxido de sodio:

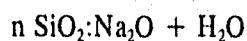
$$Rma = \frac{\text{Masa SiO}_2}{\text{Masa Na}_2\text{O}} \quad (43)$$

Cuanto menor sea la relación, mayor será la alcalinidad. Los silicatos se clasifican, generalmente, en silicatos neutros ($Rma \geq 3$) y alcalinos ($Rma < 3$).

La relación molar, Rmo, es la relación entre el número de moles de sílice y las del óxido de sodio:

$$Rmo = 1,0323 \times Rma$$

La concentración de las soluciones se determina por el porcentaje en masa de $n \text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ con relación a la masa total



La viscosidad de una solución de silicato de sodio aumenta si crece la relación $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$, o si decrece la temperatura. Los principales silicatos de sodio comerciales utilizados se definen por su concentración en °Baumé (TABLA 11).

El silicato de sodio nunca debe almacenarse en recipientes de acero galvanizado, ya que se produce un ataque del zinc con desprendimiento de hidrógeno.

TABLA 11 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SILICATOS
(Degrémont, 1979)

	Silicato 35/37 °Bé	Silicato 38/40 °Bé	Silicato 40/42 °Bé
% de sílice	24 a 26	26,5 a 28,5	27,5 a 29,5
Relación másica	3,3 a 3,4	3,2 a 3,3	3,1 a 3,2
Densidad (kg/m ³)	1320 a 1340	1350 a 1380	1380 a 1410
Viscosidad (mPa.s o cP) a 20°C	40 a 70	100 a 200	180 a 300

Otros floculantes minerales

Otros floculantes de tipo mineral que se emplean en el tratamiento de agua son:

- algunas arcillas
- blanco o carbonato de calcio precipitado
- carbón activo en polvo (cuando se impone este tratamiento)
- arena fina, kieselguhr (diatomeas).

Floculantes orgánicos (Polielectrólitos)

El progreso de la Química Orgánica ha permitido el desarrollo de otros floculantes más activos. Algunos, se fabrican a partir de productos naturales: alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales), derivados de la celulosa y ciertas gomas.

Los alginatos se utilizan especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas, aunque a veces, también dan buenos resultados con sales de aluminio. Se obtienen a partir del ácido algínico, el cual, a su vez, se extrae de algas marinas (en especial, del género Laminaria). Su empleo en el tratamiento de aguas de abastecimiento público, está autorizado en todos los países.

Otros floculantes son totalmente sintéticos. Se distinguen, por una parte, las poliacrilamidas, de larga cadena y gran peso molecular (2 a 4×10^6 g/mol) y, por otra, las poliaminas, que tienen, generalmente, cadenas más cortas y menor peso molecular ($< 1 \times 10^6$ g/mol). Las poliacrilamidas se utilizan en el tratamiento de clarificación de aguas y en la deshidratación de lodos, mientras que las poliaminas se emplean, sobre todo, en clarificación.

Los cuatro grupos de floculantes se definen como sigue (Myers, 1991):

a) Aniónico. Cuando el grupo hidrofílico lleva carga negativa, como el carboxilo (RCOO^-), los sulfonatos (RSO_3^-) y los sulfatos (RSO_4^-).

b) Catiónico. Cuando hay un componente hidrofílico a carga positiva, como por ejemplo: haluro cuaternario de amonio ($\text{R}_4\text{N}^+\text{Cl}^-$). Con frecuencia a los polielectrólitos

catiónicos se les denomina coagulantes primarios en tanto que los aniónicos y no iónicos son conocidos como ayuda coagulante.

c) No iónico. Cuando el hidrófilo no tiene carga derivado de la solubilidad en agua de grupos muy polares, tal como polioxietileno ($---OCH_2CH_2O---$) o grupos poliol. Los polielectrólitos no iónicos se adsorben y flocculan produciendo una ligadura de hidrógeno entre una superficie sólida y uno de sus grupos no polares.

d) Anfotérico (ó Zwitteriónico). Aquel cuyas moléculas cuentan con ambas cargas (negativa y positiva), tal como las sulfobetainas, $RN^+(CH_3)_2CH_2CH_2SO_3^-$.

Los polielectrólitos son polímeros orgánicos sintéticos de alto peso molecular que poseen la característica de tener una alta tendencia a adsorberse en la superficie de las partículas en suspensión; están compuestos por unidades denominadas monómeros. La reacción química que se emplea para juntar los monómeros se denomina polimerización. Un polímero que está constituido por el mismo tipo de unidades se denomina homopolímero y aquel que tiene dos o más unidades diferentes se denomina copolímero. La cantidad y tipo de monómeros que se combinan para formar el polímero se deriva de su proceso de fabricación. Además, su construcción puede ser lineal, ramificada o cruzada por lo que existen un gran número de polímeros en el mercado.

Los polímeros crean flóculos de mayor tamaño (0.3 a 1 mm) empleando dosis muy bajas (0.1 a 1 mg/L) y en combinación con aluminio o hierro. Los polielectrólitos, en general, sirven como coagulantes al reducir la carga de un coloide.

Actualmente, el mecanismo de acción de los polielectrólitos no es completamente conocido. Akers (1972) sugiere que en una solución con mezcla ocurre lo siguiente:

- a) Transporte del polímero hacia los sólidos suspendidos.
- b) Adsorción (adhesión inicial) de las cadenas poliméricas.
- c) Acomodo de los polímeros adsorbidos para formar configuraciones en equilibrio.
- d) Colisión entre partículas que tienen polímeros adsorbidos para formar flóculos.
- e) Ruptura de flóculos.

Estas etapas pueden ocurrir en forma simultánea, siendo la limitante la del transporte y adsorción inicial del polímero.

Polielectrólitos catiónicos

Los polielectrólitos catiónicos empleados tienen un peso molecular promedio de al menos 10,000 uma (unidad de masa atómica).

Como coagulantes primarios, los polielectrólitos catiónicos mejoran la coagulación y deposición de las partículas cargadas negativamente por la neutralización de la carga superficial de la partícula. En consecuencia, si se añade en exceso ocurre una reestabilización de la suspensión y se evita la coagulación debido a un exceso de cargas de signo positivo +. Por este motivo el procesos de mezcla rápida y lenta tienen una gran influencia en el rendimiento.

Estos polímeros se obtienen incorporando grupos amino y aminas cuaternarias en la molécula del polímero. Los homopolímeros catiónicos más comunes son el cloruro del poli-dimetil-dialilamonio y poliaminas condensadas. A diferencia de las poliaminas, la densidad de carga de los polímeros catiónicos cuaternarios no depende del pH.

A continuación se presentan algunos polímeros y copolímeros con algún ejemplo de su uso:

- Copolímero de Acrilamida-Vinil lactama. Muy utilizado en la floculación de los sedimentos de la fabricación de papel.
- Poli-imidoaminas. Se utilizan en la sedimentación de partículas inorgánicas.
- Polímeros catiónicos. Tienen innumerables usos: en procesamiento de minerales, remoción de fosfatos, coagulación de sólidos finamente divididos, en acción microbiológica, etc. (Gutcho, 1972; Rey, 1986).

Polielectrólitos aniónicos

El término de "polielectrólito aniónico" cubre a todos los polímeros orgánicos que en un medio acuoso se ionizan en un número substancial de grupos aniónicos distribuidos en varias posiciones dentro de la molécula.

Los polímeros orgánicos sintéticos que contienen solamente ácidos carboxílicos en la cadena son aniónicos, los polímeros orgánicos sintéticos aniónicos pueden contener también ésteres alquil carboxílicos, fenilos, alquilos, halógenos, amidas, ácidos carboxílicos, grupos hidroxilo y grupos alcoxi.

Los polímeros aniónicos tienen altos pesos moleculares, del orden de 10 veces más que los catiónicos (peso molecular entre 1×10^6 a 15×10^6 uma). Se usan para mejorar la resistencia de los aglomerados formados y aumentar su tamaño. Por lo anterior, estos polímeros se añaden en la filtración directa justo antes del proceso.

A continuación, se enumeran una serie de polímeros y copolímeros aniónicos y sus aplicaciones más comunes:

- Copolímeros de acrilamida-acrilato. Se usa en la industria de la azúcar. Este copolímero en la sedimentación (clarificación) permite que las impurezas del azúcar se vuelvan flóculos largos y densos, lo cual hace que las partículas floculadas se deshidraten mucho más rápido en la filtración al vacío.

- Acrilatos. Se usan para la remoción de arcillas de corrientes de agua. En muchos casos se flocula la arcilla pero se tiene que centrifugar el agua para remover los flóculos resultantes.
- Copolímero de acrilamida-ácido acrílico. Una aplicación de este copolímero es en la clarificación y remoción de fosfatos. El copolímero más usado es un compuesto de entre 80 y 50 por ciento en peso de acrilamida o metacrilamida interpolimerizada de 20 a 50 por ciento de ácido acrílico o metacrílico.
- Ácido acrílico. Entre otros usos, los polímeros que contiene al menos 80% de ácido acrílico y sus sales, son muy eficientes en la separación de lodos (rojos) de la alúmina.
- Sulfonatos aromáticos de polivinilo. Tiene un uso similar al del ácido acrílico.
- Copolímero de acrilamida-acrilato de sulfopropil de sodio. Muy empleado en el refinamiento de minerales solubles en agua.

Polielectrólitos no iónicos

Se emplean los aminoaldehidos y el poliglicidil (PM de 50 a 50,000 o más) y el látex orgánico sintético que ha demostrado ser muy efectivo en la floculación de materia orgánica e inorgánica suspendida.

Los usos de los polielectrólitos no iónicos son: surfactantes oxialquilados para la remoción de sólidos, dispersión de polímeros de alto peso molecular en agua, remoción de sulfonatos de alquil-bencilo de aguas residuales y remoción de la dureza del agua.

Polielectrólitos Zwitteriónicos

El nombre del polímero zwitteriónico significa doble ión. La idea de utilizar a los polímeros zwitteriónicos como floculantes se debe a sus características particulares de alta solubilidad en el agua y su estructura molecular, la cual contiene una carga positiva y una carga negativa que permite contar con la ventaja de los polielectrólitos catiónicos y aniónicos

2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de los polielectrólitos en el tratamiento de agua residual

Carácter iónico

En general, los polielectrólitos no iónicos y aniónicos prácticamente no tienen efecto en la remoción de sólidos y cuando ésta ocurre se debe a la formación de puentes intramoleculares. En cambio, la eficiencia lograda con los catiónicos es importante y dependiente de la densidad

de carga (a mayor densidad mejor es la remoción AP30 > NP10 > CP400 > CP402 (marcas comerciales)) (FIG 7), debido a que el mecanismo de desestabilización del polielectrólito es la etapa importante.

pH

Los polímeros catiónicos son diseñados para trabajar con valores bajos de pH. La poliamina hidrolizada en agua da OH⁻, cuando el pH es alto; la reacción es reversible y el polímero se vuelve no iónico. Algo similar sucede con los polímeros aniónicos con valores altos de pH. Los no iónicos y los cuaternarios sólo son influidos débilmente por el pH. Sin embargo, no debe interpretarse que los polímeros aniónicos no son efectivos cuando el pH es bajo; simplemente quiere decir que, en este caso, ya no son iónicos o pueden tener buenos resultados en la floculación a causa de sus enlaces no iónicos. Lo mismo se aplica a los catiónicos (Krammer, 1982).

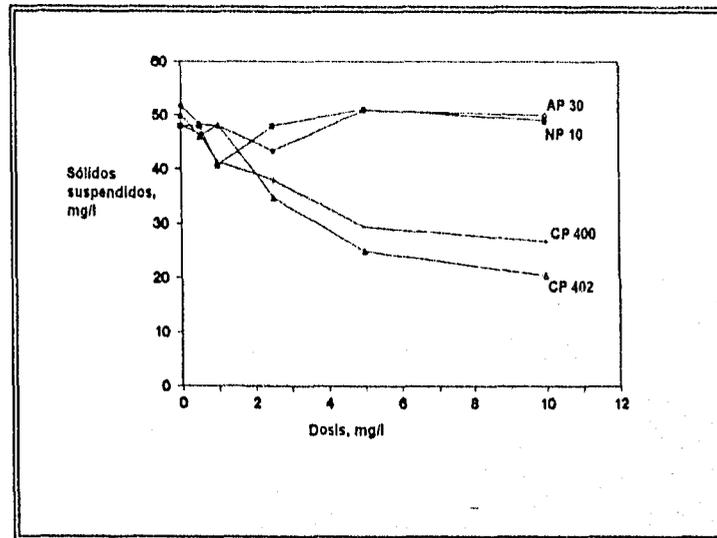


FIG 7 Efecto de polielectrolitos en la remoción de sólidos suspendidos (Fettig *et al.*, 1990)

Peso molecular

De acuerdo con Fettig *et al.* (1990), la eficiencia de los polielectrolitos catiónicos es independiente de su peso molecular, pero está íntimamente ligada a su densidad de carga. Yin-Lee y Gregory (1990) demostraron con una solución sintética que, para fuerzas iónicas bajas, el peso molecular influye en la floculación de forma positiva pero que, en soluciones con una alta fuerza iónica (como sería el agua residual) este efecto es despreciable y netamente sobrepasado por la densidad de carga.

Concentración del polielectrólito

Yin-Lee y Gregory (1990) demostraron que la obtención de una dosis óptima no es un experimento trivial ya que diferentes concentraciones de polielectrólito conducen a formas de curvas diferentes que hacen que a dosis inferiores se logre una mejor eficiencia de remoción (FIG 8).

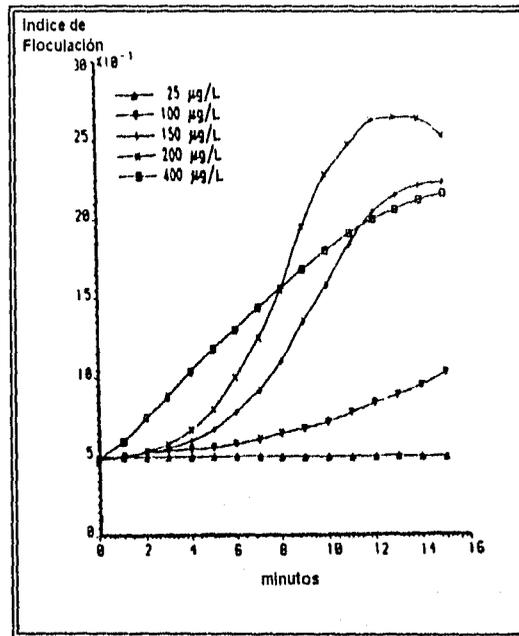


FIG 8 Efecto de la concentración del polielectrólito en la floculación (Yin-Lee y Gregory, 1990)

Salinidad

En general, se considera que a mayor salinidad es mejor el efecto de los polielectrólitos. Sin embargo, Fettig et al. (1990), efectuaron un estudio donde, al añadir cantidades de agua de mar a agua residual doméstica (para variar la fuerza iónica), no se tuvo efecto alguno (FIG 9).

De acuerdo con Yin-Lee y Gregory (1990), a medida que la fuerza iónica de una solución se incrementa, la floculación ocurre (FIG 10).

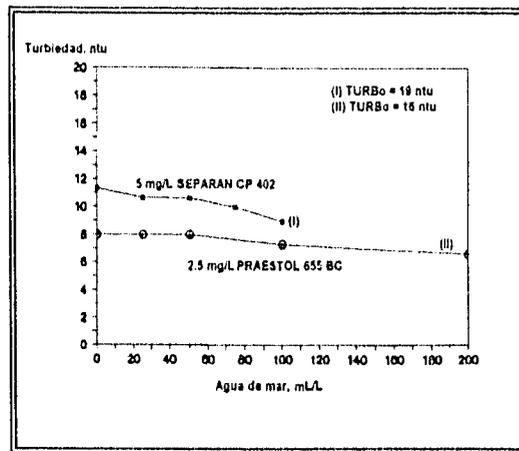


FIG 9 Efecto de la salinidad del agua de mar en la turbiedad (Fettig *et al*, 1990)

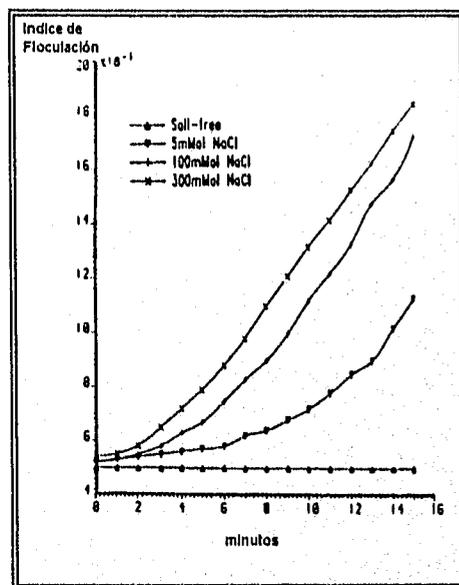


FIG 10 Efecto de la fuerza iónica en la floculación (Yin-Lee y Gregory, 1990)

Densidad de carga

Este valor es directamente proporcional al grado de floculación (FIG 11). En este caso ocurren dos cosas: para un mismo grado de floculación se requiere menor cantidad de polímero y el tiempo de la formación de flóculo es también menor.

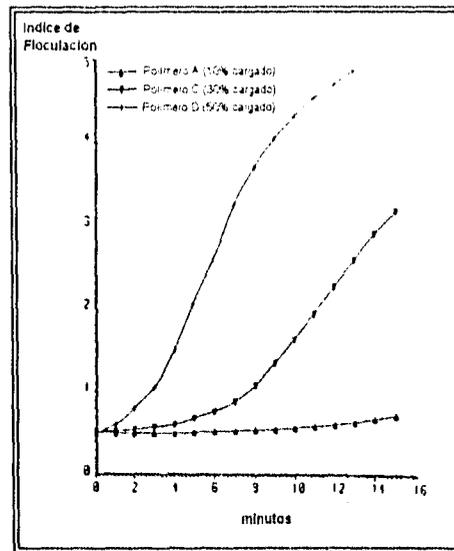


FIG 11 Efecto de la densidad de carga en la floculación (Yin-Lee y Gregory, 1990)

Remoción de otros compuestos con polielectrólitos

Fósforo

Prácticamente no se tiene remoción de fósforo con los polielectrólitos.

Bacterias y virus

Fettig *et al.*, (1990) señalan que los polielectrólitos son muy efectivos para la eliminación de bacterias y virus ya que quedan atrapados en la floculación en el momento de formarse el aglomerado.

Floculación natural del agua residual

La turbiedad que contiene el agua residual es debida a la cantidad de material coloidal suspendido o por sólidos dispersos que no sedimentan con facilidad.

De acuerdo a estudios realizados (Coma y Jabbouri, 1991) se tienen remociones de sólidos suspendidos por coagulación natural del 40% al 60% cuando se usa el tratamiento primario avanzado y utilizando un lecho fluidificado, la remoción de sólidos es del 95% (Fettig *et al.*, 1990). Para obtener una aglomeración más eficiente, basta suministrar suficiente energía.

2.4.4 Manejo de floculantes (polielectrólitos)

Los floculantes orgánicos se clasifican por su presentación en sólidos y líquidos. No hay ninguna regla que permita deducir *a priori* cuál de los floculantes da mejores resultados, por lo que siempre deben efectuarse ensayos de laboratorio. En la descarbonatación con cal, la elección debe orientarse hacia un floculante no iónico o aniónico. En el caso de una clarificación, la elección debe hacerse entre un floculante no iónico o ligeramente aniónico y un floculante catiónico. Si el valor del pH está próximo al de equilibrio y hay presencia de gran cantidad de materia orgánica se ensayará, en primer lugar, un floculante catiónico. Asimismo, se determinará el tiempo que debe transcurrir entre la introducción del coagulante y la del floculante, factor que tienen gran importancia, por ejemplo, en el caso de la sílice activada.

Si bien los fabricantes generalmente facilitan los datos necesarios para la utilización óptima de sus productos (TABLA 12), que puede también servir de guía, resulta siempre conveniente corroborar esa información de manera experimental.

Cabe señalar que para la potabilización del agua es indispensable tener en cuenta la legislación del país ya que el empleo de floculantes orgánicos está reglamentado.

Algunos países tienen publicada una lista de los productos autorizados: En Francia, con fecha 1º de agosto de 1978, el Consejo Superior de Higiene no había autorizado, para las aguas potables, ningún producto orgánico de síntesis. En España, la Dirección General de Sanidad autoriza el uso de varios floculantes.

Los polielectrólitos en polvo se preparan en concentraciones de 2 a 10 g/L, con un tiempo mínimo de contacto de 30 a 60 min. Su distribución se efectúa en dosis de 0.1 a 1 g/L. Las suspensiones se conservan por menos de una semana. Para los polielectrólitos líquidos, la distribución se hace a las mismas concentraciones, expresadas en producto seco. En ambos casos, la solubilidad es muy variable y su viscosidad elevada (hasta 10 Pa.s (100 Poises) para concentraciones de 5 g/L). La densidad aparente varía de 300 a 600 kg/m³.

2.4.5 Floculantes empleados en el tratamiento del agua (Polielectrólitos)

Existen alrededor de 1000 polielectrólitos aceptados para su uso en el agua por la EPA (Letterman y Pero, 1990). Los más comunes para preparación de agua potable en Estados Unidos son los de la TABLA 13 y los de TABLA 14 para Noruega. La TABLA 15 muestra algunas propiedades de polielectrólitos aniónicos.

TABLA 12 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS FLOCULANTES
ORGÁNICOS (Degrémont, 1979)

Origen del producto	Almidón, alginatos	Acrílicos sólidos	Acrílicos líquidos	Poliaminas
Almacenamiento, embalaje	Sacos	Sacos o barriles	Bidones o cisternas	Bidones
Manipulación	Pesada o dosificadores en seco	Pesada o dosificadores en seco	Dosificación por bidones enteros o por bomba dosificadora. Paso por gravedad o mediante aire comprimido (cisternas)	
Empleo	Preparación de una solución madre	Difusor útil o necesario. Concentración de la solución madre: 0,5 a 1%	Difusor indispensable. Concentración de la solución madre: 0,3 a 0,5%; excepcional- mente 1%	Miscible en agua con agitador lento
Dosificación		Por bomba dosificadora	Por bomba dosificadora	Bombeo tal cual o en solución al 10% (bomba dosificadora lenta, a causa de la viscosidad de la solución)
Preparación de la solución de empleo		Dilución después de la dosificación	Dilución después de la dosificación	Dilución después de la dosificación
Concentración en la inyección		1 a 3‰	0,5 a 2‰	Aproximada- mente 1%
Tiempo de reacción		30 a 300 segundos, según el producto	20 a 120 segundos, según el producto	20 a 120 segundos, según el producto

TABLA 13 POLÍMEROS MAS COMUNES PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN ESTADOS UNIDOS (Letterman y Pero, 1990)

NOMBRE COMÚN Y ABBREVIACIÓN	NOMBRE QUÍMICO	NUMERO DE REGISTRO CAS
Polímeros de acrilamida		
Poliacrilamida (poliacrilamida no iónica, PAM)	2-Propanamida, homopolímero (C ₃ H ₅ NO) _n	9003-05-8
Acilamida/copolímero de ácido acrílico (PAM-PAA)	Ácido 2-propenoico, polimerizado con 2-propanamida (C ₃ H ₃ NO, C ₃ H ₅ O ₂) _n	9003-06-9
PAN-PAA (sal de sodio)	Ácido 2-propenoico, sal de sodio, polimerizado con 2-propanamida (C ₃ H ₃ O ₂ , C ₃ H ₅ NO, Na) _n	25085-02-3
Poli(DADMAC) Cloruro de dialildimetil amonio, homopolímero)	Cloruro de N,N-Dimetil-N-2-propenil-2-propenil-1-aminio, homopolímero (C ₈ H ₁₆ N, Cl) _n	26062-79-3
Epi-DMA polímero/Epilclorhidrín-dimetilamina polímero	N-Metil metanamina, polimerizado con (clorometil)oxirano (C ₂ H ₃ N, C ₂ H ₃ ClO) _n	25988-97-0
Epi-DMA	Cloruro de Poli(dimetiliminio)(2-hidroxi-1,3-propanedil (C ₃ H ₇ NO, Cl) _n	39660-17-8
Epi-DMA con etilendiamina	polímero 1,2 de etanendiamina con (clorometil) oxirano y N-metil metanamina (C ₂ H ₇ N, C ₂ H ₃ ClO, C ₂ H ₅ N) _n	42751-79-1
Polímero adicional de epilclorhidrín básica polímero de poliamina/Epilclorhidrín con monometilamina	Metanamina polimerizada con (clorometil) oxirano (CH ₃ N, C ₂ H ₃ ClO) _n	31568-35-1
Epilclorhidrín con una poliamina	N,N-dimetil 1,3 propanendiamina polimerizada con (clorometil)oxirano (C ₃ H ₁₁ N ₂ , C ₂ H ₃ ClO) _n	27029-41-0
Poli(etil)enimin		
Poli(etil)enimin	Aziridina, homopolímero (C ₂ H ₃ N) _n	9002-98-06
PEI*	Etanamina, homopolímero (C ₂ H ₇ N) _n	25988-99-2
PEI*	Poli(iminio 1,2 etanedil)(C ₂ H ₃ N) _n	26913-06-4
Polímeros de poli(etil)en poliamina		
Poli(etil)en poliamina (Poli(alkil)enamina)	1,2-Dicloroetano polimerizado con amoniaco (C ₂ H ₄ Cl ₂ , H ₂ N) _n	8660-40-1
Poli(etil)en poliamina*	1,2-Dicloroetano polimerizado con amoniaco (C ₂ H ₄ Cl ₂ , H ₂ N) _n	29320-38-5
Poli(etil)en poliamina*	1,2-Etanendiamina polimerizado con 1,2 dicloroetano (C ₂ H ₆ N ₂ , C ₂ H ₄ Cl ₂) _n	49553-92-6
Polímeros de melamina y formaldehído	1,3,5-Triazina 2,4,6-triamino polimerizado con formaldehído (C ₃ H ₆ N ₆ , CH ₂ O) _n	9003-08-01
Poliacrilamina(AMPAM) modificada por la reacción de Mannich	N,N-[dimetil(amino)metil] 2-propanamida homopolímero (C ₈ H ₁₂ N ₂ O) _n	25765-48-4
Poli(DMAEMA) (N,N-dimetilaminoetil metacrilato, homopolímero)	2-metil-2-ácido propenoico, 2-(dimetilamino) etil éster, homopolímero (C ₈ H ₁₁ NO) _n	25154-86-3

* Compuestos de igual composición pero estructura diferente debida al proceso de fabricación.

TABLA 14 POLIELECTRÓLITOS COMÚNMENTE EMPLEADOS EN NORUEGA PARA AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA (Fettig *et al.*, 1990)

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	CARÁCTER IÓNICO
Separan AP 30 ¹	1 a 3 x 10 ⁶	Aniónico
Separan NP 10 ¹	1 a 3 x 10 ⁶	No iónico
Separan CP 400 ¹	-	Ligeramente catiónico
Separan CP 402 ¹	-	Altamente catiónico
Magnafloc 455 ²	-	Ligeramente catiónico
Magnafloc 292 ²	8 x 10 ⁶	Altamente catiónico
Zetag 76 ²	10 a 12 x 10 ⁶	Altamente catiónico
Praestol 610 BC ³	7 x 10 ⁶	Ligeramente catiónico
Praestol 655 BC ³	7 x 10 ⁶	Altamente catiónico
Rohafloc KF 975 ⁴	-	Altamente catiónico

¹Dow Chemical Company

²Allied Colloids Ltd.

³Chemische Fabrik Stockhausen GmbH

⁴Rohm GmbH

TABLA 15 PROPIEDADES DE POLÍMEROS (POLÍMERO "DMAEA" (MARCA COMERCIAL) DE ALLIED COLLOID LTD) (Yin-Lee y Gregory, 1990)

POLÍMERO DMAEA	% CATIÓNICO	VISCOSIDAD, cm ³ /g	PESO MOLECULAR ⁽¹⁾	DIÁMETRO nm ⁽²⁾
A	10	6	2.4X10 ⁵	100
B	30	2	4.5X10 ⁵	60
C	30	6.5	2.7X10 ⁶	110
D	50	7	3.0X10 ⁶	140

(1) Calculado a partir de la viscosidad por el proveedor con la ecuación de Mark-Houwink con valores de $k=3.7 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{g}$ y α de 0.66

(2) Determinado con un espectroscopio de correlación fotónica, i.e. por coeficiente de difusión.

2.4.6 Floculadores

La floculación se efectúa en depósitos provistos de sistemas de agitación que giran con relativa lentitud para no romper los flóculos formados pero, a la vez con la velocidad suficiente para conseguir su engrosamiento progresivo e impedir que se formen sedimentos sobre el fondo del depósito. El volumen del tanque de floculación debe ser el necesario para cumplir un tiempo de floculación determinado mediante ensayos de laboratorio.

Los sistemas de agitación pueden estar constituidos por hélices especialmente diseñadas para este fin o por un conjunto de palas fijadas sobre un eje giratorio, vertical u horizontal. Es conveniente obtener en el floculador un gradiente de velocidad comprendido entre 20 y 50s⁻¹ y prever, en la transmisión del sistema de agitación, un conjunto motorreductor para que pueda regularse la velocidad de agitación en función de la calidad de la floculación.

Si el volumen por flocular es grande, es mejor utilizar varios depósitos de pequeñas dimensiones, colocados en serie. En este caso, cada uno está provisto de un sistema de agitación independiente, con velocidad variable y que puede adaptarse mejor a la calidad de la floculación.

Por último, es importante que no se rompa el flóculo al pasar del floculador a la zona de decantación. Según la calidad del agua tratada, las velocidades de paso deberán limitarse a los siguientes valores:

- Flóculo de hidróxido metálico frágil $v = 0,20$ m/s
- Flóculo de hidróxido metálico resistente $v = 0,50$ m/s
- Flóculo de aguas residuales $v = 1$ m/s

2.5 Control de la coagulación en el laboratorio

Debido a la complejidad de las reacciones que ocurren en la coagulación-floculación sólo es factible establecer las condiciones recomendables de trabajo en laboratorio. Para este propósito existen dos métodos: la prueba de jarras y la medición del potencial Zeta.

2.5.1 Medición del potencial Zeta

Existen muchos aparatos comerciales para medir el potencial Zeta, el más preciso es el que emplea rayo láser en el cual no detecta partículas individuales pero ajusta mejor la imagen para producir una nube estacionaria de partículas usando la técnica del prisma rotatorio. En la práctica, existe una variación estadística de la movilidad individual de las partículas, por lo que se deben medir de 20 a 30 valores para obtener un promedio.

El procedimiento consiste en:

- a) Colocar 1000 mL de muestra en un vaso de precipitados.

b) Añadir dosis progresivas de coagulante (el pH óptimo debe ser previamente establecido como se muestra en la FIG 12 ya sea por el método de jarras o por este mismo método).

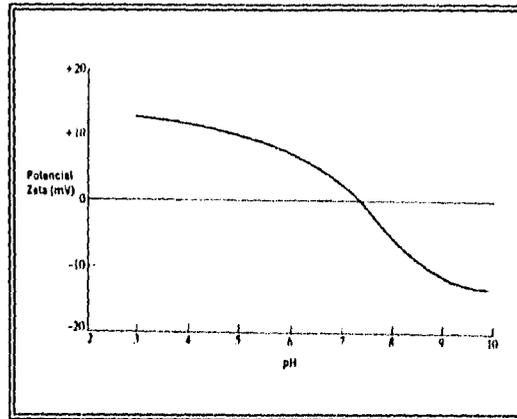


FIG 12 Relación del potencial Zeta y pH
(Eckenfelder, 1991)

c) Mezcle rápidamente por 3 min después de la adición del floculante e inicie una agitación lenta.

d) Determine el potencial Zeta después de cada adición y grafique el resultado como se muestra en la FIG 13. Para mantener el volumen constante regrese la muestra después de cada determinación.

e) Si se está usando un polielectrólito como ayuda-coagulante, éste debe ser añadido hasta el final.

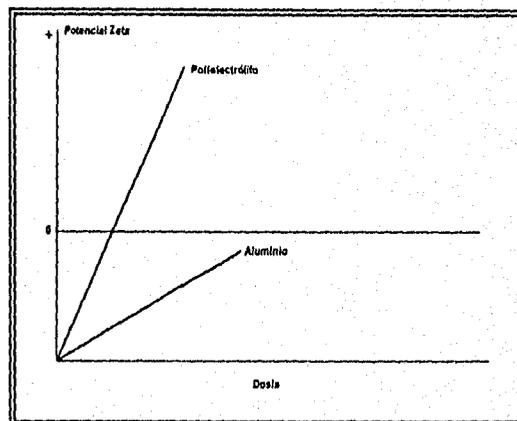


FIG 13 Relación de dosis-potencial Zeta
(Eckenfelder, 1991)

2.5.2 Prueba de jarras

Procedimiento convencional

Consiste de un agitador de paletas con 6 vasos de 1 L colocados sobre una plataforma iluminada. El aparato posee la característica de poder variar el número de revoluciones por minuto al cual giran las aspas. La TABLA 16 muestra los gradientes de velocidad a los cuáles corresponden.

TABLA 16 GRADIENTE DE VELOCIDAD EN EL APARATO DE JARRAS
(Fettig *et al.*, 1990)

MEZCLADO	INTENSIDAD, rpm	GRADIENTE, s^{-1}
Rápido	100 a 400	100 a 700
Lento	20 a 90	10 a 87

Procedimiento rápido

Se emplea el aparato de jarras tradicional y lo que varía son los pasos a seguir, que son:

- a) Coloque 200 mL de muestra en un vaso de precipitados y póngalo a agitación magnética, Añada el coagulante en pequeños incrementos pH de 6.0. Después de cada adición de una mezcla rápida durante 1 min seguida de otra lenta por 3 min. Continúe la adición hasta que observe la aparición de flóculos a simple vista.
- b) Empleando esta dosis, coloque 1000 mL de muestra en cada uno de los seis recipientes de la prueba de jarras.
- c) Ajuste los valores del pH a 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 y 9.0.
- d) Mezcle rápidamente cada muestra durante 3 min, seguidos de 12 min, para floccular a baja velocidad.
- e) Mida la concentración en el sobrenadante de cada vaso después de sedimentación.
- f) Grafique el porcentaje de remoción en función del pH y seleccione el pH óptimo (FIG 14).
- g) Con el valor de pH seleccionado, repita los pasos b, d y e variando la dosis de coagulante.
- h) Grafique el porcentaje de remoción en función de la dosis de coagulante y seleccione la dosis óptima.

i) Si se desea emplear un polielectrólito repita todo el procedimiento añadiéndolo al final de la mezcla rápida.

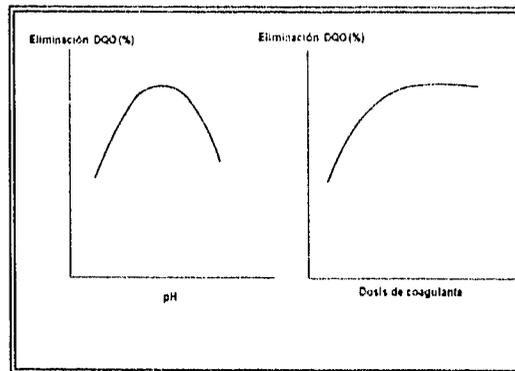


FIG 14 Relación de remoción-pH-dosis de coagulante
(Eckenfelder, 1991)

2.5.3 Jarras cuadradas

Es similar al aparato de jarras convencional pero se emplean recipientes de base cuadrada y 2 L de capacidad para simular la forma de los tanques.

2.6 Equipo coagulador

2.6.1 Tanques de coagulación

Existen dos tipos básicos de equipo para coagulación y floculación. El sistema convencional emplea un tanque de mezcla rápida seguido de un tanque floculador con palas longitudinales para dar el mezclado lento. La mezcla floculada es entonces trasladada a sedimentadores convencionales.

El otro tipo de reactor consiste en una unidad de cama de lodos donde se combinan las etapas de mezclado, floculación y sedimentación en un solo tanque. En estas unidades la desestabilización del coloide es menos efectiva, pero tiene la ventaja de poder recircular el flóculo preformado. Con la cal y algunos otros coagulantes, el tiempo requerido para la separación es función del tiempo necesario para formar un núcleo de carbonato de calcio o un derivado del mismo que inicie la formación y captura de otros sólidos, los tanques de cama de lodos reducen este tiempo a la vez que disminuyen la cantidad de reactivo requerido. Además, el paso del agua a través de la cama de lodos provoca una filtración, de la misma manera que alcanza un mayor grado de clarificación.

2.6.2 Dosificadores

El control de la dosificación es el criterio determinante de la economía, así como del cumplimiento de la eficiencia deseada. Dado que la carga contaminante fluctúa al igual que el gasto, (sobre todo en drenajes combinados), una dosificación constante (basada en la carga media), es inadecuada la mayor parte del tiempo.

2.6.3 Dosificadores con control automático

Existen varios dosificadores automáticos comerciales, uno de ellos es el Ecofloc, que reúne tres funciones básicas:

- a) Medición de la contaminación.
- b) Computación.
- c) Dosificación.

En la primera, se emplea la densidad óptica (DO) y absorción de luz ultravioleta (UV) para correlacionarlas con el contenido de SS y la DQO. En este aparato se supone que la diferencia entre la DO y la absorción en UV es una medida de los sólidos coloidales no decantables. La concentración resultante entra en una computadora, la cual determina en tiempo real, la tasa de dosificación y envía la señal a un equipo de bombeo que añade la cantidad requerida.

2.7 Plantas depuradoras con tratamiento primario avanzado

2.7.1 Planta depuradora de Hyperion en Los Angeles, California

Esta planta da servicio a más de 4 millones de personas. Se encuentra situada en la playa "El Rey", ocupando una superficie de 1500 km² al sur del aeropuerto internacional de Los Angeles. Opera a un flujo de 15 m³/s y fue construida en 1950. En 1956, se expandió su capacidad hasta 16.6 m³/s y para 1998 se pretende tratar un flujo de 19.7 m³/s.

El tratamiento primario consiste de rejillas, desarenadores con desmenuzadora y sedimentadores primarios convencionales. Esta planta modificó su proceso para usar un tratamiento primario avanzado en 1986, seguido por un tratamiento biológico secundario. Adaptación que se empleó para mejorar la calidad del efluente de la planta, cuyo proceso es un sistema de lodos activados. La adición de cloruro férrico y de un polímero aniónico de peso molecular extremadamente alto (10 mg/L y 0.15 mg/L, respectivamente) ha logrado remover el 84% de los SST y el 52% de la DBO, de valores a la entrada de 330 mg/L en ambos casos y que se deben comparar con la sedimentación primaria simple, que para esta planta eran de 65% en SST y de 30% para DBO. Posterior a esta etapa, una fracción del flujo (8 m³/s) se introducen al sistema de lodos activados logrando los efectos globales señalados en la TABLA 17.

TABLA 17 CONDICIONES DE OPERACIÓN Y EFICIENCIA EN LA PLANTA DE HYPERION, LOS ANGELES, CALIFORNIA, EEUUA (Shao, 1993)

PARÁMETRO	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA PRIMARIA %	EFICIENCIA TOTAL ⁽¹⁾ %
SST	340	55	84	98
DBO	310	150	52	94
Grasas y aceites	-	-	--	--
Fósforo	-	-	--	80
Dosis de reactivos	10 mL de FeCl ₃ (3.5 ppm Fe) con 0.15 mg/L de polímero aniónico	-	--	-
Carga en el sedimentador. m ³ /m ² d	75 a 100	-	--	-

(1) Lodos activados más primario avanzado

En un estudio previo se encontró que el incremento de lodos por el empleo del tratamiento primario avanzado (TPA) es del 10% antes del reactor anaerobio y 6 % después de la digestión. En el sistema de lodos activados, los niveles permitidos son de 30 mg/L, para cuando la planta tenga un flujo de 15 m³/s. La remoción de sólidos suspendidos totales se incrementa en un 65% para el tratamiento primario convencional (TPC) y para el TPA la remoción es del 84%, la DBO para el TPC y TPA, es del 30 y 51%, respectivamente.

2.7.2 Planta depuradora de San Diego, California

Esta planta fue construida en 1963 para sanear la bahía de San Diego. Hasta 1985 operó como una planta de tratamiento primario convencional que removía entre el 40 y 60% de los sólidos. Su capacidad promedio es de 9 m³/s y descarga por un emisor submarino en el Océano Pacífico. En el proceso de coagulación fue usado el policloruro básico de aluminio (PCBA) con cloruro férrico. Previo al cambio se realizaron pruebas de jarras con los resultados de la TABLA 18.

De lo anterior resulta que con el PCBA se obtienen las menores turbiedades residuales, pero tanto su costo como la producción de lodos con menor grado de compactación limitan su aplicación. También es notorio el efecto de la simple adición del cloruro férrico, ya que con una dosis de 0.2 mol/m³ se reduce la turbiedad al 60%. Sin embargo, una turbiedad menor a 14 UTN no puede ser obtenida, incluso con dosis altas (0.3 mol/m³). El PCBA sí ayuda en este sentido, ya que al emplear 0.3 mol/m³ reduce la turbiedad a 5 UTN. Así, la actividad de estos dos reactivos se complementan. El cloruro férrico remueve partículas grandes y el PCBA elimina material coloidal (TABLA 19). Con estos resultados se decidió operar la planta de acuerdo con las dosificaciones siguientes: con 30 a 35 mg/L de cloruro férrico, con 0.2 a 0.6 mol/m³ de polielectrólito.

TABLA 18 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE JARRAS PARA EL CAMBIO DE UN TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (TPA) EN SAN DIEGO, CALIFORNIA, EEUUA (Hansson y Langworthy, 1994)

PRODUCTO	DOSIS DE PCBA [mol/m ³]	DOSIS EN [mg/L]	TURBIEDAD RESIDUAL [UTN]	TURBIEDAD REMOVIDA	EFICIENCIA EN % UTN	COSTO [USD/m ³]	COSTO/UTN REMOVIDA
Blanco	0	0	145	0	0	0	0
Cloruro Férrico ¹	0.1	16.2	62	83	57	0.0036	8.59
	0.2	32.4	26	119	82	0.0059	13.11
	0.3	48.7	23	122	84	0.0107	22.46
	0.4	64.9	17	128	88	0.0143	28.92
	0.5	81.1	14	131	90	0.0178	36.37
PAC ²	0.1	30.5	38	107	74	0.0060	56.07
	0.2	61.0	9	135	93	0.0120	88.52
	0.3	91.5	6	139	96	0.0180	129.87
	0.4	122.0	5	140	97	0.0240	171.67
	0.5	152.5	4	141	97	0.0300	212.92

¹ Cloruro férrico con 12 % de Fe y densidad de 1.4

² PCBA, solución de policloruro de aluminio con 9% de Al y densidad de 1.25

TABLA 19 COMPARACIÓN ENTRE EN CLORURO FÉRRICO Y EL POLICLORURO BÁSICO DE ALUMUNIO (PCBA) AL REMOVER TURBIEDAD EN LA PLANTA DE POINT LOMA, SAN DIEGO CALIFORNIA (Hansson y Langworthy, 1994)

PRODUCTOS	DOSIS [mol/m ³]	TURBIEDAD [NTU]	TURBIEDAD REMOVIDA [%]
Blanco	0	335	0
Cloruro férrico	0.1	62	273
Cloruro férrico	0.2	26	309
PCBA	0.1	38	297
PCBA	0.2	9.6	325
Férrico + PCBA	0.1	12	323
Férrico + PCBA	0.2	4.3	331

¹ 50% de dosis molar para cloruro férrico y 50 % para PCBA

En la TABLA 20 se muestra la eficiencia de remoción de SST, DBO, grasas y aceites, así

como de fósforo para la planta de tratamiento primario avanzado Point Loma, San Diego.

TABLA 20 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE SST, DBO, GRASAS, ACEITES Y FÓSFORO, AL UTILIZAR UN TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (Harleman, 1992)

PARÁMETRO	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA %
SST	300	60	80
DBO	280	120	57
Grasas y aceites	-	-	42
Fósforo	-	-	75
Coagulante, [mg/L]	30 a 35 de FeCl ₃		
Poliectrolito, [mg/L]	0.2 a 0.26 aniónico de alto peso molecular		
Carga hidráulica en el sedimentador * m ³ /m ² .d	70 a 110		

* Carga hidráulica en el sedimentador: 70 m³/d (2.91 m³/h), Tradicional: 30 m³/d

2.7.3 Planta depuradora Owls Heal en Brooklyn, Nueva York, EEUUA

El gasto promedio de la planta en época de estiaje es de 5.3 m³/s. Se diseñó originalmente para tener una remoción de DBO del 60% y de SS del 70% mediante un proceso de aeración modificada. Debido a que esta planta no cumplía con las especificaciones de la *Clean Water Act*, se decidió efectuar varias adecuaciones; entre ellas, la introducción de un tratamiento primario avanzado. En la TABLA 21 se muestran los principales parámetros empleados.

TABLA 21 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE OWLS HEAD EN BROOKLYN, NUEVA YORK, EEUUA (Chack *et al.*, 1994)

PARÁMETRO	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA %
SST	107	49	54
DBO	115	74	36
Coagulante	50 mg/L. 6 h/d al máximo gasto y 15 mg/L el resto del tiempo (casi 24 mg/L, en promedio)		
Polímero	1 aniónico		
Carga hidráulica en el sedimentador m ³ /m ² .d	80		

En esta planta se encontró que, con las sales de aluminio o las de fierro, se obtienen remociones similares pero producen concentraciones de sólidos en el espesador muy diferentes en cada caso, 3.4 % para el aluminio y 5.5% para las de fierro.

En cuanto a la temperatura, se pudo detectar en esta planta que, al disminuirla a 13°C, la eficiencia para la DBO se reduce en sólo 5% y 4% para los sólidos suspendidos. El costo de operación es de 0.32 USD/m³.

2.7.4 Planta depuradora de Edar en Marsella, Francia

La construcción de la planta depuradora de aguas residuales de Edar, se inició en los años 80. Para evitar el bombeo del agua desde el centro de la ciudad hacia su exterior se construyó en la ciudad, enterrada bajo un campo de fútbol. Su capacidad es de 7.5 m³/s y como sistema cuenta con un tratamiento de desarenación y desengrasado, seguido de una predecantación en tanques rectangulares, dosificación de reactivos, decantación de alta tasa y bombeo a un emisor submarino. Las condiciones de operación son: cloruro férrico a 17 mg/L con 0.48 mg/L de polielectrólito. Con el fin de ajustar la dosificación de reactivos, se desarrolló un controlador automático basado en la medición continua de la densidad óptica, que ofrece oportunidades de ahorro de reactivos, espacio y costos, en comparación con sistemas convencionales como, decantadores circulares y lodos activados.

En ensayos en laboratorio realizados en el transcurso de 300 días se obtuvieron los resultados de la TABLA 22.

TABLA 22 EFICIENCIA Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE EDAR, MARSELLA, FRANCIA (Bacquet y Bentabet, 1993)

PARÁMETRO	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA %
SST	200	30	85
DBO	ND	ND	48
Nitrógeno total	ND	ND	20
Coagulante	17 mg/L de FeCl ₃ puro	ND	ND
Polímero	0.48 mg/L	ND	ND

ND: No disponible

Los consumos principales, fueron:

- 19000 kWh/d esto es que se utilizaron 69 Watts por cada metro cúbico de agua tratada.
- 4600 kg/d de FeCl₃ puro empleado.
- 132 kg/d de polielectrólito empleado.

Se observa que la dosificación automática proporciona un mejor rendimiento (TABLA 23).

TABLA 23 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE SST EN LA PLANTA DE EDAR, MARSELLA, FRANCIA (Bacquet y Bentabet, 1993)

PARÁMETRO	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA [%]
SST ¹	203	40	80
SST ²	204	29	85
SST ²	186	25	87

¹ Resultado comparativo con respecto a una dosificación no controlada.

² Resultado que demuestra que la dosificación controlada demuestra excelentes resultados en la adición de reactivos.

2.7.5 Planta depuradora de Orange County, California, EEUUA

En esta planta con capacidad de 0.5 m³/s se llevó a cabo un estudio comparativo entre el tratamiento primario convencional y el tratamiento primario avanzado. Las pruebas del tratamiento físico-químico fueron realizadas durante siete días continuos. Se emplearon 20 mg/L de cloruro férrico y un polímero DOW A-23 a 0.24 mg/L, los resultados se muestran en la TABLA 24. El costo de operación es de 1.16 USD/m³.

2.7.6 Evaluación de la eliminación de fósforo, metales pesados, producción de lodos y costos de las plantas con tratamiento primario avanzado

Eliminación de fósforo

En el tratamiento primario avanzado, cuando se aplican dosis de cloruro férrico de 10 a 30 mg/L, la remoción de fósforo es del 11 al 31%, respectivamente. En la TABLA 25 se muestran las eficiencias de remoción para las principales plantas que utilizan primario avanzado.

Eliminación de metales pesados

En general, la remoción de metales pesados por el tratamiento primario avanzado es paralela a la de los SS. La TABLA 26 muestra las eficiencias logradas en una planta.

TABLA 24 EFICIENCIA Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE ORANGE COUNTY, CALIFORNIA, EEUUA (County Sanitation Districts, 1973)

PARÁMETRO	PRIMARIO CONVENCIONAL			PRIMARIO AVANZADO		MEJORA, %
	INFLUENTE [mg/L]	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA %	EFLUENTE [mg/L]	EFICIENCIA %	
SST	230	67.1	71	37	84	13
UTN	96	53	45	39	60	15
DBO	277	202	27	144	48	21
DQO	647	426	34	328	49	15
Grasas y aceites	62.5	34.2	45	23	63	18
Nitrógeno amoniacal	26.4	26.0	-	26.6	-	0
Zinc	0.352	0.228	36.4	0.166	48.9	12.5
Cianuros	0.143	0.110	23.1	0.124	13.3	--
Fenoles	0.168	0.118	29.8	0.135	19.6	--
Gasto, m ³ /s	0.5	-	-	-	-	-
Coagulante	20 mg/L de FeCl ₃	-	-	-	-	-
Polímero	0.25 mg/L de Dow-23	-	-	-	-	-

TABLA 25 ELIMINACIÓN DE FÓSFORO EN UN PRIMARIO AVANZADO

PLANTA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE FÓSFORO, %	DOSIS, [mg/L]	COMENTARIO	REFERENCIA
Hyperion, Los Angeles	11 a 31	30 de FeCl ₃	El polímero adicionado es de alto peso molecular.	Shao et al., (1993)
	80	10 de FeCl ₃		
Point Loma, San Diego	75	30 a 35 FeCl ₃ + 0.2 a 0.6 polímero aniónico	El cloruro férrico contienen el 12% de Fe y una densidad de 1.4 g/ml, el polímero empleado (policloruro de aluminio) contienen 9% de Al y tiene una densidad del 1.25 g/ml	Harleman, 1992
Cracovia para reuso	96 94 90 88 82	80, Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O 150, CaO 200, FeSO ₄ ·7H ₂ O 60 y 20, Al ₂ (SO ₄) ₃ + CaO 80 y 30, FeSO ₄ + CaO	En tratamiento terciario	Rybicki y Kurbiel, 1991
Edar, Marsella, Francia	41	17 de FeCl ₃ + 0.48 de polímero	Coagulante puro	Bacquet y Bentabet, 1993.

TABLA 26 REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LA PLANTA DE HYPERION, LOS ANGELES, EEUUA (Shao *et al.*, 1993)

Concentración de metal pesado en $\mu\text{g/L}$ (tratamiento primario)				Concentración de metal pesado en $\mu\text{g/L}$ (Tratamiento primario avanzado)		
Metal	Inf.	Ef.	Rem. %	Inf.	Ef.	Rem. %
Arsénico	11	10	10	7.2	6.2	14
Plata	25	18	28	25	9.6	62
Cadmio	14	10	40	4	<1	>75
Cobre	225	135	40	150	45	70
Cromo	70	40	43	33	7.8	73
Níquel	80	60	25	23	19	17
Plomo	80	60	25	22	3.2	85
Zinc	320	200	38	280	117	58
Promedio	103.12	66.62	31	68	26	57

Remoción de metales pesados, en la planta de Edar, Marsella, Francia

Al operar al 76% del caudal nominal se obtuvieron remociones de plomo, cobre, zinc y mercurio hasta del 75%.

Remoción de metales pesados, en la planta de Orange County, California

Con dosis de cloruro férrico de 20 mg/L y de polímero aniónico de 0.25 mg/L se obtuvo la remoción de metales para un tratamiento primario avanzado. En la TABLA 27 se muestra la comparación de un tratamiento primario convencional con uno avanzado de tipo primario.

Producción de lodos

La adición de reactivos incrementa la producción total de lodos de la planta por tres efectos:

- a) Incremento en la eliminación de sólidos suspendidos
- b) Formación de otros precipitados de hierro, hidróxidos y sulfuro (para el caso del cloruro férrico) y
- c) La remoción de sólidos coloidales y solubles.

TABLA 27 REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LA PLANTA DE ORANGE COUNTY, CALIFORNIA, EEUU (County Sanitation Districts, 1973)

METALES	INFLUENTE	EFLUENTE TRATAMIENTO PRIMARIO	EFLUENTE TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO	% REM*
Plata	0.016	0.010	0.0056	44
Cadmio	0.064	0.037	0.027	27
Cromo	0.259	0.202	0.169	16.3
Cobre	0.410	0.238	0.169	34.9
Mercurio	0.856	0.546	0.492	9.9
Níquel	0.267	0.231	0.218	5.6
Plomo	0.209	0.104	0.075	27.9
Zinc	0.352	0.228	0.166	27.2

* Es el promedio de remoción de comparar el tratamiento primario avanzado y el primario convencional

El aumento de los lodos producidos por el TPA es clave para el diseño del proceso. Estequiométricamente es posible estimar la cantidad de lodo que resulta de la adición de productos químicos. Por ejemplo, la planta de Hyperion utiliza dosis de FeCl_3 de 10 mg/L y la producción de lodos se incrementa en un 3%, es decir, de 380 a 386 toneladas/día. Para dosis de 30 mg/L de cloruro férrico los lodos se incrementan en un 30%, esto es, de 342 a 442 toneladas/día.

Es posible estimar la cantidad de lodos producida por medio de la ecuación siguiente (Harleman, -1992):

$$RS = 1.0 SS_{rem} + 1.42 P_{rem} + 0.66 \text{FeCl}_3 + 1.0 C_{rem} \quad (44)$$

donde

RS: Producción de lodos en mg/L.

SS_{rem} : Sólidos suspendidos removidos (SS del influente menos los del efluente).

P_{rem} : Fósforo removido (Contenido de fósforo del influente menos el del efluente).

FeCl_3 : Dosis de cloruro férrico aplicada, mg/L.

C_{rem} : Concentración de sólidos coloidales removidos mg/L, valor difícil de medir pero que no siempre interviene en el cálculo.

La adición de cloruro férrico y la consecuente disminución del ácido sulfhídrico tiene como efecto mejorar el tratamiento anaerobio de los lodos. En la planta de Hyperion se encontró que la concentración de este compuesto en los digestores era de 150 y 200 mg/L, en lugar de los valores tradicionales que se tienen del orden de 2000 mg/L. En la TABLA 28 se muestran la producción de lodos en dos plantas que operan con tratamiento primario avanzado.

Una comparación de la producción de lodos por el tratamiento primario avanzado y convencional de la planta de tratamiento Hyperion, se presenta en la TABLA 29.

En la planta de tratamiento de Point Loma, San Diego, los lodos generados por el coagulante PCBA son de menor densidad que los que se generan con cloruro férrico. Las combinaciones entre el PCBA y el cloruro férrico incrementan la remoción de lodos. El ajuste de coagulantes se presenta en la TABLA 30.

TABLA 28 INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE LODOS POR EL EMPLEO DE UN TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO

PLANTA PRODUCCIÓN DE LODOS	INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE LODOS, %	DOSIS DE REACTIVO EN [mg/L]	REFERENCIA
Hyperion, Los Angeles	3	10, FeCl ₃	Shao <i>et al.</i> , (1993)
	30	30, FeCl ₃	
Orange County, California	1.43 a 2	20 de FeCl ₃ + 0.25 de Dow-23	Orange County Districts, (1973)

TABLA 29 COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODOS POR EL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (TPA) Y PROCESO CONVENCIONAL, (PLANTA DE TRATAMIENTO HYPERION, LOS ANGELES, CALIFORNIA, EEUUA) (Shao *et al.*, 1993)

PROCESO	SÓLIDOS PROVENIENTES DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, [T/d]	SÓLIDOS PROVENIENTES DE LA ADICIÓN DE FeCl ₃ , [T/d]	SÓLIDOS PROVENIENTES DE REMOCIÓN DE COLOIDES [T/d]	LODOS ACTIVADOS [T/d]	SÓLIDOS TOTALES COMO LODOS [T/d]
TPA + tratamiento adicionando 30 mg/L de FeCl ₃	311	26	70	131	539
TPA + tratamiento secundario dosis de 10 mg/L de FeCl ₃	311	5	0	131	447
Tratamiento primario + secundario	243	0	0	192	435

TABLA 30 REMOCIÓN DE SÓLIDOS, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE POINT LOMA, SAN DIEGO, EEUUA (Hansson y Langworthy, 1994)

PROCESO	REMOCIÓN DE SST [mg/L]	REMOCIÓN DE SST, %
Cloruro férrico + polímero	40	84
Cloruro férrico + PCBA + polímero	32	88

Costo del tratamiento primario avanzado

El costo por alimentar 10 mg/L de FeCl_3 y 0.15 mg/L de polímero para la planta de Hyperion es cerca de \$ 2.92 Dólares americanos por 1000 T, es decir, \$ 1.06 Dólares americanos/ m^3 de agua residual, o 1.5 % del costo total de tratamiento secundario biológico al bajar los requerimientos de aire en el efluente primario, que cuesta \$ 9.0 Dólares americanos/ m^3 o \$ 3.37 Dólares americanos/ m^3 de agua residual. En la TABLA 31 se observa que los costos para el TPA, seguido por tratamiento primario secundario es 11% menor que el costo de tratamiento primario convencional seguido de lodos activados.

En la TABLA 32 se presentan las eficiencias de remoción de sólidos y los principales costos.

TABLA 31 COSTOS DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE HYPERION, CALIFORNIA, EEUUA (Shao *et al.*, 1993)

PROCESO	COSTOS de O y M Dólares americanos/ m^3	COSTOS DE CAPITAL Dólares americanos/ m^3			COSTO TOTAL Dólares americanos/ m^3
		PRI M	SEC	MANEJO DE SOLIDOS	
TPA + lodos activados Dosis de 30 mg/L de FeCl_3	73	7	13	13	106
TPA + lodos activados Dosis de 10 mg/L	67	7	13.4	10.3	97.7
Tratamiento primario convencional + lodos activados	70	10	20	10	110

2.7.7 El tratamiento primario avanzado y la legislación

La *Clean Water Act* de 1972 impone estándares uniformes para todo tipo de descarga basados en un tratamiento secundario independientemente de la naturaleza, uso y tamaño del cuerpo receptor. La ley establece una remoción de 85% para los sólidos suspendidos y la DBO que se traduce en efluentes de 30 mg/L para ambos parámetros (a esto con frecuencia se le denomina el 30/30). Lo innecesario de estas metas fueron cuestionadas y científicamente demostradas, sobre todo en el caso de las descargas al mar, por lo que esta ley está siendo revisada actualmente.

TABLA 32 PRINCIPALES EFICIENCIAS POR COSTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (Chack, 1994; County Sanitation Districts, 1973; Hansson y Langworthy, 1994; Shao, 1993)

PLANTA	COSTO EN Dólares americanos/1000 m ³	REMOCIÓN. %	COMENTARIO	REFERENCIA
Hyperion, Los Angeles	2.91	83 en SS 51 en DBO	Se estima adicionalmente un ahorro de 9 Dólares americanos/m ³ en la aeración de la etapa subsecuente	Shao <i>et al.</i> , (1993).
Point Loma, San Diego	5.9	82 en UTN	-	Hansson y Langworthy, (1994).
Owls Heal, Brooklyn, NY.	4.8	54 en SST 36 en DBO	En la primera parte de este programa la dosificación de reactivos tuvo un costo de \$ 80 Dólares americanos/m ³ de cloruro férrico y \$ 430 Dólares americanos/m ³ de polímero aniónico. En costo de la segunda parte del tratamiento fue de \$ 2300 Dólares americanos/día.	Chack <i>et al.</i> , (1994).
Orange County, California	3.15	48 en DBO 60 en UTN	EL costo de adición de reactivos es de \$ 1.16 Dólares americanos/m ³	County Sanitation Districts (1973).

2.8 Información técnica de polímeros empleados en el tratamiento primario avanzado (COMPLEX QUÍMICA AP30 y PHOTAFLOC: 1122, 1123, 1124, 1125 y 1126)

2.8.1 Complex Química AP30

Es un polímero sintético de alto peso molecular, soluble en agua y ligeramente aniónico. Se prepara a partir de la poliacrilamida.

Se aplica para: espesamiento del cemento, tratamiento de los efluentes del lavado del carbón, ablandamiento con cal, precipitación de hidróxidos, agua del lavado de frutas y vegetales, procesamiento del azúcar (clarificación del jugo del azúcar). En potabilización se emplea como:

- Coagulante primario 0.1 - 1.0 ppm.
- Floculante 0.01 - 0.1 ppm.
- Ayuda de filtración 0.001 - 0.01 ppm.

Se presenta en forma de un polvo blanco con un contenido residual del monómero del 0.05

%). El pH de la solución al 1 % (que es el máximo de concentración recomendado es de 10.3). Se debe guardar en seco por un período de inferior a un año. La solución patrón al 1 % dura un mes y la que se emplea para el laboratorio (al 0.1 %) dura solo un día. Las soluciones no son corrosivas por lo que se puede emplear prácticamente cualquier material para su manejo con excepción de zinc, aluminio y magnesio, es decir, se debe evitar el empleo de equipo galvanizado. Se usa el fierro, acero metal e inoxidable así como plástico resistente a la corrosión.

Debido a su alto peso molecular las soluciones en almacenamiento deben de ser de concentración inferior al 0.5 % para evitar los problemas de manejo por su alta viscosidad. Las bombas empleadas para su transvase deben ser bombas rotatorias de engranaje o de desplazamiento positivo.

2.8.2 Photafloc

Los polímeros "photafloc" (marca comercial) se producen por el bombardeo con fotones de alta energía en lugar de producir la polimerización con agentes químicos. Los "photafloc" se producen a partir de agua, acrilamida y un grupo comonomero que sirve para impartir el carácter catiónico o aniónico al producto cuando se requiere.

Los "photafloc" existentes pueden ser aniónicos (tres clases), catiónicos (tres clases), neutros (una clase), homopolímero funcionales y productos experimentales. Se producen en forma de gel y para su venta se presentan en soluciones líquidas concentradas o tablas de gel. Estas últimas pesan 18.3 kg (40 lb) y miden 50.8 cm (20 in) de largo por 22.9 cm (9 in) de diámetro. Las tablas contienen agua y el polímero activo a razón de 4.6 a 11.4 kg (10 a 25 lb) por tabla. El contenido del producto se da con un 1% de precisión. Esta presentación es preferida por:

- Se almacena a la intemperie por largo tiempo y con cualquier clima.
- Evita la degradación del producto.
- Evita los problemas de almacenar y manipular el polvo.
- No contiene surfactantes o aceites ligeros que se requieren para estabilizar las emulsiones.

La FIG 15 muestra el sistema requerido para solubilizar el producto, a continuación se resumen las características de los "photafloc" empleados en este estudio:

Las soluciones madre se preparan y almacenan con concentraciones de gel de 0.5 al 2 %.

Para su uso se diluyen al 0.25%, en general. Se recomienda el uso de agua limpia, suave y sin sólidos. Para realizar las pruebas de jarras requeridas para determinar la dosis diaria, se vende una solución al 5% del gel que es estable.

Para varias semanas se recomienda diluir esta solución al 0.5% y, posteriormente, a 0.05% para ser usado en el laboratorio. El "photafloc" se suministra en bolsas de plástico selladas y que contienen 48 tablas de 19.2 kg (42 lb) con un peso total de 921.5 kg (2016 lb) cuando se requieren menores cantidades se suministra en tambos con 9 tablas con un peso total de 171.4 kg (375 lb).

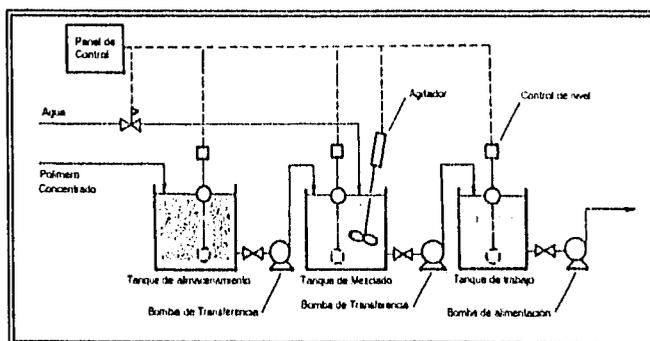


FIG 15 Sistema empleado para solubilizar el polímero (Photafloc™)

Las tablas de "photafloc" se almacenan en la sombra, aunque resisten a la intemperie por un período. Se pueden guardar congeladas, pero es necesario descongelarlas antes de ser usadas.

Normalmente, la corrosividad de la solución de "photafloc" se debe al agua con la cual se prepara. Se recomienda usar para su manejo tanques de acero, fibra de vidrio o plástico. Se debe evitar el empleo de aluminio o metales galvanizados. Las tablas de "photafloc" mojadas son resbaladizas por lo que se debe manejar con cuidado.

Para el "photafloc" líquido las soluciones patrón se preparan y almacenan a razón de 0.17 a 0.7% del polímero en peso y para su empleo se usan al 0.1%. Para las pruebas de jarras se venden soluciones de 2% que son estables por varios meses. Se pueden usar en solución al 0.1 y posteriormente diluir al 0.05% para su empleo en laboratorio.

El "photafloc" 1122-S se vende en pipas de 22.7 m³ (6000 Gal). Se puede almacenar en recipientes de acero inoxidable, fibra de vidrio reforzado o polietileno de alta densidad. No se deben usar tanques de acero suave sin revestimiento, ni metales galvanizados.

La TABLA 33 muestra las características de los polímeros "photafloc" estudiados. Todos son aniónicos y de color blanco amarillento. Su empleo es para agua potable y residual, el desecho líquido de procesadoras de minerales y espesamiento de lodos de minerales. El "photafloc" es muy soluble en agua y requiere de guantes impermeables y lentes para su manejo. El "photafloc" es un copolímero aniónico de acrilamida y acrilato de sodio, de fórmula:

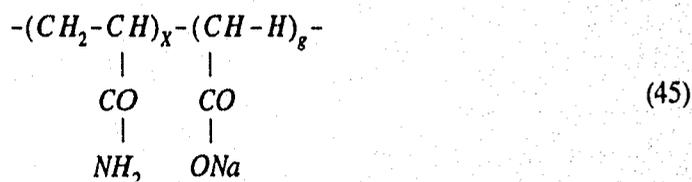


TABLA 33 CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS PHOTAFLOC (MARCA COMERCIAL) EMPLEADOS (PHOTAFLOC™, 1994)

NOMBRE	PESO DE LA TABLA	OLOR	DENSIDAD	PUNTO DE CONGELACIÓN	pH DE SOL. AL 1%	PESO MOLECULAR	VISCOSIDAD (cP)			CONTENIDO DE SÓLIDOS	CONTENIDO DE POLÍMERO	CONTENIDO VOLÁTIL	DENSIDAD DE CARGA MOLAR	POLÍMERO ACTIVO
							0.5 % DE GEL	1.0 % DE GEL	2.0 % DE GEL					
PHOTAFLOC 1122 (TABLA)	19.2 kg (42 lb)	Suave ligeramente dulce	1.12 a 1.15	-170 °C <2 °F	8.5 a 10	>10,000,000	510	1210	2500	-	-	-	15.9 %	28 %
PHOTAFLOC 1122-S (SDL CONC.)	-	Nulo a suave. Ligeramente dulce	1.03	<-2 °C	6 a 10	>25,000,000	43000 ± 7000			2.5 ± 0.1 %	2.0 ± 0.1 %	1.9 ± 0.1 %	-	-
PHOTAFLOC 1123	19.2 kg (42 lb)	Suave a ligeramente dulce	1.12 a 1.15	<17 °C <2 °C	8.5 a 10	>10,000,000	510	1210	2500	-	-	-	-	-
PHOTAFLOC 1123-S	-	Nulo a suave. Ligeramente dulce	1.01 a 1.02	<32 °F	8.5 a 10	>20,000,000	7500			2.5 ± 0.2 %	2.0 ± 0.1 %	-	28.9 %	29.8 %
PHOTAFLOC 1124 (SOLUCIÓN)	-	Nulo a suave. Ligeramente dulce	1.01	<2 °C	-	>30,000,000	7700			2.0 %	2.5 %	-	29.1 %	33.5 %
PHOTAFLOC 1125	19.7 kg (43 lb)	Suave ligeramente dulce	1.12 a 1.15	<17 °C <1 °F	8.5 a 10	>20,000,000	320	1700	3350	-	0.3 ± 1 %	-	43 %	29.6 %
PHOTAFLOC 1126	20.6 kg (45 lb)	Suave ligeramente dulce	1.12 a 1.15	<-17 °C <2 °F	8.5 a 10	>10,000,000	350	3600	3600	-	-	-	53.1 %	30.8 %

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Aguas en estudio

Por la forma de operación del drenaje de la ciudad de México, así como por los trabajos de mantenimiento que actualmente se realizan en la infraestructura, no se dispone de un agua representativa de las condiciones que se tendrá cuando se construya la planta. Por tal motivo, se seleccionaron dos puntos de muestreo, de calidad diferente (FIG 16) y que se acostumbra designar como Gran Canal (A) y Planta de Ecatepec (B).

Los muestreos se realizaron por lo general en la mañana y, ocasionalmente, por la tarde. El muestreo se realizó por medio de un muestreador a diferentes profundidades del nivel del agua del drenaje; las muestras tomadas se depositaban en un garrafón de 50 L las cuales, se homogenizaban para obtener una muestra representativa. Además, se medían los parámetros de campo para verificar que no sufriera alteraciones en su transporte como son: pH, Turbiedad [UTN], oxígeno disuelto OD [mg/L], conductividad [nanomho/cm], SS [mL/L] y SDT [g/L]. La muestra de agua se sellaba perfectamente con el tapón del garrafón, colocándolo en una hielera con suficiente hielo para posteriormente transportarlo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para la realización de pruebas de tratabilidad.

3.2 Parámetros empleados

Los parámetros empleados para el análisis de los resultados son los de la TABLA 34.

TABLA 34 PARÁMETROS EMPLEADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LAS PRUEBAS DE JARRAS

PARÁMETRO	UNIDAD	FRECUENCIA
pH		Rutinario
Potencial	[mV]	Rutinario
Turbiedad,	[UTN]	Rutinario
Conductividad eléctrica,	[μ mho/cm]	Rutinario
Sólidos disueltos totales	[g/L]	Rutinario
Oxígeno disuelto,	[mg O ₂ /L]	Sólo en el influente, en forma ocasional
Sólidos suspendidos totales,	[mg/L]	Rutinario
Sólidos suspendidos volátiles,	[mg/L]	Rutinario
Sólidos suspendidos fijos,	[mg/L]	Rutinario
DQO _T	[mg/L]	Rutinario
Carbono orgánico total,	[mg C/L]	Ocasional
Carbono inorgánico total,	[mg C/L]	Ocasional

3.3 Coagulantes y floculantes probados

A partir de ensayos en laboratorio con pruebas de jarras se estudiaron diversos coagulantes y floculantes (TABLA 35).

Con el objeto de obtener las dosis de sulfato de aluminio e hidróxido de sodio óptima para una mejor coagulación, así como determinar con qué polielectrólito se obtienen los mejores resultados, se realizaron pruebas de jarras con estos compuestos. Las TABLAS 36 y 37 muestran las dosis de coagulante y floculante empleadas.

TABLA 35 CONDICIONES EXPERIMENTALES PARA LA SELECCIÓN DE COAGULANTES Y FLOCULANTES

COAGULANTE	FLOCULANTE	pH
Cloruro férrico, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ICA Zwiteriónico Superfloc Nalcomex Prosifloc Complex química	6, 7 y 8
Sulfato de aluminio (alúmina, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)	Prosifloc Nalcomex	--
Cal comercial para construcción, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Prosifloc Nalcomex	--
Polhidral	--	--
Clorigel	--	--

TABLA 36 CONDICIONES EMPLEADAS CON EL SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) Y FLOCULANTES

DOSIS DE COAGULANTE ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS DE FLOCULANTE [mg/L]
41, 51, 56, 66	-	-
10, 25, 30, 41, 45, 51, 56, 66, 69, 71, 74, 76, 82, 87, 97, y 102 *	Nalcomex	0.1, 0.2, 0.4
	Prosifloc A252	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0

* Que expresados en $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ equivalen a 20, 50, 60, 80, 90, 100, 110, 130, 135, 140, 145, 150, 160, 170, 190 y 200 mg/L

TABLA 37 CONDICIONES EMPLEADAS CON EL HIDRÓXIDO DE CALCIO $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Y FLOCULANTES

DOSIS DE COAGULANTE ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS DE FLOCULANTE [mg/L]
25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 275, 300, 325	-	-
100, 150, 200, 250	Nalcomex	0.1, 0.2 y 0.4
25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350	Prosifloc A252	0.1, 0.2, y 0.4

3.4 Condiciones de operación

Los ensayos de tratabilidad se realizaron para definir el tipo de coagulante y de floculante (polielectrólito) y su combinación de dosis que, aplicadas al tratamiento del agua residual, permitan obtener un efluente de características medias, a costo óptimo.

Para encontrar las dosis de cloruro férrico y de polielectrólitos, así como de los otros coagulantes probados, se realizaron las pruebas de tratabilidad conocidas como *pruebas de jarras*, que consisten en la simulación simplificada del proceso de coagulación-floculación en vasos de precipitado, con agitación mecánica del agua residual, en donde se ensayan las diferentes dosis de cloruro férrico y las combinaciones con los diferentes polielectrólitos. A continuación se describe el procedimiento empleado en la determinación de la *dosis óptima* mediante esta prueba:

- a) Se determinan los valores iniciales de los parámetros: turbiedad, sólidos suspendidos totales, conductividad, pH y potencial eléctrico.
- b) A cinco de los vasos se le agrega una de las diferentes dosis de reactivo coagulante, o combinación coagulante-floculante, y se aforan a un litro con el agua residual en estudio. El sexto vaso es llenado solo con agua residual, a fin de observar el efecto floculante producto de la agitación mecánica.
- c) Se inicia un mezclado rápido (100 rpm) durante 3 minutos, etapa en la cual se lleva a cabo la coagulación, transcurrido el tiempo, se reduce la agitación a 20 rpm, durante un lapso de 20 minutos, en esta fase se efectúa la floculación.
- d) Se dejan sedimentar los flóculos durante un período de 20 minutos.
- e) Por decantación se separa el volumen de muestra requerido para las determinaciones analíticas.

Se realizaron un conjunto de ensayos en donde el interés se enfocó al análisis del efecto del *pH* en el tratamiento de las aguas residuales y para tal efecto, se ajustó el pH con NaOH ó HCl, previo a la adición del reactivo coagulante.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Evaluación del cloruro férrico como coagulante y varios polielectrólitos comerciales como floculantes

Lo primero que resultó notorio es que efectivamente, las aguas muestreadas en cada punto son muy diferentes (TABLA 38 y FIG 17).

Cabe señalar que la norma *NOM-CCA-032-ECOL/1993*, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición en riego agrícola (Diario Oficial de la Federación, 18 de octubre de 1993), establece para la conductividad eléctrica un límite máximo permisible de 2000 $\mu\text{mho/cm}$, lo que indica que las aguas del Gran Canal, generalmente tienen una conductividad eléctrica que permite cumplir con esta norma, pero que las aguas de la Planta Ecatepec exceden el límite en todas las muestras obtenidas.

A diferencia de los otros parámetros analizados, con relación al oxígeno disuelto no existen diferencias significativas entre los resultados de las aguas de los dos sitios de muestreo, como se observa en la FIG 18. Sin embargo, con relación a este parámetro, pudo observarse un efecto de aporte de oxígeno debido a la precipitación pluvial, ya que en los tres primeros muestreos, que correspondieron a la temporada de lluvia, el oxígeno disuelto fue superior que en los muestreos posteriores, que corresponden al estiaje.

Dadas las condiciones sépticas de las aguas de Ecatepec, el cloruro férrico no es recomendable, por la formación de un color negro producto de la combinación del hierro con los sulfuros para formar FeS . El empleo de este coagulante incrementaba el color y la turbiedad de la muestra y el cual le impartía un color negro, fenómeno que era observado con frecuencia pero en magnitud variable.

Se observó que por efecto del tratamiento con cloruro férrico se incrementa la conductividad eléctrica del efluente. Se puede establecer, en términos generales que, con el empleo de dosis de 20 a 40 mg/L de FeCl_3 , la conductividad eléctrica se incrementa en 400 $\mu\text{mho/cm}$; a dosis de 50 mg/L, la conductividad se incrementa en un intervalo de 500 a 800 $\mu\text{mho/cm}$. Este efecto, aunado a los altos valores de la conductividad eléctrica en el agua influente, pueden limitar el uso del agua tratada con FeCl_3 , en riego agrícola, de acuerdo con lo establecido en la *NOM-CCA-032-ECOL/1993*, ya que con esos valores de conductividad se incrementa el riesgo de salinizar los suelos (Aguilera, 1980).

Con el propósito de evaluar el efecto del pH en el tratamiento con FeCl_3 se efectuaron pruebas modificando el pH del agua influente. En la FIG 19 se presentan las eficiencias de remoción de turbiedad obtenidas en el tratamiento de las aguas del Gran Canal con tres diferentes dosis de FeCl_3 y tres condiciones de pH. En esta gráfica se puede observar que la eficiencia del tratamiento se incrementa en relación directa al pH, incluyendo el efecto floculante (formación de flóculos sin la adición de reactivo coagulante), en el cual se obtienen eficiencias del 40% al pH del agua influente.

TABLA 38 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DEL GRAN CANAL Y DE LA PLANTA DE ECATEPEC

PARÁMETRO	GRAN CANAL				ECATEPEC			
	Media	Desviación estándar	MAX	MIN	Media	Desviación estándar	MAX	MIN
pH	7.04	0.17	8.12	7	8.04	0.47	8.4	7
Potencial, [mV]	- 4	23	13	-75	- 53	15	25	-50.4
Turbiedad, [UTN]	123	56	233	67	216	57	320	100
Conductividad [μmho/cm]	1466	322	1800	1041	2650	220	2920	2320
Oxígeno disuelto, [mgO ₂ /L]	0.82	0.45	2	0.2	0.74	0.23	1.3	0.4
Sólidos suspendidos, [mg/L]	108	26	144	68	112	30	144	68
Sólidos suspendidos volátiles, [mg/L]	68	17	91	40	51	20	80	28
Sólidos suspendidos fijos, [mg/L]	40	13	60	28	70	13	78	40

FIG 17 COMPARACION DE TURBIEDAD [UTN] EN EL AGUA DEL GRAN CANAL Y DE ECATEPEC

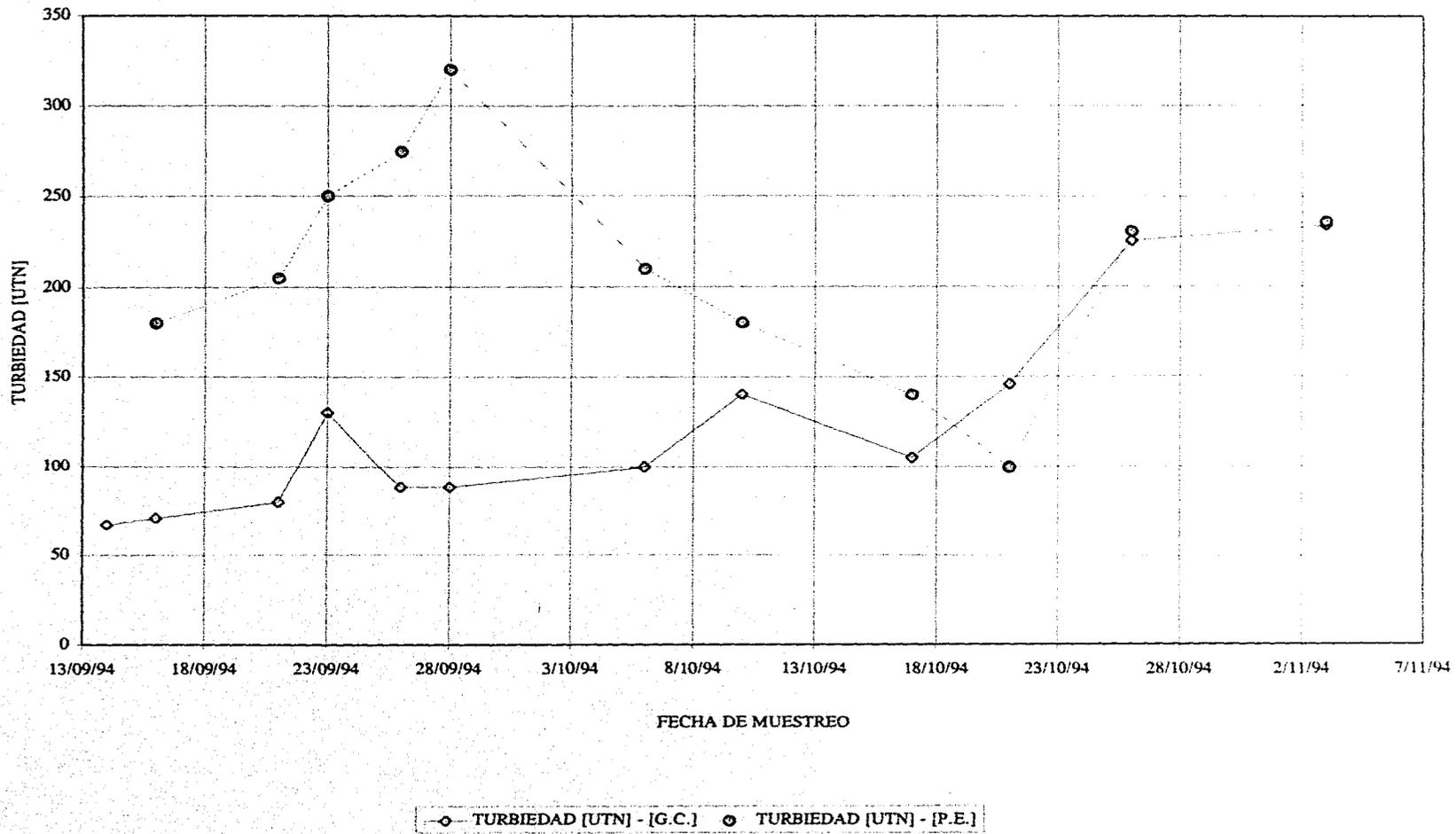


FIG 18 VARIACIÓN DEL OXIGENO DISUELTO EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL GRAN CANAL Y DE LA PLANTA ECATEPEC

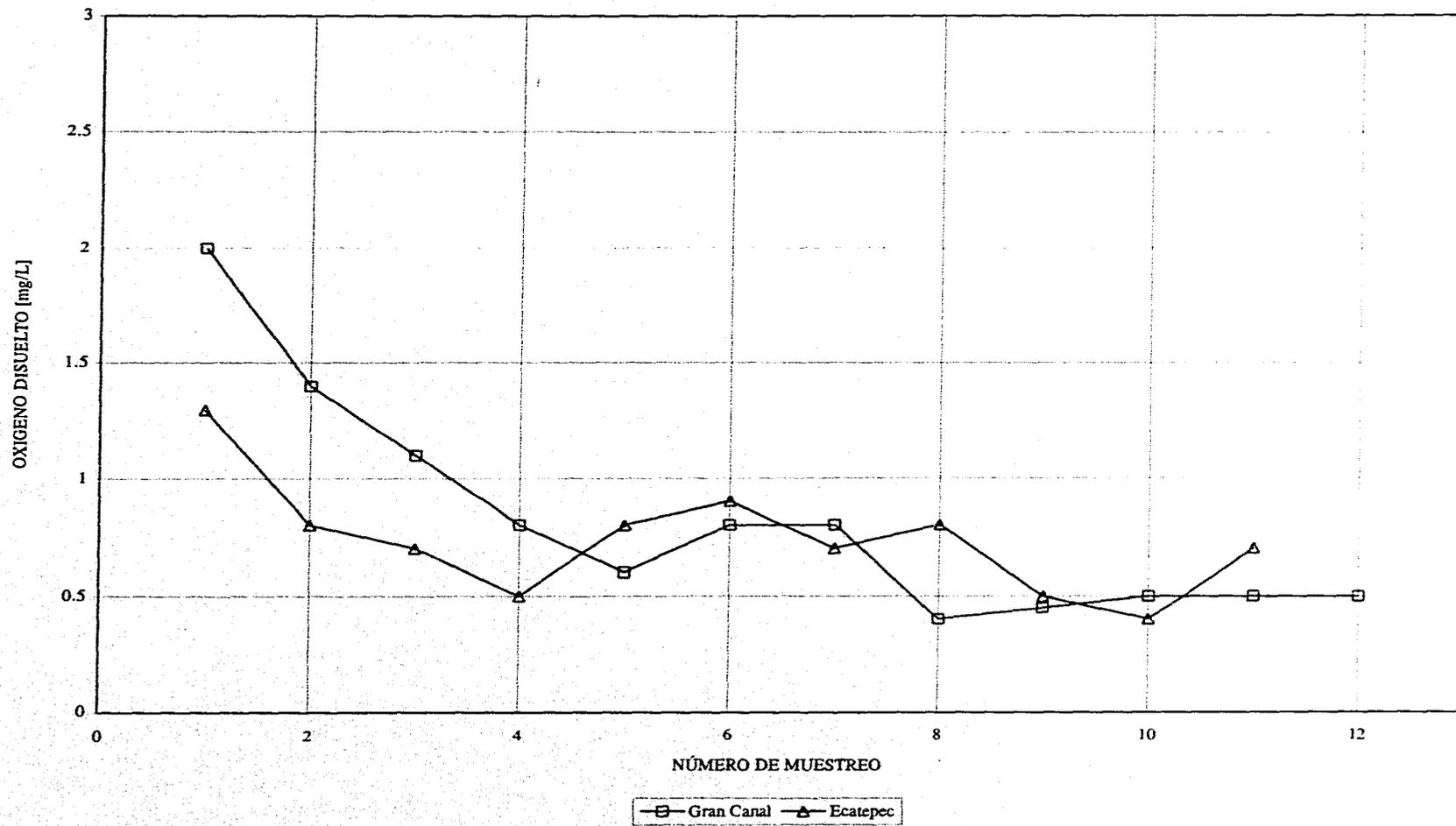
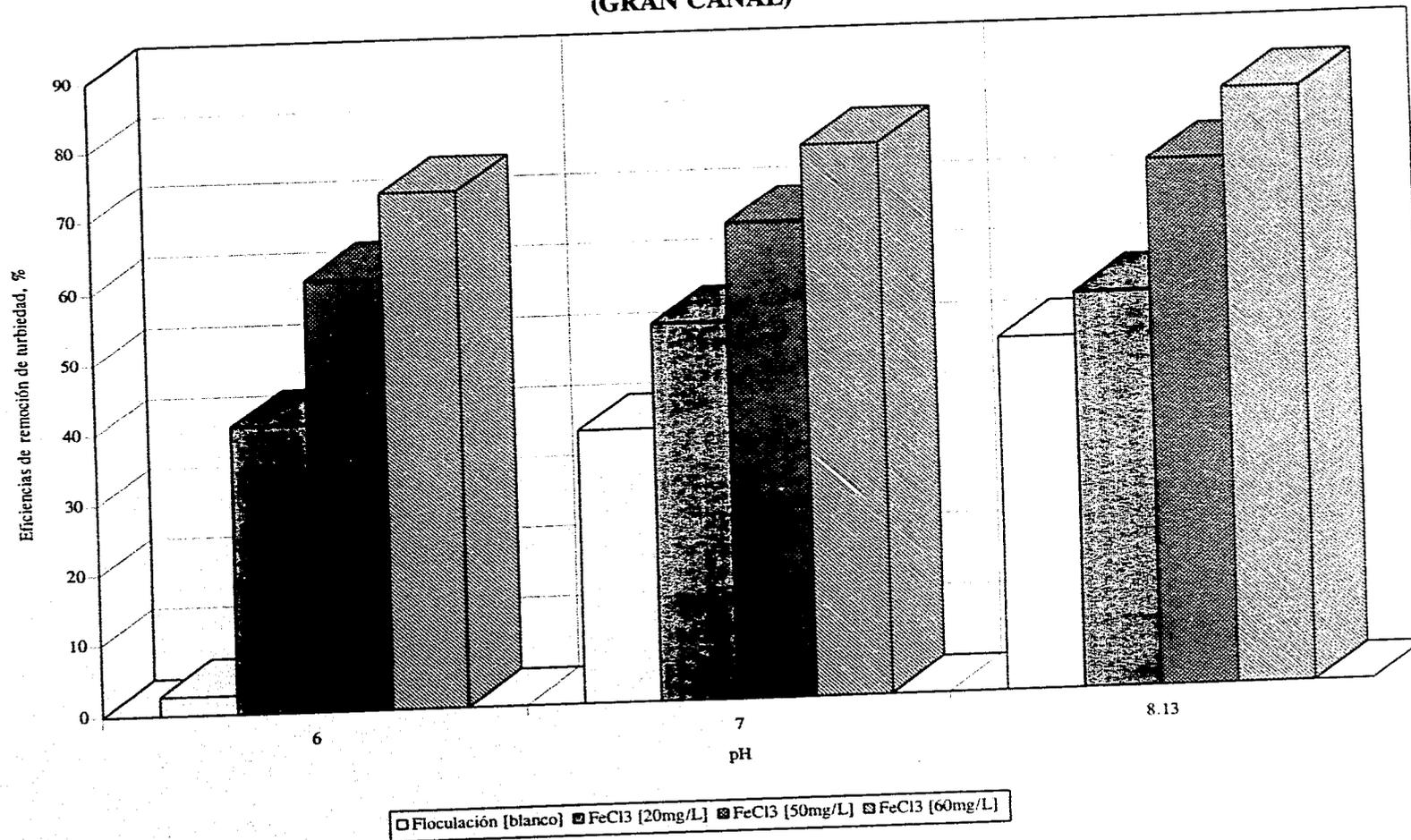


FIG 19 EFICIENCIAS DE REMOCION DE TURBIEDAD EN FUNCIÓN DE pH Y DOSIS DE FeCl₃ (GRAN CANAL)



Las eficiencias de remoción obtenidas en el tratamiento de las aguas de Ecatepec, se presentan en la FIG 20. En esta gráfica se observa que las mejores eficiencias se obtienen al pH típico del agua (pH = 8). Destaca en ésta, la mayor influencia de la dosis de reactivo en la eficiencia de remoción de turbiedad.

4.1.1 Estudio de floculantes (polielectrólitos)

Con el objeto de mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales obtenidas con bajas dosis de FeCl_3 , se analizó el efecto del empleo de diversos polielectrólitos.

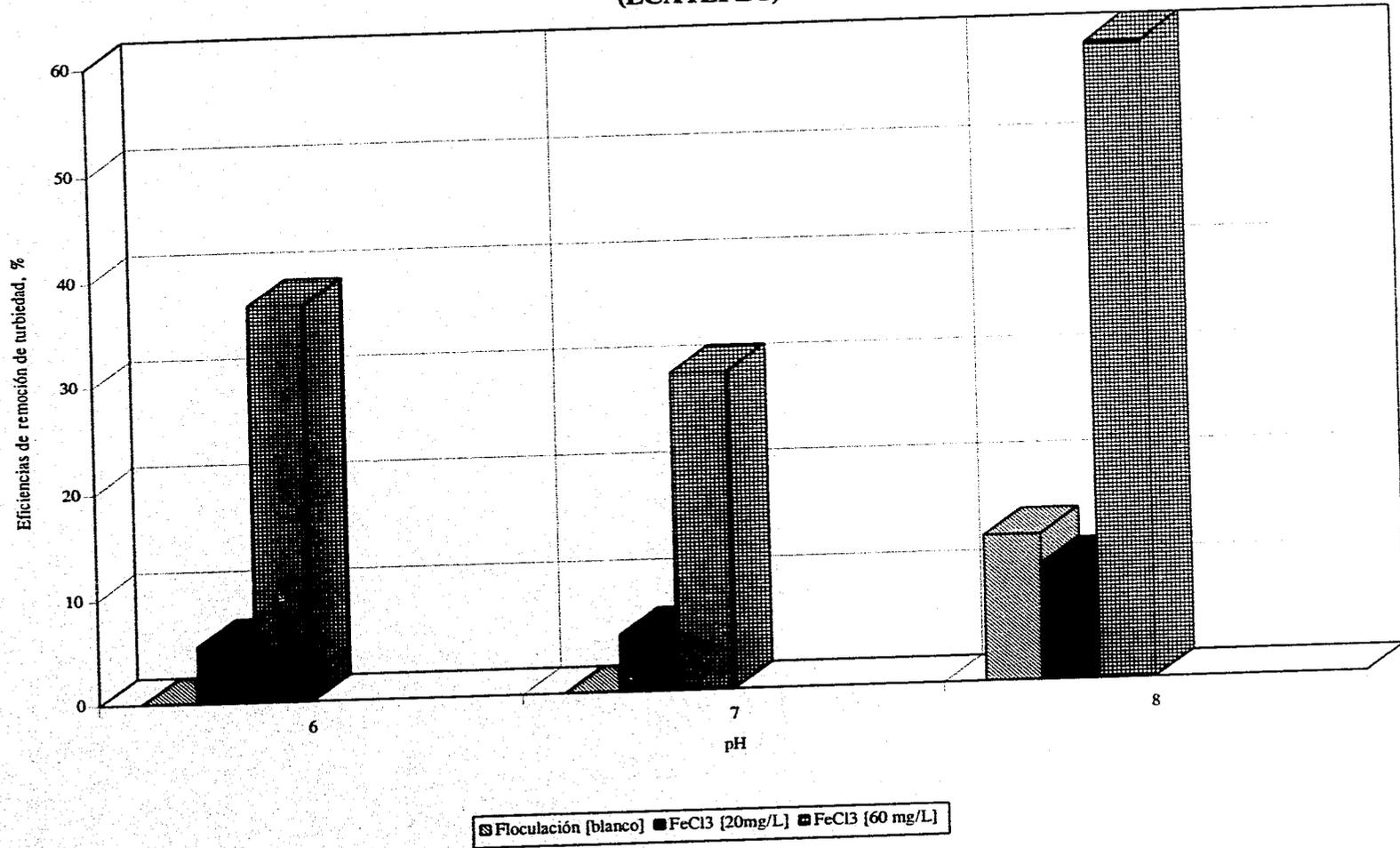
Los polielectrólitos ensayados fueron seleccionados con base en su extenso uso y accesible mercado. A este propósito colaboró la *Gerencia de Potabilización y Tratamiento de la Comisión Nacional del Agua*.

Previo a las pruebas de tratabilidad, a los polielectrólitos seleccionados, se les determinó su peso molecular, viscosidad y solubilidad, con la finalidad de definir la influencia de estas características en el proceso de coagulación-floculación y establecer, de esta manera, criterios para la selección de polielectrólitos como ayuda-coagulantes. Los resultados de estos análisis se presentan en la TABLA 39.

TABLA 39 PRINCIPALES CONSTANTES FÍSICAS DE LOS POLIELECTRÓLITOS SELECCIONADOS

NOMBRE DEL POLIELECTRÓLITO	PESO MOLECULAR	VISCOSIDAD cP a 24°C	SOLUBILIDAD
COMPLEX QUÍMICA	19.6 x 10 ⁶	2.92	Soluble en agua, forma gel insoluble en butanol.
SUPER-FLOC	22.0 x 10 ⁶	2.93	Soluble en agua, forma gel insoluble en butanol.
ZWITTERIONICO	3.6 x 10 ³	0.91	Soluble en agua, soluble en butanol
PROSIFLOC	24.2 x 10 ⁶	4.32	Soluble en agua, forma gel insoluble en butanol
NALCOMEX	17.1 X 10 ⁶	2.82	Soluble en agua, forma gel insoluble en butanol
KLORHIGEL 10.3% de Al ₂ O ₃	219	4.0	50% en agua
POLHIDRAL 23.5% de Al ₂ O ₃	227	4.33	40% en agua

FIG 20 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN FUNCIÓN DE DOSIS Y pH (ECATEPEC)



En las FIG 21 y 22 se presenta las gráficas de los resultados de las pruebas de tratamiento del agua del Gran Canal mediante el empleo de FeCl_3 en dosis de 20 mg/L y los polielectrólitos, ayuda-coagulante, en dosis de 0.4 mg/L. Las pruebas se realizaron al pH original del agua influente (pH = 7) y a pH de 8.1 y 6 (con excepción de las pruebas de los polielectrólitos ICA y Zwitteriónicos, efectuadas a pH original y ligeramente alcalino (FIG 22).

Los resultados de estos ensayos permiten establecer que no existen diferencias significativas entre el tratamiento de las aguas mediante FeCl_3 y FeCl_3 +polielectrólito; sin embargo, se obtienen mejores eficiencias al utilizar solo FeCl_3 . En estas pruebas se observó que la eficiencia del tratamiento se incrementa en aproximadamente un 10%, por efecto del incremento en pH.

Destaca en el tratamiento de las aguas del Gran Canal, que las eficiencias obtenidas por el sólo efecto coagulante de la agitación mecánica, registran valores del 40%, para el pH original del influente y de 50% en condiciones ligeramente alcalinas.

En el tratamiento de las aguas residuales de la Planta Ecatepec, solo se obtienen resultados de relativa importancia al pH original del influente; sin embargo, como en el caso anterior, las diferencias no son significativas entre el tratamiento con FeCl_3 y FeCl_3 +polielectrólitos. Las mejores eficiencias, que se obtuvieron mediante el tratamiento de FeCl_3 +NALCOMEX y mediante floculación simple, son sólo del 14% de remoción de turbiedad, como se muestra en las FIG 23 y 24.

Con objeto de evaluar la influencia del peso molecular de los polielectrólitos en el tratamiento, se realizaron ensayos utilizando como coagulantes los polielectrólitos Klorigel y Polhidral, los cuales son de bajo peso molecular (< 250). Los resultados graficados en las FIG 25 y 26, muestran que se logran eficiencias superiores al 75% de remoción de turbiedad y mejores eficiencias que las obtenidas con FeCl_3 y FeCl_3 +polielectrólitos.

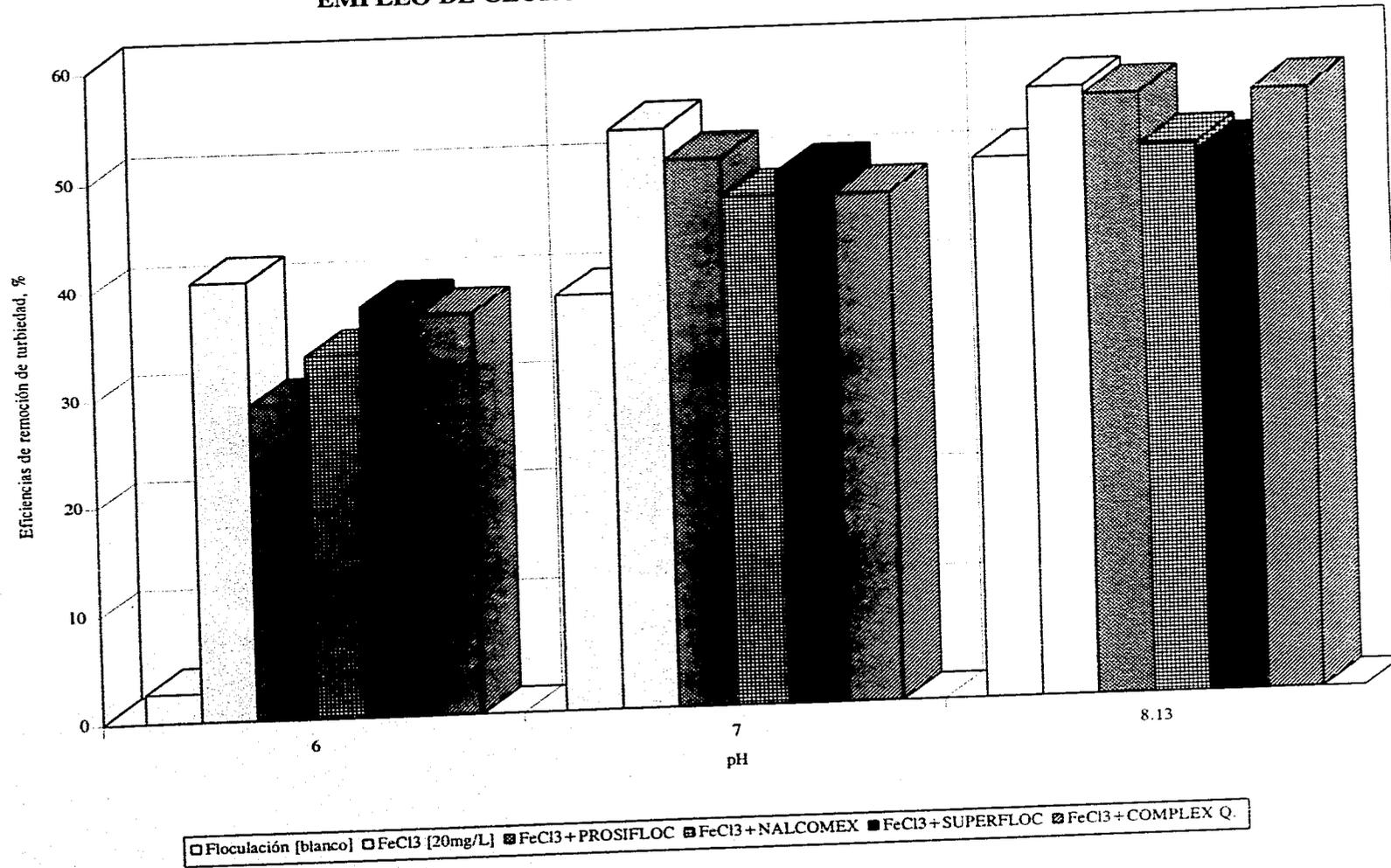
4.2 Evaluación del sulfato de aluminio como coagulante y los mejores floculantes comerciales

La TABLA 40 muestra los resultados de la calidad obtenida en el agua cruda o influente en la etapa experimental que comprende de: 20/12/1994 a 16/02/1995.

Los principales resultados evaluados para el efluente en el empleo de sulfato de aluminio sin ningún floculante son mostrados en la TABLA 41 (FIG 27), así como, el efecto de la coagulación mecánica.

Como se puede observar para una dosis de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 51 mg/L se obtiene una considerable remoción en promedio de: Turbiedad (73%), SST (84%) y DQO_T (48 %); además de que se tienen una apreciable disminución de conductividad que se encuentra fuera de los niveles máximos permitidos por la norma (NOM-CCA-032-

FIG 21 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE GRAN CANAL MEDIANTE EL EMPLEO DE CLORURO FÉRRICO Y POLIELECTROLITOS



79
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA INSTITUCIÓN

FIG 22 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL GRAN CANAL MEDIANTE CLORURO FÉRRICO-ICA Y ZWITTERIONICO

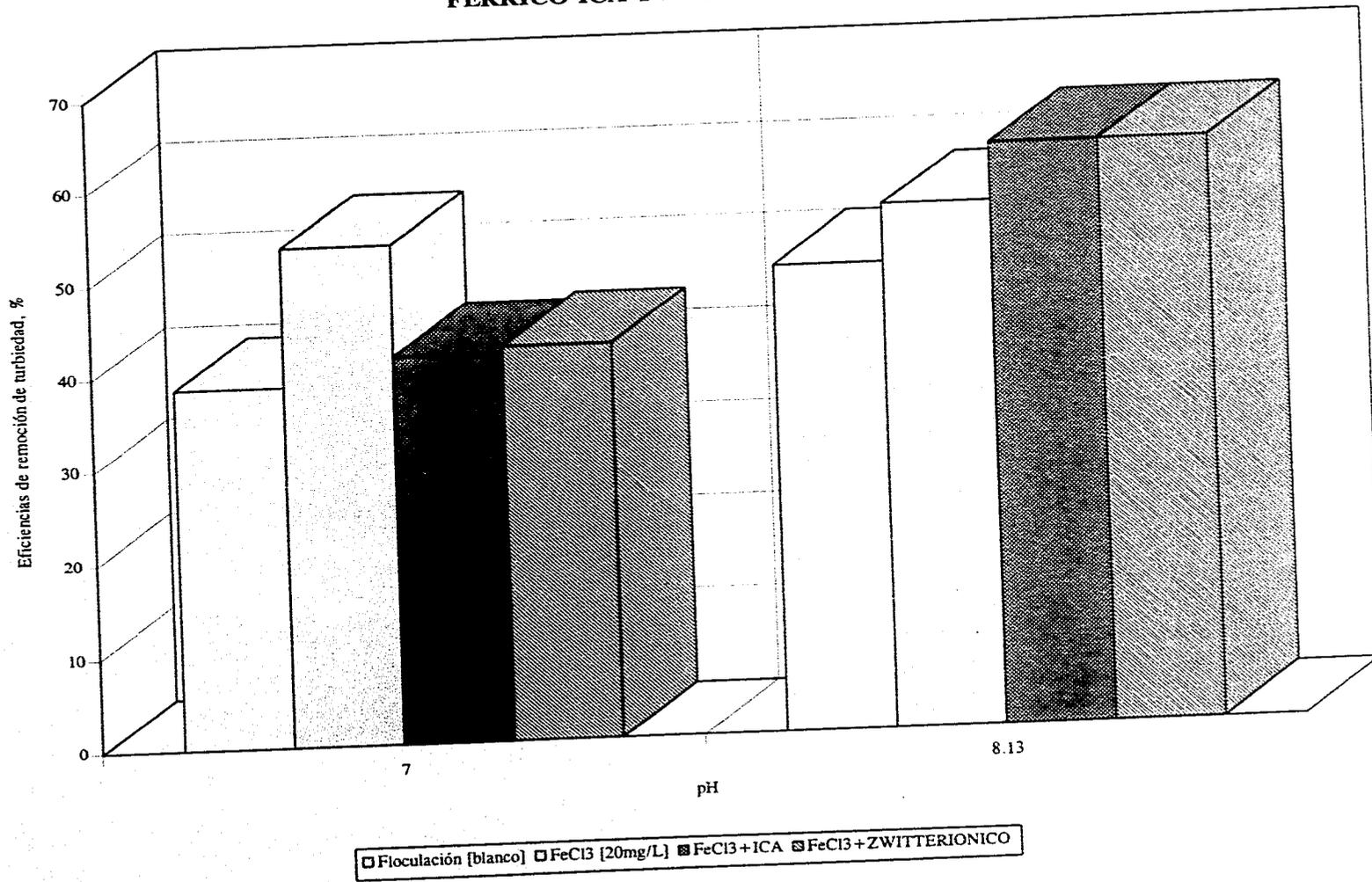
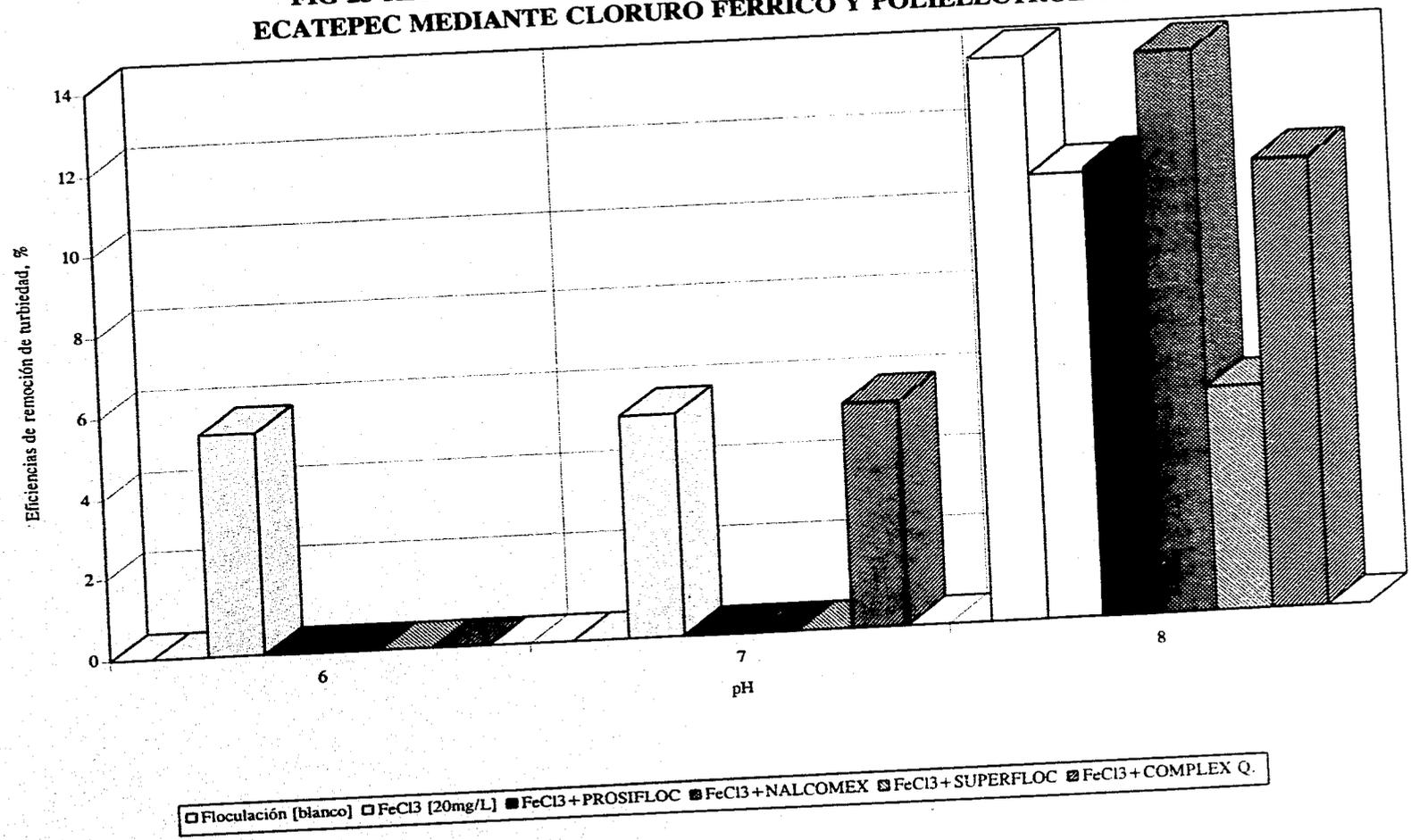


FIG 23 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE ECATEPEC MEDIANTE CLORURO FÉRRICO Y POLIELECTROLITO



08

**FIG 24 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LA PLANTA DE ECATEPEC
MEDIANTE CLORURO FÉRRICO-ICA Y ZWITTERIONICO**

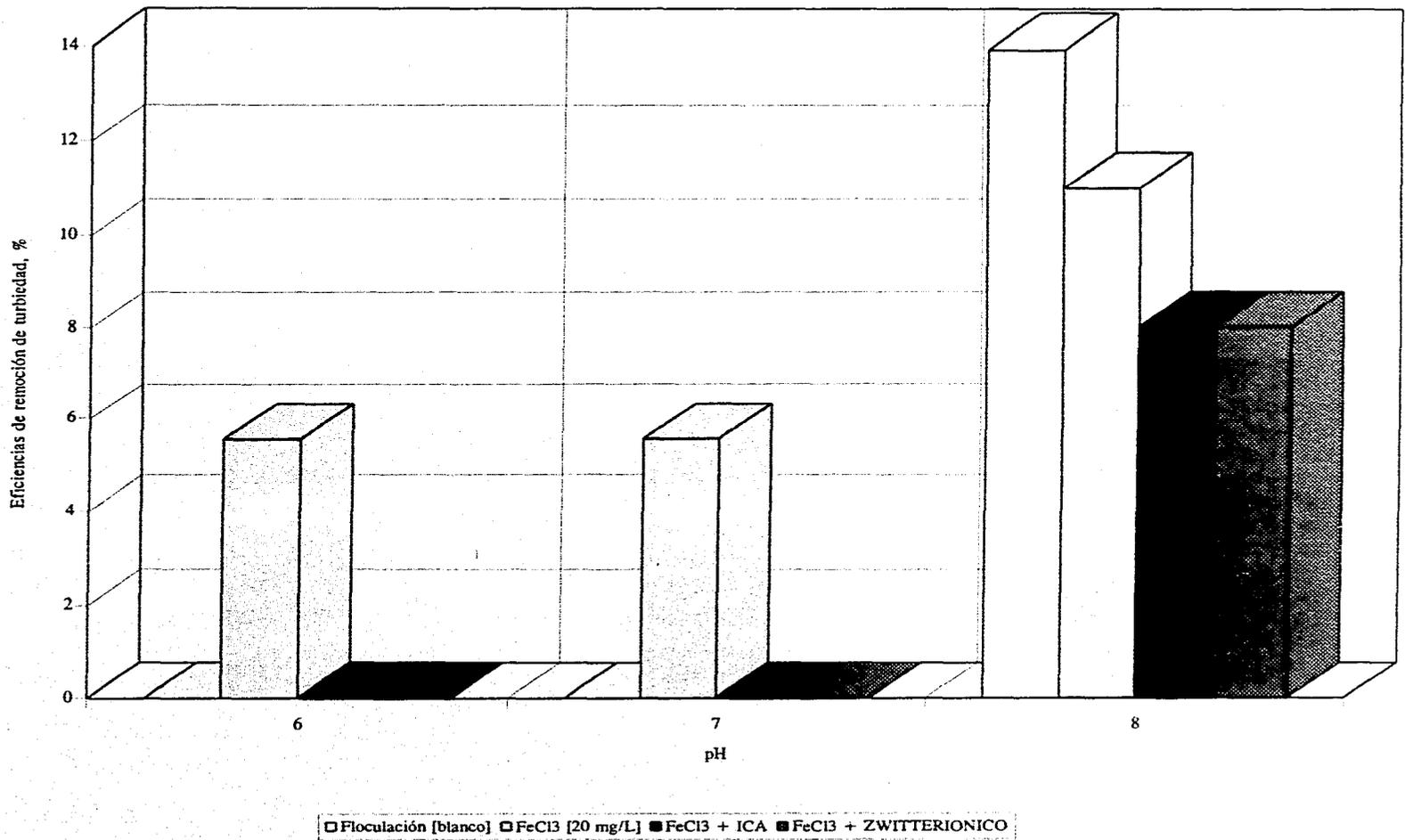


FIG 25 EFECTO DEL PESO MOLECULAR EN REMOCIÓN DE TURBIEDAD [GRAN CANAL]

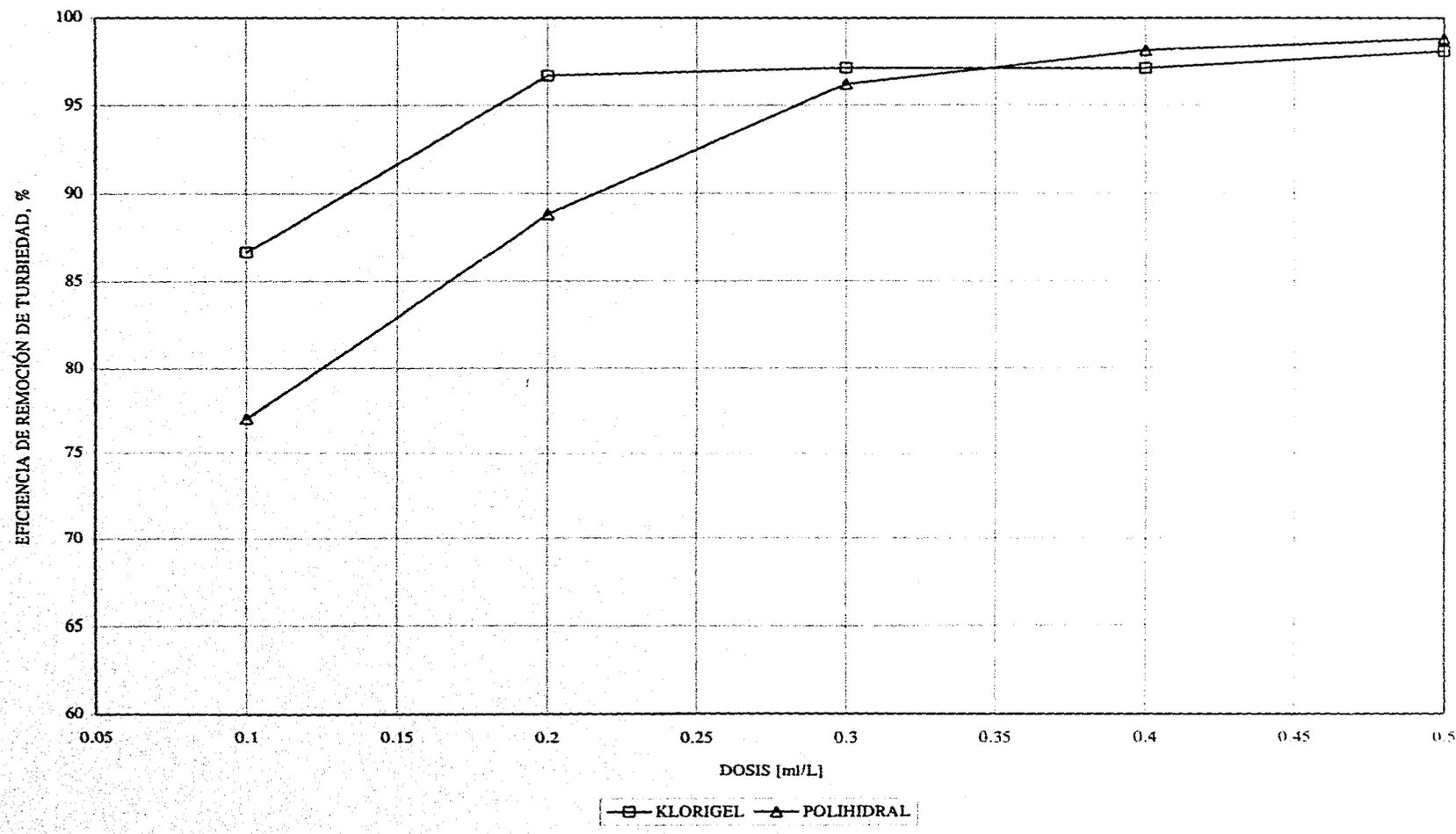
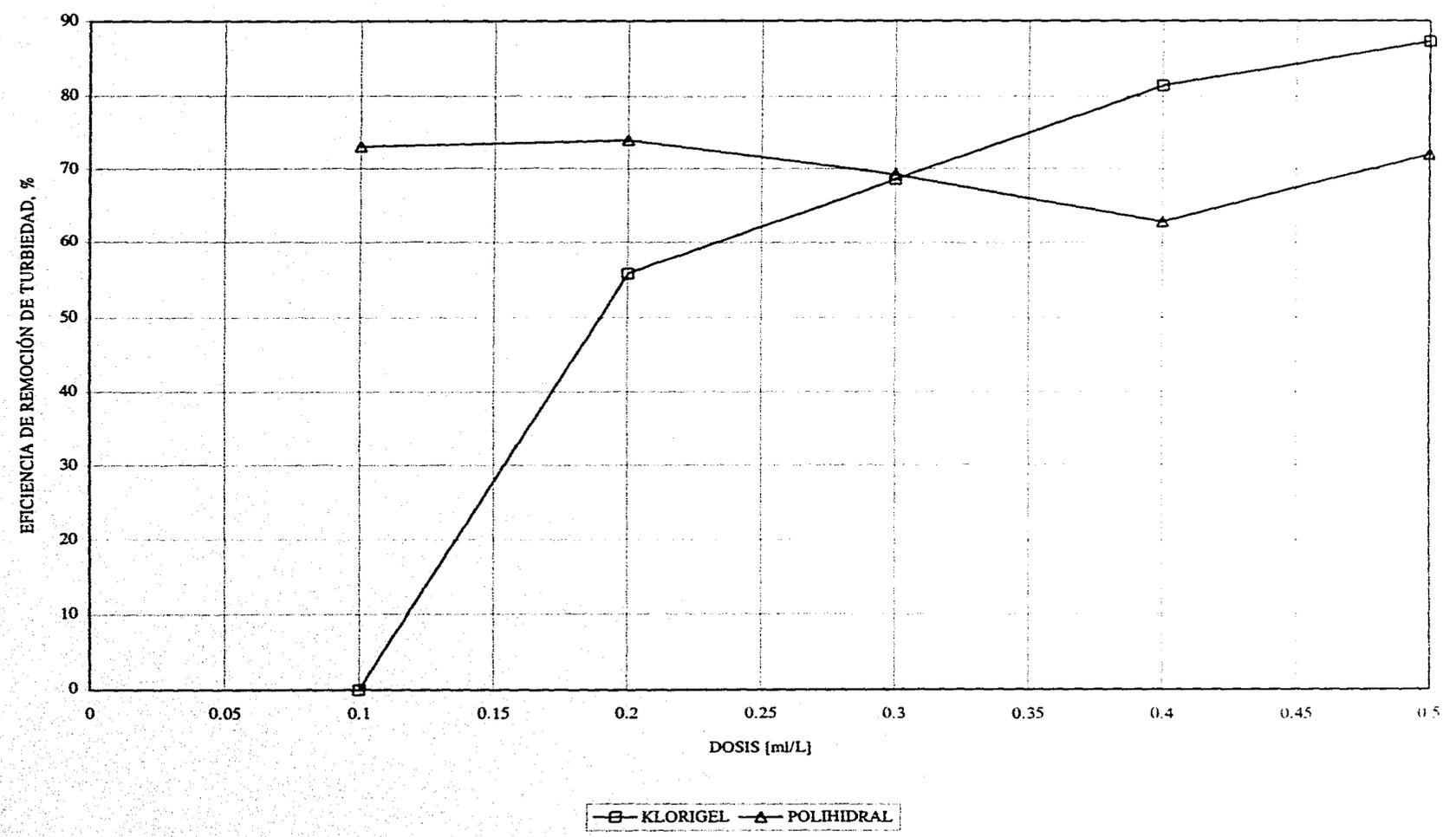


FIG 26 EFECTO DEL PESO MOLECULAR EN REMOCIÓN DE TURBIEDAD [ECATEPEC]



ECOL/1993 con un valor de 2000 μmho); lo cual no sucede en el caso del pH y se encuentra en un valor promedio de $\text{pH} = 7.96$; que se encuentra dentro de los que marca la legislación ambiental (pH de 8.5 a 6.5).

TABLA 40 CALIDAD DEL INFLUENTE (PLANTA DE ECATEPEC)

PARÁMETRO		PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
TURBIEDAD	[UTN]	305	425	177
pH		7.96	9.25	7
POTENCIAL	[mV]	-25.53	25	-106.60
CONDUCTIVIDAD	[μmho]	4330	30400	2120
SDT	[g/L]	1.43	2.33	1.06
SST	[mg/L]	184	244	136
SSV	[mg/L]	97	128	66
SSF	[mg/L]	90	116	68
DQO _T	[mg/L]	450	519	335

A partir una dosis de sulfato de aluminio de 25 mg/L fueron evaluadas diferentes concentraciones de floculante (polielectrólito). En la FIG 28 se muestran las remociones de turbiedad, SST y DQO_T con diferentes concentraciones de Prosifloc A252; en la figura se observa claramente que no existe ningún incremento en la remoción de los principales parámetros.

En la TABLA 42 se muestra una comparación con la dosis óptimas encontradas de los floculantes prosifloc A252 y Nalcomex en dosis de 0.1, 0.2 y 0.4 (estas dosis fueron evaluadas en estudios anteriores).

De los resultados puede concluirse que la concentración óptima recomendada de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) es de 51 a 56 mg/L para una mejor remoción de SST, turbiedad y DQO así como una notable disminución en la conductividad y el pH; para el caso de los floculantes comerciales, la dosis recomendada es de 0.4 mg/L y cabe destacar que su importancia radica en el proceso de la floculación, por lo que no se observan considerables incrementos en la remoción de SST, turbiedad, DQO, conductividad y pH. Por el contrario se obtiene una mejor sedimentación y como resultado de este proceso, una producción de lodos compactos, manejables por su consistencia y tamaño de flóculo.

85

TABLA 41 CALIDAD DEL INFLUENTE PARA LA COAGULACIÓN MECÁNICA Y
DIFERENTES DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO COMO $Al_2(SO_4)_3$

COAGULANTE $Al_2(SO_4)_3$ [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]			pH			POTENCIAL [mV]		
	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.
0	279	373	181	7.72	9.34	5.45	-26.53	32.60	-112.20
41	109	151	27	7.36	7.86	6.03	18.76	48.50	-6.70
51	84	112	67	6.73	7.78	5.75	38.48	69.20	-2.30
56	88	123	59	7.00	7.81	5.65	34.63	72.80	-4.50
66	92	123	59	6.93	7.70	5.66	38.85	75.30	2.40

COAGULANTE $Al_2(SO_4)_3$ [mg/L]	CONDUCTIVIDAD [μmho/cm]			SDT [g/L]			SST [mg/L]		
	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.
0	2690	4710	1350	1.36	2.70	0.97	128	158	100
41	273	3111	2100	1.37	1.56	1.06	38	44	26
51	2495	3040	2150	1.25	1.52	1.06	29	40	20
56	2653	3110	2070	1.33	1.56	1.03	27	32	22
66	2666	3110	2090	1.34	1.56	1.04	30	38	22

COAGULANTE $Al_2(SO_4)_3$ [mg/L]	SSV [mg/L]			SSF [mg/L]			DQO TOT [mg/L]		
	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.	PROMEDIO	MÁX.	MIN.
0	79	168	52	50	86	4	413	498	288
41	29	36	22	9	12	4	259	293	218
51	23	30	18	7	10	0	232	261	192
56	21	26	14	6	10	2	242	284	215
66	23	30	16	7	12	2	241	274	193

FIG 27 REMOCIÓN DE TURBIEDAD, SST Y DQO_T CON COAGULACIÓN MECANICA Y $Al_2(SO_4)_3$

98

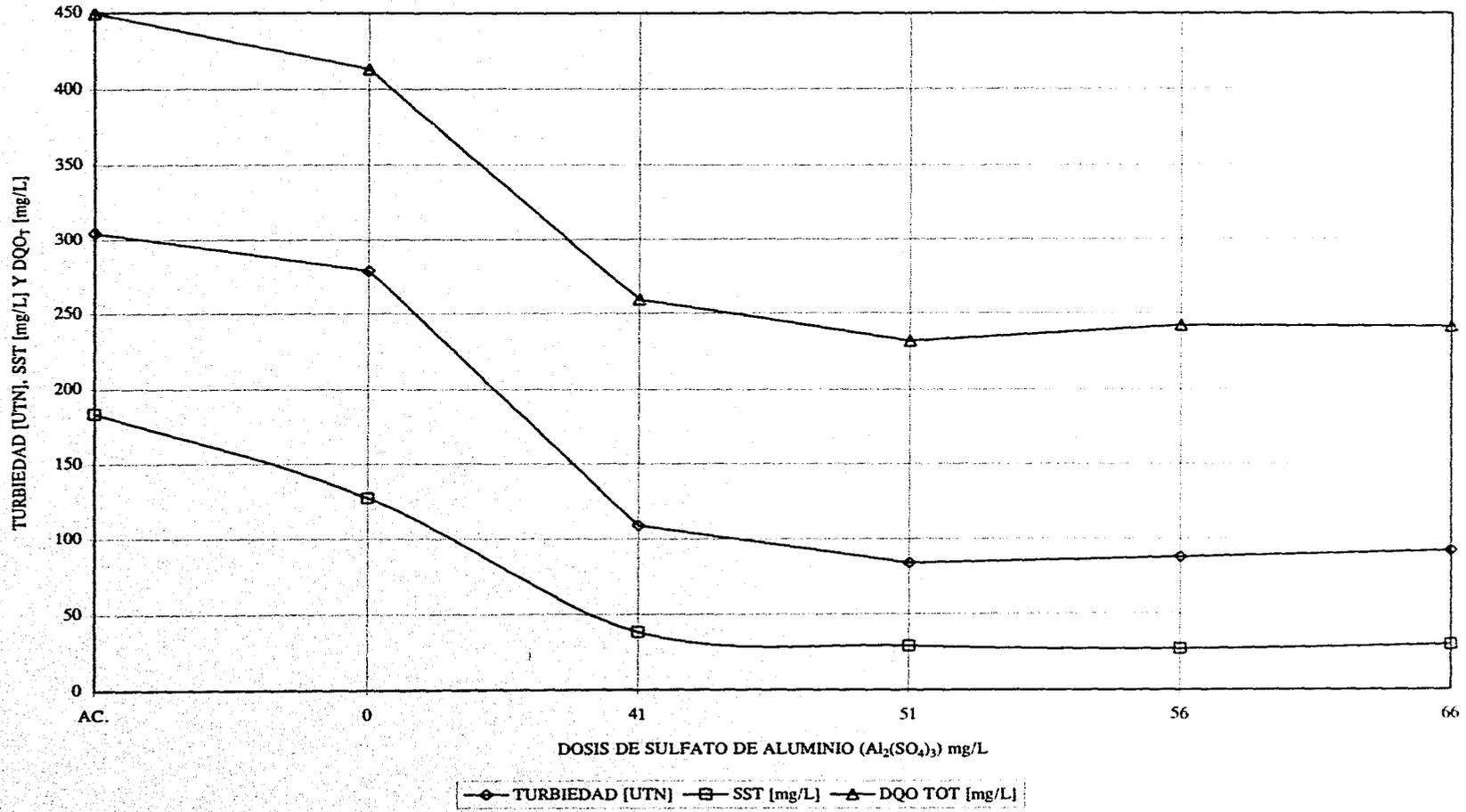


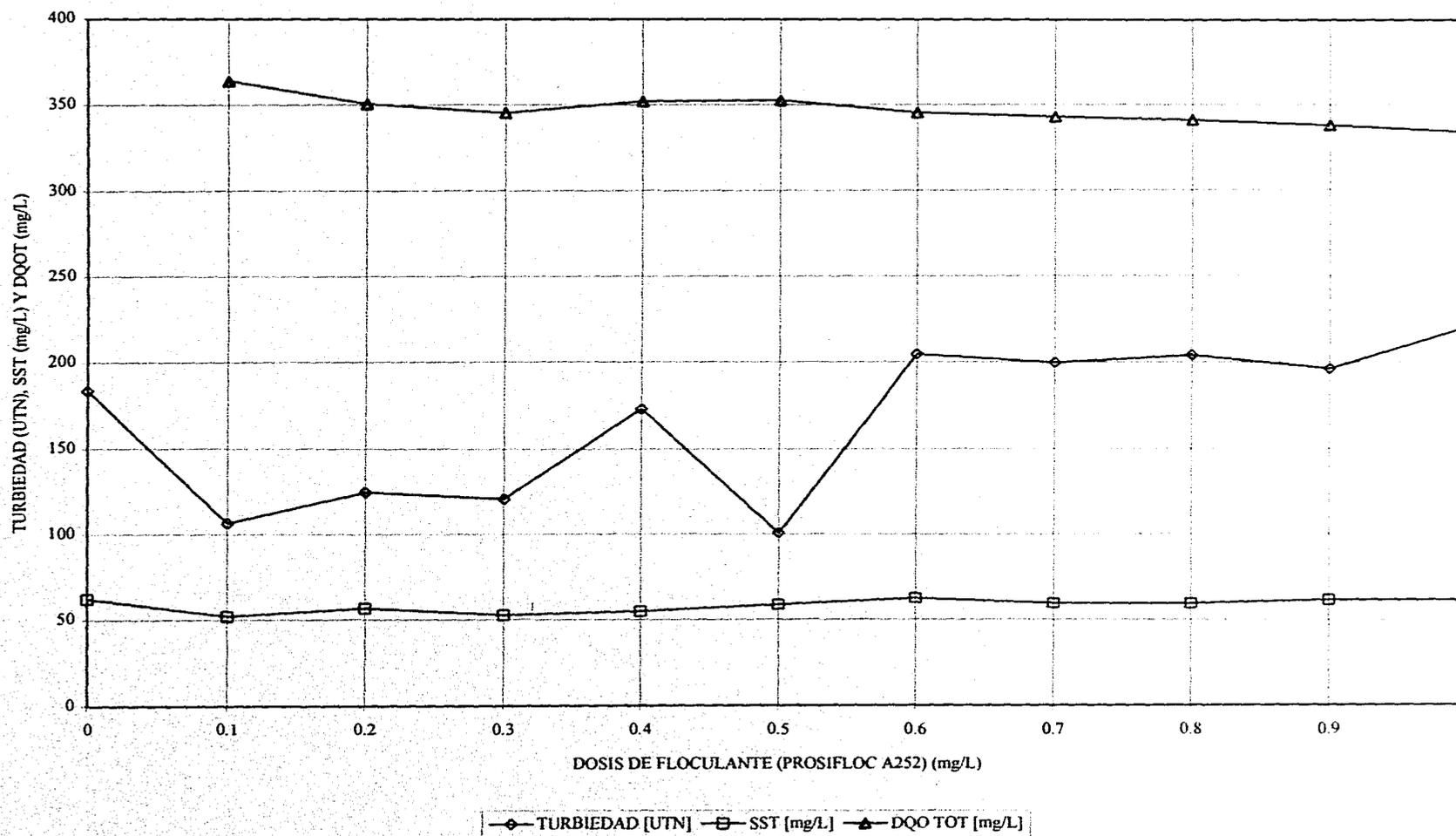
FIG 28 REMOCIÓN DE TURBIEDAD, SST Y DQO DE PROSIFLOC A252 Y 25 mg/L DE $Al_2(SO_4)_3$ 

TABLA 42 CALIDAD OBTENIDA EN EL EFLUENTE CON DOSIS RECOMENDADAS DE $Al_2(SO_4)_3$ DE 51 mg/L (100 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$) Y DE FLOCULANTE

PARÁMETRO	SIN FLOCULANTE	PROSIFLOC A252	NALCOMEX		
		0.4 [mg/L]	0.4 [mg/L]	0.2 [mg/L]	0.1 [mg/L]
TURBIEDAD [UTN]	84	122	108	118	102
pH	7.68	7.24	7.24	7.29	7.05
SST [mg/L]	29	43	37	42	38
DQOT [mg/L]	232	260	254	258	255
CONDUCTIVIDAD [μ mho]	2500	2890	2570	2720	2740

4.3 Evaluación del hidróxido de calcio como cuagulante y los mejores floculantes comerciales

La TABLA 43 muestra los resultados de la calidad obtenida en el agua cruda o influente en la etapa experimental que comprende de: 20/12/1994 a 23/02/1995.

Los principales resultados evaluados para el efluente en el empleo de hidróxido de calcio sin ningún floculante son mostrados en la TABLA 44 (FIG 29), así como, el efecto de la coagulación mecánica.

TABLA 43 CALIDAD DEL INFLUENTE (PLANTA DE ECATEPEC)

PARÁMETRO		PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
TURBIEDAD	[UTN]	306	425	177
pH		7.98	9.25	7
POTENCIAL	[mV]	-15.48	25	-106.6
CONDUCTIVIDAD	[μ mho]	3906	30400	2120
SDT	[g/L]	1.43	2.33	1.06
SST	[mg/L]	179	238	116
SSV	[mg/L]	100	128	66
SSF	[mg/L]	96	244	46
DQO _T	[mg/L]	453	547	128

TABLA 44 CALIDAD DEL EFLUENTE PARA LA COAGULACIÓN MECÁNICA Y DIFERENTES DOSIS DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

Ca(OH) ₂ [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	POTENCIAL [mV]	CONDUCTIVIDAD [μmho/cm]	TDS [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
0	278	7.56	2.5	1610	0.75	61	18	43
25	167	7.83	-11.5	1630	0.8	74	50	24
50	174	8.24	-33.8	1620	0.49	61	42	19
75	168	8.46	-46.2	1590	0.77	50	49	1
100	159	8.75	-61.1	1620	0.74	108	57	51
125	135	8.89	-69	1610	0.75	72	53	19
150	119	8.98	-73.4	1570	0.79	80	53	27
175	46	9.21	-86	1530	0.79	38	24	14
200	28.1	9.44	-97.7	1510	0.76	27	15	12
275	21.2	9.53	-102.8	1540	0.77	22	15	7
300	22.8	9.54	-103.3	1420	0.73	10	5	5
325	23	9.51	-104.3	1430	0.69	15	9	6

Como se puede observar para una dosis de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ 200 a 250 mg/L se obtiene una considerable remoción en promedio de: Turbiedad (91%), SST (85%) y DQO_T (57%); además de que se tiene una apreciable disminución de conductividad y, por el contrario, un aumento fuera de los niveles de la norma en el pH.

Al hacer una comparación con la dosis óptima encontrada del floculante Prosifloc A252 y con Nalcomex en dosis de 0.1, 0.2 y 0.4 (estas dosis fueron evaluadas en estudios anteriores) como se muestra en la TABLA 45.

De los resultados puede concluirse que la concentración óptima recomendada de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ es de 200 a 250 mg/L para una mejor remoción de SST, turbiedad y DQO, así como un considerable incremento de pH y notable disminución en la conductividad para el caso de los floculantes.

Las dosis recomendables de cada uno de los coagulantes y floculantes estudiados son las de la TABLA 46.

Las eficiencias para los diversos floculantes con los mejores polielectrólitos se muestran en las FIG 30 y 31. Es importante destacar que al aumentar las dosis de cloruro férrico por encima de 50 mg/L se incrementaba el contenido de sólidos pequeños en suspensión, efecto que fue observado en varias ocasiones.

TABLA 45 CALIDAD OBTENIDA EN EL EFLUENTE CON DOSIS RECOMENDADAS DE Ca(OH)_2 250 mg/L Y DE FLOCULANTE

PARÁMETRO	SIN FLOCULANTE [200 mg/L de Ca(OH)_2]	PROSIFLOC A252			NALCOMEX		
		0.4 [mg/L]	0.2 [mg/L]	0.1 [mg/L]	0.4 [mg/L]	0.2 [mg/L]	0.1 [mg/L]
TURBIEDAD [UTN]	28	38	55	92	41	44	32
pH	9.4	9.6	10.3	8.6		9	8.5
SST [mg/L]	27	47	59	28	247	51	26
DQOT [mg/L]	-	246	241	307	272	272	288
CONDUCTIVIDAD [μmho]	1540	2670	2240	3040	2450	2540	2950

TABLA 46 RESULTADOS ENCONTRADOS CON LOS DIVERSOS COAGULANTES Y LOS MEJORES POLIELECTRÓLITOS

CONDICIONES	DOSIS, mg/L	POLIELECTRÓLITO	DOSIS, mg/L	UTN efluente	SST efluente, mg/L
Cloruro férrico	50	Nalcomex Prosifloc	0.4	175	75
			0.4	187	68
Sulfato de aluminio*	100	Nalcomex Prosifloc	0.4	108	37
			0.4	122	43
Cal	200	Nalcomex Prosifloc	0.4	41	47
			0.4	37	47
Clorigel	50	--	--	18	--
Polhidral	50	--	--	28	24

* Como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

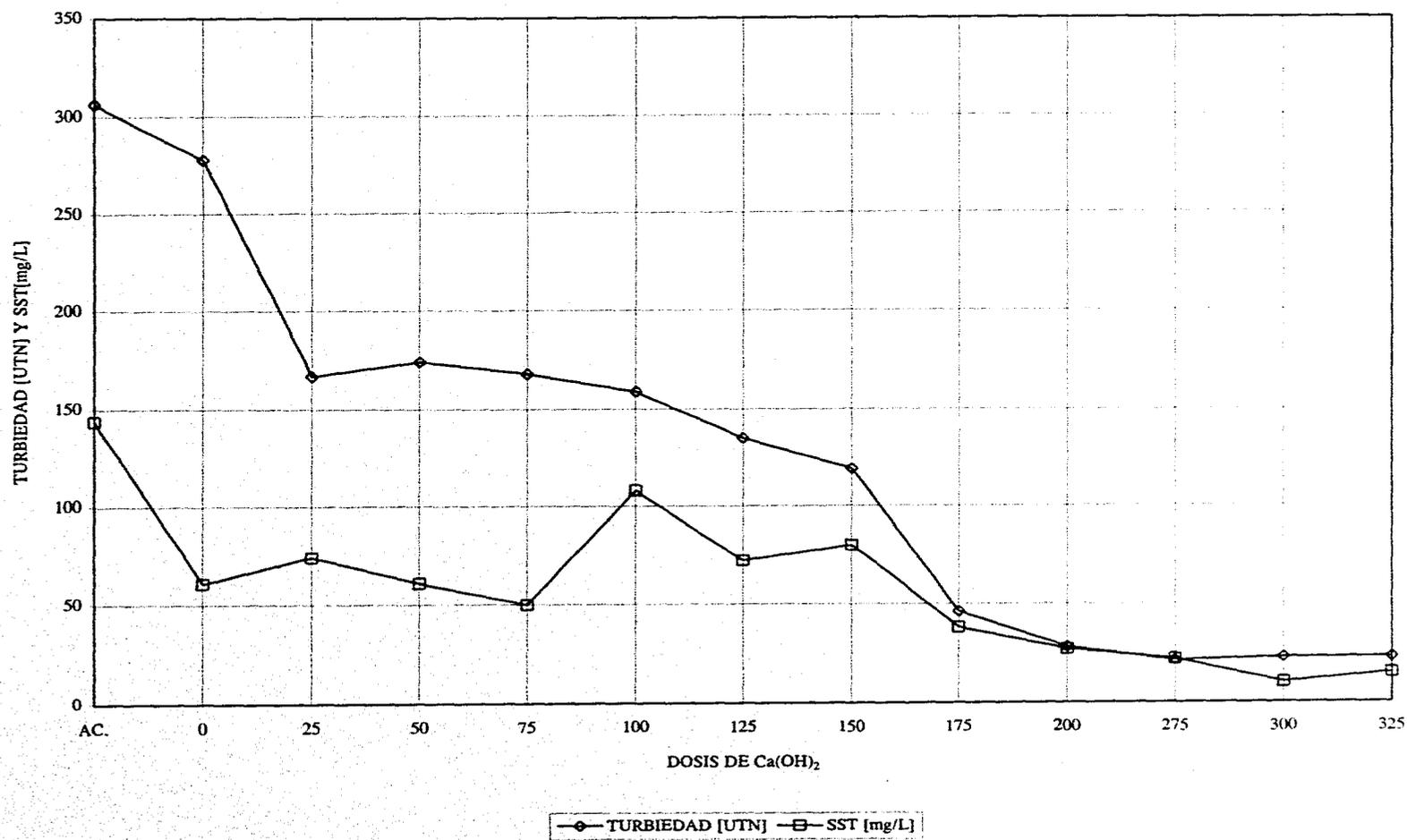
FIG 29 REMOCIÓN DE TURBIEDAD, SST CON $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Y COAGULACIÓN MECÁNICA

FIG 30 COMPARACION DE DIVERSOS COAGULANTES CON EL MEJOR FLOCULANTE (NALCOMEX 0.4 mg/L)

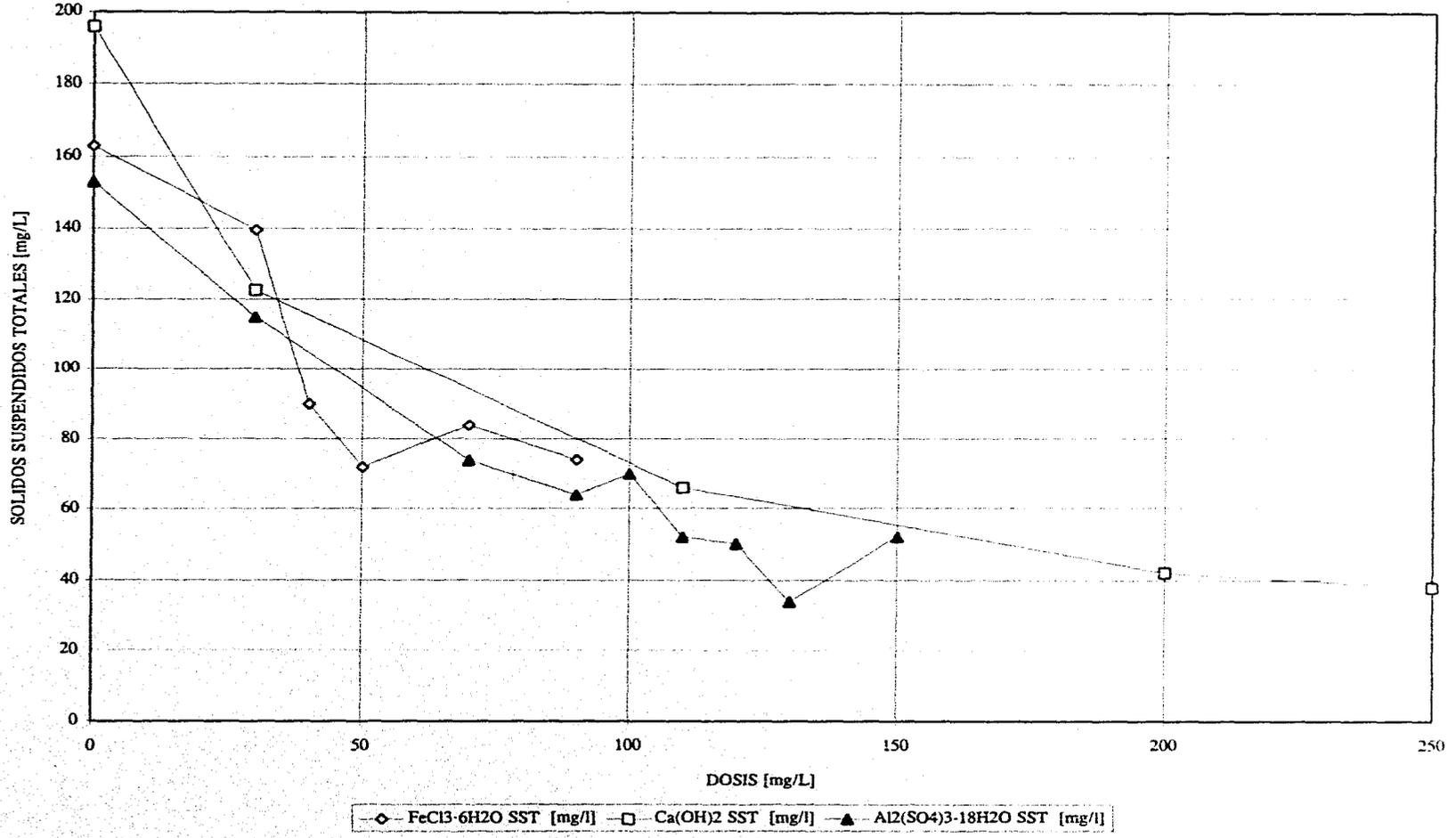
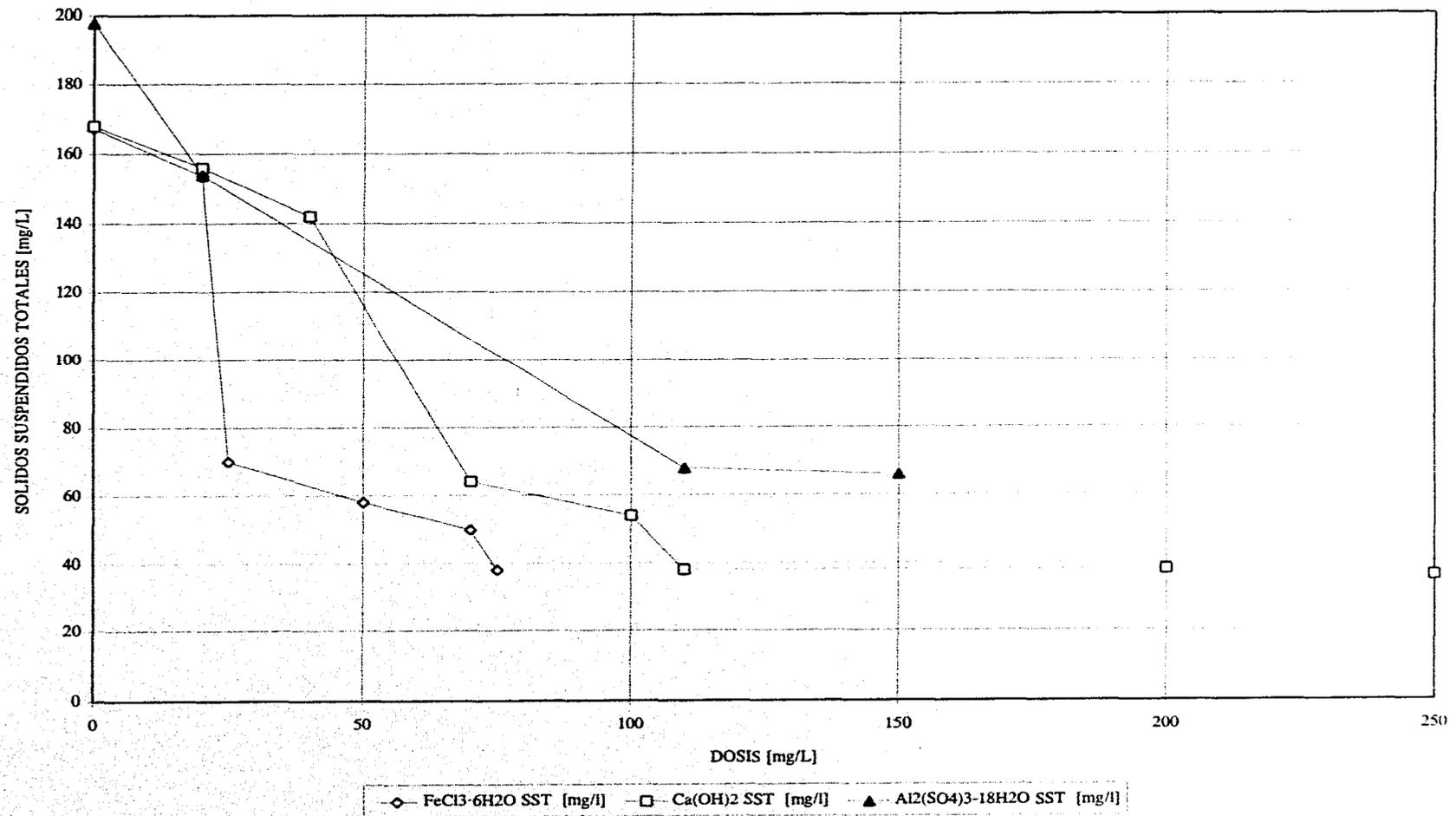


FIG 31 COMPARACION DE DIVERSOS COAGULANTES CON EL MEJOR FLOCULANTE (PROSIFLOC 0.4 mg/L)



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de este estudio resulta que el coagulante que presenta mejores resultados es la cal seguida por el sulfato de aluminio y cloruro férrico. Para los floculantes, los de mejores resultados son Nalcomex y Prosifloc A252. En la TABLA 47 se presentaran las dosis recomendadas de los coagulantes y los floculantes de mejores resultados y los respectivos valores de norma.

La TABLA 48 muestra los costos comparativos de los principales coagulantes empleados para diferentes fabricantes. Los costos de dicha tabla se expresaron en forma relativa al precio de la cal para un mismo proveedor debido a la situación económica del país, los datos recabados difieren mucho entre las casas comerciales.

TABLA 47 PARÁMETROS COMPARATIVOS PARA LAS MEJORES DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTES REPRESENTATIVOS DE ACUERDO A LA NOM-CCA-032-ECOL/1993

	pH	Conductividad [µmho/cm]	SST [mg/L]	DQO ₅ [mg/L]	Turbiedad [UTN]
Valores de NOM	6.5 a 8.5	200	120	300*	-
Agua Cruda Gran Canal	7.0	1466	108	-	123
Agua Cruda Planta de Ecatepec	8.1	3848	167	452	281
Coagulación Mecánica	7.8	2704	131	428	263
Hidróxido de calcio (200 mg/L Ca(OH) ₂ + 0.4 mg/L de Prosifloc A252)	9.6	2670	47	246	38
Sulfato de aluminio (100 mg/L Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O + 0.4 mg/L de Prosifloc A252)	7.2	2890	43	260	122
Cloruro férrico (50 mg/L FeCl ₃ · 6 H ₂ O + 0.4 mg/L de Nalcomex)	7.3	2709	75	347	175

* Relación de aguas residuales domesticas típicas para DBO₅/DQO = 0.4
(Metcalf y Eddy, 1993)

TABLA 48 COSTOS COMPARATIVOS DEL CLORURO FÉRRICO, SULFATO DE ALUMINIO Y CAL PARA DIVERSOS PROVEEDORES TOMANDO COMO BASE LA CAL

PROVEEDOR	CLORURO FÉRRICO	SULFATO DE ALUMINIO	CAL
Química Industrial Newman	5.5	2.2	1
Química Montreal	4.4	3.6	1
Abaquim	3.3	1.6	1
Mardupol	--	1.7	1

De lo anterior se desprende que los mejores coagulantes son la cal y el sulfato de aluminio combinados con los polielectrólitos Nalcomex y Prosifloc. Sin embargo, la cal produce un incremento de pH hasta valores cercanos a 9.6, que es superior a lo recomendado por la NOM-CCA-032-ECOL/93 (pH de 8.5), por lo que su aplicación se limita a la posibilidad de desarrollar un método de corrección de pH.

Una de las principales recomendaciones en el desarrollo de las pruebas de tratabilidad (pruebas de jarras), así como en los muestreos es:

- a) Escoger un sitio de muestreo que sea accesible, además de que el tipo de muestra sea lo más representativa y uniforme al influente que se tendrá en la planta ya construida.
- b) El muestreo se debe realizar en diferentes zonas del río a lo ancho y a diferentes profundidades para verificar si no existe alguna variabilidad con respecto a la profundidad además de que se deben de realizar muestreos compuestos.
- c) Al momento de obtener la muestra se deben de medir todos los parámetros necesarios para una posterior verificación en el laboratorio y rectificar que no haya sufrido alteraciones en su almacenamiento y transporte.
- d) El almacenamiento se debe realizar en bidones cerrados y a una temperatura inferior a la del ambiente, para evitar la proliferación de microorganismos y una alteración del agua.
- e) Las pruebas de tratabilidad se deben realizar a pocas horas de haberse tomado la muestra, ya que si se almacena por más de 24 horas, la muestra se empieza a degradar por los microorganismos presentes en el agua residual.
- f) En el almacenamiento de la muestra es conveniente no agregar ningún agente químico para la posible preservación de la muestra; como por ejemplo el ácido: el ácido inhibe la proliferación de microorganismos, pero a su vez afecta las pruebas de tratabilidad (afecta al proceso de la coagulación-floculación).

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera C. (1980), "*Relación agua solo planta, atmósfera*". Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. Estado de México.

Altre S. W. (1977), "*Determination of element impurities in water-treatment chemical*". Journal A.W.W.A. V.69. No.4.

Bacquet G. y Bentabet M. (1993), "*Tratamiento físico-químico con decantación lamelar. Reducción de la superficie de implantación y del consumo de reactivos*". Tecnología del Agua, enero Mo. 105 pp 59-68.

Blom E. W. (1993), "*Point Loma wastewater treatment plant. Chemical pilot test program*". Report for the status conference. Augus 6, San Diego, California, EEUUA.

Caceres L. (1993), "*Comparison of lime and alum treatment of municipal wastewater*". Wat. Sci. Tech., V.27, No.11, Great Britain

Chack J., Rubino V., McFarland S, Krasnoff P. y Liubicih J. (1994) "*Advanced primary treatment bridges the gap*". Wat. Environm. Tech., V.6, No.1.

Chaudhary R., Shao Y.J., Crosse J. y Soroushian F. (1991), "*Evaluation of chemical addition*". Wat. Environm. Tech., V.3, No.2.

Coma J., Jabbouri A. (1991), "*Intensive primary treatment of urban wastewater*". Wat. Sci. Tech., V.25, No.7, Great Britain

CNA' (1994), "*Saneamiento del Valle de México*". Informe de Avance al mes de febrero. 36 pp. México D.F.

County Sanitation Districts (1973), "*Results of a seven day test of physical-chemical treatment*". Districts 1, 2, 3, 5, 6 y 7. Reporte Interno. Orange California, EEUUA

Degrémont (1979), "*Water treatment handbook*". A halsted press book. John Wiley & Sons, 4a. ed., Nueva York, EEUUA, pp.135-138.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1994), décima cuarta reimpression. "*Manual de tratamiento de aguas*" Ed. Limusa-Noriega Editores, pp. 205

De Zuam J., D. E. (1990), "*Handbook of drinking water quality standard and control*". Van Nostrand Reinhold, Nueva York, EEUUA.

Diario Oficial de la Federación (1993), "*Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL/1993*", Segunda sección, Lunes 18 de octubre. pp. 120 - 124

- Eckenfelder W. (1989), "*Industrial water pollution control*". 2a. edición. Ed. Mc-Graw-Hill International Edition. Civil Engineering Series. pp 84-95.
- Eckenfelder W. (1991), "*Principles of water quality management*" Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, EEUUA, pp. 461-463.
- Evans J. W., (1991). "*The production of inorganic material*" Maxwell Macmillan International, Publishing Group, Nueva York, EEUUA pp. 147, 150, 152.
- Fettig J., Ratnaweera H. y Odegaard H. (1990), "*Synthetic polymers in wastewater treatment*". Water Supply, Vol. 8, Jonkoping, pp 19-26.
- Garay P. N., (1992), "*High-Quality Industrial Water Mangement Manual*" Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México. pp. 82-84.
- Gutcho A. (1972), "*Anionic polymerization*" Ed. Elsevier. Cap. 1, Vol. 15. Nueva York, EEUUA.
- Hanson A. y Cleasby J. (1990), "*The effect of temperature on turbulent flocculation: Fluid dynamics and chemistry*", Research and Technology, journal AWWA pp 56-73.
- Hansson B. y Langworthy A. (1994), "*Upgrading point Loma treatment plant in San Diego with improved advanced primary treatment*". Chemical water and wastewater treatment III. 66th Annual Conference & Exposition, Anaheim, California, EEUUA, Octubre 3-7, Water Environment Federation. pp 95-106. pp 259-268.
- Harleman D. (1992), "*Chemically enhanced primary treatment for municipal wastewater*". *Intertech conferences: flocculants, coagulants and precipitants for drinking water and wastewater treatment*", Intertech conferences, octubre 29-30. Virginia, EEUUA.
- Imhoff K. (1989), "*Handbook of urban drainage and wastewater, disposal*". John Wiley & Sons, Nueva York, EEUUA. pp. 129,130.
- Jiménez C. (1994), "*Estudio de disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad*". Instituto de Ingeniería de la UNAM. México D.F.
- Krammer f., (1982), "*The nalco water Handbook*". Nalco Chemical Company, 2a. Ed. Mc Graw-Hill International Edition. pp. 8-1 - 8-23
- Lahoussine V. (1990), "*Coagulation pretreatment for ultrafiltration of surface water*". Journal A.W.W.A. V.82, No.12
- Lamb C., (1985), "*Water quality and its control*" John Wiley & Sons, Nueva York, EEUUA, pp. 243.

Letterman R. y Pero R. (1990), "*Contaminants in polyelectrolytes used in water treatment*". Research and Technology, Journal AWWA. Noviembre pp 87-97.

Lund H. F., (1971), "*Industrial Pollution Control Handbook*". Mc Graw-Hill Book Company., México pp. 5.109-5.115.

Manwaring J. (1971), "*Removal of viruses by coagulation and flocculation*". Journal A.W.W.A. V.64

Maskew F. G., G., O., (1989), "*Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, purificación del agua, tratamiento y remoción de aguas residuales*" Limusa, 6a. Reimp. México. pp. 74, 375, 389-432, 616, 619.

Metcalf y Eddy, (1993), "*Wastewater engineering*" Ed. Mc-Graw-Hill, International Edition. pp 47 - 108.

Morrissey S., Altshul J. y harleman D. (1992), "*Preparatory Bench scale testing for Chemically enhanced primary treatment*"- Final MIT/AUB Report.

Myers D., (1991), "*Surfaces, Interface and Colloids, principles and applications*" VCH, Argentina. pp. 58-70

Ooten R.J., Shao Y.J., Soroushian F. y Crosse J. (1993), "*Southern California secondary equivalency treatment research and operational projects*". 66th Annual Conference & Exposition, Anaheim, California, EEUUA, Octubre 3-7, Water Environment Federation. pp 95-106.

Photafloc (1994), Información del fabricante. Los Angeles California, EEUUA.

Rey H, (1986), "*Polymers as chemical reagents*", Encyclopedia of polymer science and engineering. Vol. 12, 2nd ed. Ed. Wiley, Nueva York, EEUUA. pp 618 - 658.

Rybicki S., Kurbiel J., (1991), "*Development of design criteria for the chemical precipitation process applied in cracow wastewater reclamation system*". Wat. Sci. Tech., V.24, No.7 Great Britain

Samokhin U. V., (1986), "*Design handbook of wastewater system, methods of wastewater treatment*", Vol.1. Allerton press, inc., Nueva York, EEUUA, pp. 265-268.

Shao Y.J., Liu A., Jenkins D., Wada F. y Crosse J. (1993), "*Advanced primary treatment: an alternative to biological secondary treatment: The City of Los Angeles (CA), Hyperion*". 66th Annual Conference & Exposition, Anaheim, California, EEUUA, Octubre 3-7, Water Environment Federation. pp 95-106.

Stran B. C., (1989), "*Practical handbook of environmental control*" C.R.S., Press Inc. Boon Raton. Florida, EEUUA. pp 192-194.

"*Treatment Plant experience*". 66th Annual Conference & Exposition, Anaheim, California, EEUUA, Octubre 3-7, Water Environment Federation. pp 181-191.

Tambo N. (1990), "*Basic Concepts and innovative turn of coagulation/flocculation*". Water Supply, Vol. 8, Jonkoping, pp 1-10.

Tchobanoglous, George., (1987), "*Water Quality*", Characteristics-modeling-modification. Water quality management, Addison-Wesley Publishing Company, Canada. pp. 580.

Ullmann's, (1985). "*Ullmann's Encyclopedia of Chemical*", Abrasives to alumn óxido. V.C.H., 5a. ed., Vol. I, Germany. pp. 113-125, 141-148, 553-568, 1041-1052.

Voitskii S. (1978) "*Colloid chemistry*", Pub. Mir, Moscow. pp 243 - 282.

Yin-Lee S. y Gregory J. (1990) "*The effect of charge density and molecular mass of cationic polymers on flocculation kinetics in aqueous solution*". Water Supply, Vol. 8, Jonkoping, pp 11-17.

APÉNDICE

**SELECCIÓN PRELIMINAR DE COAGULANTES,
EVALUACIÓN DEL CLORURO FÉRRICO COMO COAGULANTE
CONDICIONES INICIALES DE CAMPO DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS
FISICO-QUIMICOS DEL AGUA DEL GRAN CANAL**

MES	DIA	pH	TEMP. °C	TURBIEDAD NTU	O.D. (mg/L)	CONDUCTIVIDAD nanomho/cm	SS ml/L	SDT g/L
SEPTIEMBRE	14	7.1	23	68	2	1290	0.3	
	16	6.9	23	88	1.4	1633	0.1	
	21	6.6	21	71	1.1	1295	0	
	23	7.2	17	74	0.8	1980	0.2	
	26	7.3	17	74	0.6	1178	0.2	
	28	7.01	18	62	0.8	7.24	0.2	
OCTUBRE	6	7.1	18	78	0.8	1175	2	
	10	7.16	16.5	83	0.4	22	1.5	
	17	7.1	19	80	0.45	3.12	1	
	21	7	20	83	0.5	3.23	>1	1.53
	26	7	20.2	77	0.5	1.57	>1	0.78
NOVIEMBRE	3	7.1	20.6	92	0.5	1.76	1	0.889

**CONDICIONES INICIALES DE CAMPO DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS
FISICO-QUIMICOS DEL AGUA EN PLANTA ECATEPEC**

MES	DIA	pH	TEMP. °C	TURBIEDAD NTU	O.D. (mg/L)	CONDUCTIVIDAD nanombo/cm	SS ml/L	SDT g/L
SEPTIEMBRE	14	7	22	36	1.3	3		
	21	8.2	19	40	0.8	3.14	0	
	23	7.8	17	47	0.7	3.12	<1	
	26	8.45	17	50	0.5	2.4	0	
	28	7.9	16	44	0.8	2.51	<1	
OCTUBRE	6	7.2	18	45	0.9	4.88	0	
	10	7.64	17	49	0.7	5.2	0	
	17	7.8	19	50	0.8	4.15	0	
	21	8.5	20.5	65	0.5	5.41	0	1.6
	26	8.2	19.4	52	0.4	3.55	<1	1.77
NOVIEMBRE	3	8.37	19.7	49	0.7	3.45	0	173

SELECCIÓN PRELIMINAR DE COAGULANTES Y FLOCULANTES EVALUACIÓN DE CLORURO FERRICO COMO COAGULANTE

PRUEBAS DE JARRAS [PLANTA DE ECATEPEC]

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS mg/L	FLOCULANTE	DOSIS mg/L	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
								INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
1	16/09/94		AC.					180		8.5		-67	
2	16/09/94		1-1	CLORURO FERRICO				180	180	8.5	8.5	-67	-67
3	16/09/94		1-2	CLORURO FERRICO	10			180	170	8.5	8.4	-67	-64
4	16/09/94		1-3	CLORURO FERRICO	20			180	160	8.5	8.3	-67	-60
5	16/09/94		1-4	CLORURO FERRICO	30			180	160	8.5	8.3	-67	-58
6	16/09/94		1-5	CLORURO FERRICO	40			180	150	8.5	8.2	-67	-55
7	16/09/94		1-6	CLORURO FERRICO	50			180	145	8.5	8.1	-67	-49
8	16/09/94		2-1		0			150	125	6.11	6.2	-67	51
9	16/09/94		2-2	CLORURO FERRICO	70			150	90	6.12	6.3	-67	50
10	16/09/94		2-3	CLORURO FERRICO	80			150	80	6.5	6.7	-67	30
11	16/09/94		2-4	CLORURO FERRICO	90			150	80	7	7	-67	14
12	16/09/94		2-5	CLORURO FERRICO	10			150	75	8.2	7.9	-67	-39
13	16/09/94		2-6	CLORURO FERRICO	0			150	110	8.2	8.2	-67	-59
14	21/09/94		AC.		0			205				-75	
15	21/09/94		1-1	CLORURO FERRICO	0			205	205	8.4	8.4	-75	-71
16	21/09/94		1-2	CLORURO FERRICO	20			205	180	8.4	8.3	-75	-66
17	21/09/94		1-3	CLORURO FERRICO	30			205	180	8.4	8.3	-75	-64
18	21/09/94		1-4	CLORURO FERRICO	40			205	180	8.4	8.2	-75	-58
19	21/09/94		1-5	CLORURO FERRICO	50			205	160	8.4	8.1	-75	-56
20	21/09/94		1-6	CLORURO FERRICO	60			205	120	8.4	8.1	-75	-52
21	21/09/94		2-1		0			200	190	6	6	-71	74
22	21/09/94		2-2	CLORURO FERRICO	60			200	125	6	6.1	-71	72
23	21/09/94		2-3	CLORURO FERRICO	60			200	120	6.3	6	-71	59
24	21/09/94		2-4	CLORURO FERRICO	60			200	140	6.8	6.8	-71	31
25	21/09/94		2-5	CLORURO FERRICO	60			200	76	8.3	7.9	-71	-46
26	21/09/94		2-6	CLORURO FERRICO	60			200	170	8.3	8.2	-71	-67
27	21/09/94		3-1		0			125	110	8.1	8.1	-71	-66
28	21/09/94		3-2	CLORURO FERRICO	50			125	50	8.1	7.9	-71	-51
29	21/09/94		3-3	CLORURO FERRICO	60			125	50	8.1	7.8	-71	-48
30	21/09/94		3-4	CLORURO FERRICO	70			125	44	8.1	7.8	-71	-44
31	21/09/94		3-5	CLORURO FERRICO	80			125	44	8.1	7.7	-71	-41
32	21/09/94		3-6	CLORURO FERRICO	90			125	32	8.1	7.7	-71	-36
33	23/09/94		AC.		0			250				-52	
34	23/09/94		1-1	CLORURO FERRICO	0			250	200	8.4	8.2	-52	-45
35	23/09/94		1-2	CLORURO FERRICO	30			250	180	8.4	8.4	-52	-43
36	23/09/94		1-3	CLORURO FERRICO	40			250	180	8.4	8.4	-52	-40
37	23/09/94		1-4	CLORURO FERRICO	50			250	170	8.4	8.2	-52	-35
38	23/09/94		1-5	CLORURO FERRICO	60			250	160	8.4	8.2	-52	-35
39	23/09/94		1-6	CLORURO FERRICO	70			250	120	8.4	8.1	-52	-30
40	23/09/94		2-1	CLORURO FERRICO	20	ICA	0.3	250	230	8.4	8.2	-53	-39
41	23/09/94		2-2	CLORURO FERRICO	30	ICA	0.3	250	220	8.4	8.2	-53	-38
42	23/09/94		2-3	CLORURO FERRICO	40	ICA	0.3	250	220	8.4	8.2	-53	-36
43	23/09/94		2-4	CLORURO FERRICO	20	ZWITTERIONICO	0.3	250	230	8.4	8.3	-53	-42
44	23/09/94		2-5	CLORURO FERRICO	30	ZWITTERIONICO	0.3	250	210	8.4	8.2	-53	-38
45	23/09/94		2-6	CLORURO FERRICO	40	ZWITTERIONICO	0.3	250	200	8.4	8.1	-53	-33

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS mg/L	FLOCULANTE	DOSIS mg/L	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
								INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
46	26/09/94		AC.					275		8		-49	
47	26/09/94		1-1	CLORURO FERRICO	45			275	205			-49	-31
48	26/09/94		1-2	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.2	275	195			-49	-31
49	26/09/94		1-3	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.3	275	210			-49	-30
50	26/09/94		1-4	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.4	275	205			-49	-30
51	26/09/94		1-5	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.5	275	240			-49	-28
52	26/09/94		1-6	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.6	275	225			-49	-28
53	26/09/94		2-1	CLORURO FERRICO	45			275	170			-49	-28
54	26/09/94		2-2	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.2	275	180			-49	-27
55	26/09/94		2-3	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.3	275	170			-49	-26
56	26/09/94		2-4	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.4	275	190			-49	-31
57	26/09/94		2-5	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.5	275	170			-49	-28
58	26/09/94		2-6	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.6	275	180			-49	-79
59	28/09/94		AC.					320		8.3		-44	
60	28/09/94		1-1	CLORURO FERRICO	45			320	240	8.3	8.05	-44	-27
61	28/09/94		1-2	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.3	320	270	8.3	8	-44	-26
62	28/09/94		1-3	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.4	320	240	8.3	8.03	-44	-27
63	28/09/94		1-4	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.5	320	290	8.3	8.07	-44	-30
64	28/09/94		1-5	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.6	320	280	8.3	8.03	-44	-27
65	28/09/94		1-6	CLORURO FERRICO	45	ICA	0.7	320	260	8.3	8.06	-44	-28
66	28/09/94		2-1	CLORURO FERRICO	45			245	210	8.3	7.97	-44	-25
67	28/09/94		2-2	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.3	245	210	8.3	7.99	-44	-25
68	28/09/94		2-3	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.4	245	220	8.3	8.3	-44	-28
69	28/09/94		2-4	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.5	245	205	8.3	7.99	-44	-28
70	28/09/94		2-5	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.6	245	215	8.3	7.97	-44	-26
71	28/09/94		2-6	CLORURO FERRICO	45	ZWITTERIONICO	0.7	245	215	8.3	8.5	-44	-29
72	6/10/94		AC.					210		7.9		-68	
73	6/10/94		1-1	CLORURO FERRICO				210	210	7.9	7.9	-68	-36
74	6/10/94		1-2	CLORURO FERRICO	20			210	200	7.9	7.8	-68	-31
75	6/10/94		1-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	210	210	7.9	7.8	-68	-34
76	6/10/94		1-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	210	210	7.9	7.8	-68	-33
77	6/10/94		1-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	210	200	7.9	7.8	-68	-34
78	6/10/94		1-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	210	195	7.9	7.8	-68	-33
79	6/10/94		2-1		0			276	250	7	7.4	-49	-1
80	6/10/94		2-2	CLORURO FERRICO	20			276	230	7	7.4	-49	1
81	6/10/94		2-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	276	240	7	7.4	-49	5
82	6/10/94		2-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	276	240	7	7.4	-49	1
83	6/10/94		2-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	276	240	7	7.4	-49	0
84	6/10/94		2-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	276	260	7	7.4	-49	1
85	6/10/94		3-1		0			230	250	6	6.9	-39	17
86	6/10/94		3-2	CLORURO FERRICO	20			230	250	6	6.9	-39	19
87	6/10/94		3-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	230	250	6	6.9	-39	19
88	6/10/94		3-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	230	250	6	6.8	-39	20
89	6/10/94		3-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	230	250	6	6.9	-39	20
90	6/10/94		3-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	230	250	6	6.8	-39	19

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS mg/L	FLOCULANTE	DOSIS mg/L	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
								INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
91	10/10/94		AC.					180		7.9		-29	
92	10/10/94		1-1	CLORURO FERRICO	0	-		180	160	7.9	7.9	-29	-30
93	10/10/94		1-2	CLORURO FERRICO	20	-		180	160	7.9	7.8	-29	-22
94	10/10/94		1-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	180	160	7.9	7.8	-29	-22
95	10/10/94		1-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	180	155	7.9	7.8	-29	-22
96	10/10/94		1-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	180	170	7.9	7.8	-29	-20
97	10/10/94		1-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	180	160	7.9	7.8	-29	-22
98	10/10/94		2-1		0	-		180	180	7	7.11	-29	19
99	10/10/94		2-2	CLORURO FERRICO	20	-		180	170	7	7.07	-29	21
100	10/10/94		2-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	180	180	7	7.06	-29	21
101	10/10/94		2-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	180	180	7	7.02	-29	23
102	10/10/94		2-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	180	180	7	7.05	-29	22
103	10/10/94		2-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	180	170	7	7.06	-29	21
104	10/10/94		3-1		0	-		180	180	6.19	6.22	-28	68
105	10/10/94		3-2	CLORURO FERRICO	20	-		180	170	6.19	6.23	-28	68
106	10/10/94		3-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	180	180	6.19	6.23	-28	68
107	10/10/94		3-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	180	190	6.19	6.24	-28	68
108	10/10/94		3-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	180	190	6.19	6.17	-28	72
109	10/10/94		3-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMIC	0.4	180	180	6.19	6.26	-28	66
110	17/10/94		AC.		0			140		8.05		-37	
111	17/10/94		1-1	CLORIGEL	50			140	140	8.05	8.2	-37	-29
112	17/10/94		1-2	CLORIGEL	10			140	150	8.05	8.22	-37	-25
113	17/10/94		1-3	CLORIGEL	20			140	62	8.05	8.06	-37	-19
114	17/10/94		1-4	CLORIGEL	30			140	44	8.05	7.98	-37	-13
115	17/10/94		1-5	CLORIGEL	40			140	26	8.05	7.82	-37	-8
116	17/10/94		1-6	CLORIGEL	50			140	18	8.05	7.76	-37	-4
117	21/10/94		AC.		0			99.8		8.05		-59	
118	21/10/94		1-1		0			99.8	84.6	8.64	8.64		
119	21/10/94		1-2	POLIHIDRAL	10			99.8	27.7	8.64	8.49		
120	21/10/94		1-3	POLIHIDRAL	20			99.8	26.1	8.64	8.38		
121	21/10/94		1-4	POLIHIDRAL	30			99.8	30.8	8.64	8.24		
122	21/10/94		1-5	POLIHIDRAL	40			99.8	37.1	8.64	8.1		
123	21/10/94		1-6	POLIHIDRAL	50			99.8	28.1	8.64	7.96		
124	21/10/94		2-1		0			101	101	8.63	8.63	-58	-56
125	21/10/94		2-2	CLORURO FERRICO	10			101	86.4	8.63	8.61	-58	-57
126	21/10/94		2-3	CLORURO FERRICO	20			101	108	8.63	8.58	-58	-56
127	21/10/94		2-4	CLORURO FERRICO	30			101	106	8.63	8.53	-58	-54
128	21/10/94		2-5	CLORURO FERRICO	40			101	108	8.63	8.52	-58	-52
129	21/10/94		2-6	CLORURO FERRICO	50			101	116	8.63	8.47	-58	-48

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS mg/L	FLOCULANTE	DOSIS mg/L	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
								INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
130	26/10/94		AC.					230		8.7			
131	26/10/94		1-1					230	198	8.7	8.7		
132	26/10/94		1-2	HIDROXIDO DE CAL	250			230	199	8.7	8.6		
133	26/10/94		1-3	HIDROXIDO DE CAL	50			230	204	8.7	8.74		
134	26/10/94		1-4	HIDROXIDO DE CAL	750			230	202	8.7	8.83		
135	26/10/94		1-5	HIDROXIDO DE CAL	10			230	200	8.7	8.9		
136	26/10/94		1-6	HIDROXIDO DE CAL	1250			230	193	8.7	8.92		
137	26/10/94		2-1	HIDROXIDO DE CAL	150			230	179	8.7	8.98		
138	26/10/94		2-2	HIDROXIDO DE CAL	1750			230	118	8.7	9.06		
139	26/10/94		2-3	HIDROXIDO DE CAL	20			230	112	8.7	9.08		
140	26/10/94		2-4	HIDROXIDO DE CAL	2750			230	99.1	8.7	9.11		
141	26/10/94		2-5	HIDROXIDO DE CAL	30			230	92.2	8.7	9.16		
142	26/10/94		2-6	HIDROXIDO DE CAL	3250			230	77.4	8.7	9.18		
143	3/11/94		AC.		0			235		8.61			
144	3/11/94		1-1	BIOXIDO DE CLORO	0			235	298	8.61	8.6		-57
145	3/11/94		1-2	BIOXIDO DE CLORO	0			235	291	8.61	8.6		-57
146	3/11/94		1-3	BIOXIDO DE CLORO	0			235	279	8.61	8.6		-57
147	3/11/94		1-4	BIOXIDO DE CLORO	0			235	275	8.61	8.6		-58
148	3/11/94		1-5	BIOXIDO DE CLORO	0			235	272	8.61	8.64		-57
149	3/11/94		1-6	BIOXIDO DE CLORO	0			235	275	8.61	8.6		-57
150	20/12/94		Ac.		0				177		7.91		19.2
151	20/12/94		1-1		0				221		7.94		16
152	20/12/94		1-2	Al2(SO4)3-18H2O	60	NALCOMEX	0.4		124		7.94		30.9
153	20/12/94		1-3	Al2(SO4)3-18H2O	80	NALCOMEX	0.4		109		7.59		20.1
154	20/12/94		1-4	Al2(SO4)3-18H2O	10	NALCOMEX	0.4		93		7.59		20.6
155	20/12/94		1-5	Al2(SO4)3-18H2O	120	NALCOMEX	0.4		84		7.64		17.3
156	20/12/94		1-6	Al2(SO4)3-18H2O	130	NALCOMEX	0.4		90		8		12.4
157	6/01/95	12:15 PM	Ac.		0				241		7.88		16.1
158	6/01/95	12:15 PM	1-1		0				291		7.92		13.8
159	6/01/95	12:15 PM	1-2	Al2(SO4)3-18H2O	90	NALCOMEX	0.4		160		7.53		34.4
160	6/01/95	12:15 PM	1-3	Al2(SO4)3-18H2O	10	NALCOMEX	0.4		121		7.49		36.3
161	6/01/95	12:15 PM	1-4	Al2(SO4)3-18H2O	110	NALCOMEX	0.4		140		7.46		37.6
162	6/01/95	12:15 PM	1-5	Al2(SO4)3-18H2O	120	NALCOMEX	0.4		117		7.42		40.6
163	6/01/95	12:15 PM	1-6	Al2(SO4)3-18H2O	130	NALCOMEX	0.4		124		7.4		42.2
164	6/01/95	12:15 PM	2-1	CLORURO FERRICO	50	NALCOMEX	0.4		215		7.59		31.2
165	6/01/95	12:15 PM	2-2	HIDROXIDO DE CAL	20	NALCOMEX	0.4		141		8.57		-19.3
166	10/01/95		Ac.		0				308		8.44		25
167	10/01/95		1-1		0				306		8.42		24.8
168	10/01/95		1-2	Al2(SO4)3-18H2O	90	NALCOMEX	0.4		156		7.95		48.1
169	10/01/95		1-3	Al2(SO4)3-18H2O	10	NALCOMEX	0.4		146		7.9		50.6
170	10/01/95		1-4	Al2(SO4)3-18H2O	110	NALCOMEX	0.4		152		7.89		53.2
171	10/01/95		1-5	Al2(SO4)3-18H2O	120	NALCOMEX	0.4		108		7.85		54.4
172	10/01/95		1-6	Al2(SO4)3-18H2O	130	NALCOMEX	0.4		138		7.83		55.2
173	10/01/95		2-1	CLORURO FERRICO	50	NALCOMEX	0.4		200		8.11		41.1
174	10/01/95		2-2	HIDROXIDO DE CAL	250	NALCOMEX	0.4		159		936		-21.5

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS mg/L	FLOCULANTE	DOSIS mg/L	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
								INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
175	17/01/95	2:00 PM	Ac.						212		7		
176	17/01/95	2:00 PM	1-1						247		7		
177	17/01/95	2:00 PM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	50	NALCOMEX	0.4		166		7		
178	17/01/95	2:00 PM	1-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	70	NALCOMEX	0.4		145		7		
179	17/01/95	2:00 PM	1-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	90	NALCOMEX	0.4		138		7		
180	17/01/95	2:00 PM	1-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	10	NALCOMEX	0.4		102		7		
181	17/01/95	2:00 PM	1-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	110	NALCOMEX	0.4		123		7		
182	17/01/95	2:00 PM	2-1	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	130	NALCOMEX	0.4		105		7		
183	17/01/95	2:00 PM	2-3	CLORURO FERRICO	50	NALCOMEX	0.4		152		7		
184	17/01/95	2:00 PM	2-2	HIDROXIDO DE CAL	250	NALCOMEX	0.4		13.1		9		
185	18/01/95	12:00 PM	Ac.		0				191		7.29		-50.4
186	18/01/95	12:00 PM	1-1		0				191		7.34		-53.2
187	18/01/95	12:00 PM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	50	NALCOMEX	0.4		116		7.1		-38.6
188	18/01/95	12:00 PM	1-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	70	NALCOMEX	0.4		106		7.01		-33.5
189	18/01/95	12:00 PM	1-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	90	NALCOMEX	0.4		109		6.97		-30.5
190	18/01/95	12:00 PM	1-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	10	NALCOMEX	0.4		93.8		6.91		-26.7
191	18/01/95	12:00 PM	1-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	110	NALCOMEX	0.4		76.5		6.87		-24.5
192	18/01/95	12:00 PM	2-1	Al ₂ (SO ₄) ₃ -18H ₂ O	130	NALCOMEX	0.4		87.4		6.8		-20.4
193	18/01/95	12:00 PM	2-3	CLORURO FERRICO	50	NALCOMEX	0.4		91.5		7.14		-39
194	18/01/95	12:00 PM	2-2	HIDROXIDO DE CAL	250	NALCOMEX	0.4		13.3		8.45		-118

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	ONDUCTIVIDAD [nanomho/c]		SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
				INICIAL	FINAL			
1	16/09/94	-	AC.	2.51				
2	16/09/94	-	1-1	2.51	2.78			
3	16/09/94	-	1-2	2.51	2.69			
4	16/09/94	-	1-3	2.51	2.77			
5	16/09/94	-	1-4	2.51	2.79			
6	16/09/94	-	1-5	2.51	2.73			
7	16/09/94	-	1-6	2.51	2.62			
8	16/09/94	-	2-1	3.36	3.97			
9	16/09/94	-	2-2	3.36	3.73			
10	16/09/94	-	2-3	3.36	3.81			
11	16/09/94	-	2-4	3.36	3.79			
12	16/09/94	-	2-5	3.36	3.76			
13	16/09/94	-	2-6	3.36	3.89			
14	21/09/94	-	AC.					
15	21/09/94	-	1-1					
16	21/09/94	-	1-2					
17	21/09/94	-	1-3					
18	21/09/94	-	1-4					
19	21/09/94	-	1-5					
20	21/09/94	-	1-6					
21	21/09/94	-	2-1					
22	21/09/94	-	2-2					
23	21/09/94	-	2-3					
24	21/09/94	-	2-4					
25	21/09/94	-	2-5					
26	21/09/94	-	2-6					
27	21/09/94	-	3-1					
28	21/09/94	-	3-2					
29	21/09/94	-	3-3					
30	21/09/94	-	3-4					
31	21/09/94	-	3-5					
32	21/09/94	-	3-6					
33	23/09/94	-	AC.			94	42	52
34	23/09/94	-	1-1			45	31	14
35	23/09/94	-	1-2			26	22	4
36	23/09/94	-	1-3			36	24	12
37	23/09/94	-	1-4			31	25	6
38	23/09/94	-	1-5			33	29	4
39	23/09/94	-	1-6			27	22	5
40	23/09/94	-	2-1			62	38	24
41	23/09/94	-	2-2			-	-	-
42	23/09/94	-	2-3			51	39	12
43	23/09/94	-	2-4			39	28	11
44	23/09/94	-	2-5			33	29	4
45	23/09/94	-	2-6			30	21	9

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
46	26/09/94	-	AC.	76	28	48
47	26/09/94	-	1-1	56	32	24
48	26/09/94	-	1-2			
49	26/09/94	-	1-3			
50	26/09/94	-	1-4			
51	26/09/94	-	1-5			
52	26/09/94	-	1-6			
53	26/09/94	-	2-1			
54	26/09/94	-	2-2			
55	26/09/94	-	2-3	52	36	16
56	26/09/94	-	2-4			
57	26/09/94	-	2-5			
58	26/09/94	-	2-6			
59	28/09/94	-	AC.	68	28	40
60	28/09/94	-	1-1	68	16	52
61	28/09/94	-	1-2	56	8	48
62	28/09/94	-	1-3	48	8	40
63	28/09/94	-	1-4	64	16	48
64	28/09/94	-	1-5	76	44	32
65	28/09/94	-	1-6	44	8	36
66	28/09/94	-	2-1	52	32	20
67	28/09/94	-	2-2	60	44	24
68	28/09/94	-	2-3	56	48	8
69	28/09/94	-	2-4	72	36	36
70	28/09/94	-	2-5	60	44	16
71	28/09/94	-	2-6	80	56	24
72	6/10/94	-	AC.	144	80	64
73	6/10/94	-	1-1	76	68	8
74	6/10/94	-	1-2	48	44	4
75	6/10/94	-	1-3	48	36	12
76	6/10/94	-	1-4	120	112	8
77	6/10/94	-	1-5	12	8	4
78	6/10/94	-	1-6	-	-	-
79	6/10/94	-	2-1	76	56	20
80	6/10/94	-	2-2	52	44	8
81	6/10/94	-	2-3	72	56	16
82	6/10/94	-	2-4	64	60	4
83	6/10/94	-	2-5	48	56	8
84	6/10/94	-	2-6	56	48	8
85	6/10/94	-	3-1	64	60	4
86	6/10/94	-	3-2	68	44	24
87	6/10/94	-	3-3	52	36	16
88	6/10/94	-	3-4	60	52	8
89	6/10/94	-	3-5	60	52	8
90	6/10/94	-	3-6	80	48	32

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	COT-TOT mg/L	CI-TOT mg/L
91	10/10/94	-	AC.					
92	10/10/94	-	1-1					
93	10/10/94	-	1-2					
94	10/10/94	-	1-3					
95	10/10/94	-	1-4					
96	10/10/94	-	1-5					
97	10/10/94	-	1-6					
98	10/10/94	-	2-1					
99	10/10/94	-	2-2					
100	10/10/94	-	2-3					
101	10/10/94	-	2-4					
102	10/10/94	-	2-5					
103	10/10/94	-	2-6					
104	10/10/94	-	3-1					
105	10/10/94	-	3-2					
106	10/10/94	-	3-3					
107	10/10/94	-	3-4					
108	10/10/94	-	3-5					
109	10/10/94	-	3-6					
110	17/10/94	-	AC.					
111	17/10/94	-	1-1					
112	17/10/94	-	1-2					
113	17/10/94	-	1-3					
114	17/10/94	-	1-4					
115	17/10/94	-	1-5					
116	17/10/94	-	1-6					
117	21/10/94	-	AC.	120	42	78	-	-
118	21/10/94	-	1-1	60	32	28	175	150
119	21/10/94	-	1-2	18	12	6	85	190
120	21/10/94	-	1-3	22	10	12	57.5	202.5
121	21/10/94	-	1-4	30	18	12	92.5	167.5
122	21/10/94	-	1-5	24	10	14	127.5	172.5
123	21/10/94	-	1-6	24	8	16	110	150
124	21/10/94	-	2-1	66	22	44	52.5	207.5
125	21/10/94	-	2-2	48	22	26	135	155
126	21/10/94	-	2-3	48	28	20	72.5	202.5
127	21/10/94	-	2-4	26	12	14	82.5	167.5
128	21/10/94	-	2-5	30	14	16	-	190
129	21/10/94	-	2-6	28	10	18	55	155

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]		SDT [g/L]		SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
				INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL				
130	26/10/94	-	Ac.					112	49	63	
131	26/10/94	-	1-1	3.53	3.49	1.72	1.75	57	31	26	
132	26/10/94	-	1-2	3.53	3.4	1.72	1.71	68	35	33	
133	26/10/94	-	1-3	3.53	3.4	1.72	1.7	60	32	28	
134	26/10/94	-	1-4	3.53	3.39	1.72	1.71	62	31	31	
135	26/10/94	-	1-5	3.53	3.47	1.72	1.74	66	33	33	
136	26/10/94	-	1-6	3.53	3.42	1.72	1.72	55	30	25	
137	26/10/94	-	2-1	3.53	3.38	1.72	1.66	67	34	33	
138	26/10/94	-	2-2	3.53	3.38	1.72	1.69	47	27	20	
139	26/10/94	-	2-3	3.53	3.12	1.72	1.63	41	21	20	
140	26/10/94	-	2-4	3.53	3.38	1.72	1.69	48	27	21	
141	26/10/94	-	2-5	3.53	3.33	1.72	1.66	39	20	19	
142	26/10/94	-	2-6	3.53	3.27	1.72	1.66	30	19	11	
143	3/11/94	-	Ac.								
144	3/11/94	-	1-1	3.26	3.37		1.63				
145	3/11/94	-	1-2	3.26	3.43		1.65				
146	3/11/94	-	1-3	3.26	3.53		1.68				
147	3/11/94	-	1-4	3.26	3.49		1.78				
148	3/11/94	-	1-5	3.26	3.62		1.81				
149	3/11/94	-	1-6	3.26	3.65		1.87				
150	20/12/94	-	Ac.		2.61		1.31				
151	20/12/94	-	1-1		2.06		1.04				
152	20/12/94	-	1-2		2.16		1.1				
153	20/12/94	-	1-3		2.29		1.14				
154	20/12/94	-	1-4		2.05		1.03				
155	20/12/94	-	1-5		1.46		0.98				
156	20/12/94	-	1-6		2.29		1.15				
157	6/01/95	12:15 PM	Ac.		2.8		1.42	136	66	70	436
158	6/01/95	12:15 PM	1-1		2.63		1.32	124	76	40	429
159	6/01/95	12:15 PM	1-2		2.63		1.36	50	8	42	314
160	6/01/95	12:15 PM	1-3		2.7		1.35	36	26	10	293
161	6/01/95	12:15 PM	1-4		2.77		1.39	36	28	8	312
162	6/01/95	12:15 PM	1-5		2.73		1.37	36	24	12	280
163	6/01/95	12:15 PM	1-6		2.7		1.35	32	28	4	289
164	6/01/95	12:15 PM	2-1		2.72		1.36	60	40	20	357
165	6/01/95	12:15 PM	2-2		2.62		1.31	56	4	12	338
166	10/01/95	-	Ac.		2.76		1.39	142	74	68	456
167	10/01/95	-	1-1		2.67		1.39	100	56	44	424
168	10/01/95	-	1-2		2.57		1.39	62	34	28	303
169	10/01/95	-	1-3		2.68		1.39	38	30	8	287
170	10/01/95	-	1-4		2.67		1.39	34	30	4	287
171	10/01/95	-	1-5		2.62		1.39	34	22	12	293
172	10/01/95	-	1-6		2.47		1.38	40	28	12	286
173	10/01/95	-	2-1		2.68		1.39	34	30	4	321
174	10/01/95	-	2-2		2.62		1.33	38	24	14	301

PRUEBA No.	FECHA	HORA	MUESTRA No.	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]		SDT [g/L]		SST [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
				INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
175	17/01/95	2:00 PM	Ac.		2.32			164	335
176	17/01/95	2:00 PM	1-1		2.5			130	384
177	17/01/95	2:00 PM	1-2		2.53			74	339
178	17/01/95	2:00 PM	1-3		2.53			64	313
179	17/01/95	2:00 PM	1-4		2.53			70	277
180	17/01/95	2:00 PM	1-5		2.53			52	306
181	17/01/95	2:00 PM	1-6		2.53			50	284
182	17/01/95	2:00 PM	2-1		2.53			52	233
183	17/01/95	2:00 PM	2-3		2.54			68	
184	17/01/95	2:00 PM	2-2		2.32			58	312
185	18/01/95	12:00 PM	Ac.		2.92	1.46		154	461
186	18/01/95	12:00 PM	1-1		2.65	1.35		128	395
187	18/01/95	12:00 PM	1-2		2.81	1.37		68	331
188	18/01/95	12:00 PM	1-3		2.62	1.35		60	326
189	18/01/95	12:00 PM	1-4		2.79	1.38		60	310
190	18/01/95	12:00 PM	1-5		2.68	1.36		50	316
191	18/01/95	12:00 PM	1-6		2.8	1.4		52	295
192	18/01/95	12:00 PM	2-1		2.78	1.39		60	297
193	18/01/95	12:00 PM	2-3		2.74	1.37		48	319
194	18/01/95	12:00 PM	2-2		2.6	1.3		34	245

SELECCIÓN PRELIMINAR DE COAGULANTES Y FLOCULANTES
EVALUACIÓN DE CLORURO FERRICO COMO COAGULANTE
PRUEBAS DE JARRAS [GRAN CANAL]

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]		CONDUCTIVIDAD [micromho/cm]	
							INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
1	14/09/94	AC.		0	-	-	67		7.2		6		1041	
2	14/09/94	1-1		0	-	-	67	41	6.2	6.1	6	46	1041	1616
3	14/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	50	-	-	67	27	6.2	6.1	6	55	1041	1622
4	14/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	50	-	-	67	25	6.2	6.6	6	26	1041	1592
5	14/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	50	-	-	67	22	7.2	6.9	6	10	1041	1583
6	14/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	50	-	-	67	17	8.1	7.3	6	-13	1041	1613
7	14/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	50	-	-	67	42	8	7.8	6	-43	1041	1617
8	14/09/94	2-1		0	-	-	56	46	8	8.1	5	-61	1270	1410
9	14/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	50	-	-	56	27	8	7.6	5	-31	1270	1480
10	14/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	60	-	-	56	30	8	7.4	5	-24	1270	1453
11	14/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	70	-	-	56	25	8	7.3	5	-12	1270	1474
12	14/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	80	-	-	56	19	8	7.1	5	-2	1270	1444
13	14/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	90	-	-	56	13	8	7.2	5	-3	1270	1473
14	16/09/94	AC.		0	-	-	71		7		-5		1424	
15	16/09/94	1-1	CLORURO FERRICO	0	-	-	71	48	7	6.9	-5	-3	1424	1249
16	16/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	10	-	-	71	38	7	7	-5	1	1424	1263
17	16/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	20	-	-	71	32	7	7	-5	3	1424	1245
18	16/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	30	-	-	71	32	7	6.9	-5	6	1424	1265
19	16/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	40	-	-	71	29	7	6.8	-5	10	1424	1262
20	16/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	50	-	-	71	12	7	6.7	-5	16	1424	1228
21	16/09/94	2-1		0	-	-	61	46	6	6.1	-1	54	1172	1306
22	16/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	50	-	-	61	24	6	6	-1	62	1172	1292
23	16/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	50	-	-	61	24	6.5	6.4	-1	35	1172	1254
24	16/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	50	-	-	61	20	7	7	-1	13	1172	1254
25	16/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	50	-	-	61	11	8	7.8	-1	-40	1172	1305
26	16/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	50	-	-	61	44	8	8	-1	-68	1172	1261
27	16/09/94	3-1		0	-	-	55	47	8	8	-4	-66	1113	1230
28	16/09/94	3-2	CLORURO FERRICO	50	-	-	55	24	8	7.4	-4	-23	1113	1272
29	16/09/94	3-3	CLORURO FERRICO	60	-	-	55	25	8	7.2	-4	-17	1113	1242
30	16/09/94	3-4	CLORURO FERRICO	70	-	-	55	23	8	7.1	-4	-12	1113	1279
31	16/09/94	3-5	CLORURO FERRICO	80	-	-	55	19	8	7.1	-4	-10	1113	1275
32	16/09/94	3-6	CLORURO FERRICO	90	-	-	55	8	8	6.9	-4	-5	1113	1286
33	21/09/94	AC.		0	-	-	80	80	7		-75			
34	21/09/94	1-1		0	-	-	80	65	7	7.1	-75	-71		
35	21/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	20	-	-	80	46	7	6.9	-75	-66		
36	21/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	30	-	-	80	43	7	6.9	-75	-64		
37	21/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	40	-	-	80	43	7	6.8	-75	-58		
38	21/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	50	-	-	80	38	7	6.7	-75	-56		
39	21/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	60	-	-	80	20	7	6.7	-75	-52		
40	21/09/94	2-1		0	-	-	78	61	6	6.2	-71	74		
41	21/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	60	-	-	78	23	6	6.1	-71	72		
42	21/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	60	-	-	78	19	6.5	6.4	-71	59		
43	21/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	60	-	-	78	17	4	6.7	-71	31		
44	21/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	60	-	-	78	12	8	7.3	-71	-46		
45	21/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	60	-	-	78	52	8	7.9	-71	-67		

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS (mg/L)	FLOCULANTE	DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
							INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
46	21/09/94	3-1		0			74	51	8	7.9	-3	-53
47	21/09/94	3-2	CLORURO FERRICO	50			74	16	8	7.4	-3	-20
48	21/09/94	3-3	CLORURO FERRICO	60			74	17	8	7.4	-3	-15
49	21/09/94	3-4	CLORURO FERRICO	70			74	15	8	7.3	-3	-9
50	21/09/94	3-5	CLORURO FERRICO	80			74	12	8	7.2	-3	-6
51	21/09/94	3-6	CLORURO FERRICO	90			74	11	8	7.2	-3	-6
52	23/09/94	AC.		0			130		7.6		-2	
53	23/09/94	1-1		0			130	110	7.6	7.2	-2	2
54	23/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	30			130	71	7.6	7.4	-2	7
55	23/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	40			130	65	7.6	7.4	-2	9
56	23/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	50			130	62	7.6	7.3	-2	11
57	23/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	60			130	52	7.6	7.2	-2	20
58	23/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	70			130	34	7.6	7.2	-2	17
59	23/09/94	2-1	CLORURO FERRICO	20	ICA	0.3	130	76	7.6	7.4	-2	6
60	23/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	30	ICA	0.3	130	71	7.6	7.4	-2	7
61	23/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	40	ICA	0.3	130	71	7.6	7.3	-2	9
62	23/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	20	ZWITTERIONICO	0.3	130	75	7.6	6.8	-2	5
63	23/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	30	ZWITTERIONICO	0.3	130	73	7.6	7.4	-2	11
64	23/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	40	ZWITTERIONICO	0.3	130	51	7.6	7.2	-2	15
65	26/09/94	AC.		0		0	88		8		-2	
66	26/09/94	1-1	CLORURO FERRICO	35	ICA	0	88	33	8	7.9	-2	-8
67	26/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.2	88	33	8	7.9	-2	-8
68	26/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.3	88	33	8	7.8	-2	-7
69	26/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.4	88	33	8	7.8	-2	-12
70	26/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.5	88	39	8	7.6	-2	-9
71	26/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.6	88	34	8	7.5	-2	-10
72	26/09/94	2-1	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0	88	34	8	7.9	-2	-11
73	26/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.2	88	34	8	8.1	-2	-12
74	26/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.3	88	33	8	7.9	-2	-10
75	26/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.4	88	33	8	7.8	-2	-9
76	26/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.5	88	35	8	7.7	-2	-8
77	26/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.6	88	30	8	7.7	-2	-6
78	28/09/94	AC.		0		0	88	68	8	8.2	-2	7
79	28/09/94	1-1	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.1	88	39	8	7.85	-2	-17
80	28/09/94	1-2	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.3	88	41	8	7.93	-2	-22
81	28/09/94	1-3	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.4	88	36	8	8.4	-2	-48
82	28/09/94	1-4	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.5	88	41	8	7.65	-2	-6
83	28/09/94	1-5	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.6	88	38	8	7.82	-2	-15
84	28/09/94	1-6	CLORURO FERRICO	35	ICA	0.7	88	33	8	8	-2	-25
85	28/09/94	2-1	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.1	88	34	8	7.97	-2	-23
86	28/09/94	2-2	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.3	88	32	8	8.2	-2	-15
87	28/09/94	2-3	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.4	88	29	8	7.98	-2	-24
88	28/09/94	2-4	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.5	88	31	8	8.33	-2	-44
89	28/09/94	2-5	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.6	88	33	8	7.9	-2	-20
90	28/09/94	2-6	CLORURO FERRICO	35	ZWITTERIONICO	0.7	88	29	8	8.1	-2	-31

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
46	21/09/94	3-1			
47	21/09/94	3-2			
48	21/09/94	3-3			
49	21/09/94	3-4			
50	21/09/94	3-5			
51	21/09/94	3-6			
52	23/09/94	AC.	107	75	32
53	23/09/94	1-1			
54	23/09/94	1-2			
55	23/09/94	1-3			
56	23/09/94	1-4			
57	23/09/94	1-5			
58	23/09/94	1-6	36	31	5
59	23/09/94	2-1			
60	23/09/94	2-2			
61	23/09/94	2-3			
62	23/09/94	2-4			
63	23/09/94	2-5			
64	23/09/94	2-6	47	36	11
65	26/09/94	AC.	100	68	32
66	26/09/94	1-1	64	16	48
67	26/09/94	1-2			
68	26/09/94	1-3			
69	26/09/94	1-4			
70	26/09/94	1-5			
71	26/09/94	1-6			
72	26/09/94	2-1			
73	26/09/94	2-2			
74	26/09/94	2-3	64	24	40
75	26/09/94	2-4			
76	26/09/94	2-5			
77	26/09/94	2-6			
78	28/09/94	AC.	128	68	60
79	28/09/94	1-1	48	8	40
80	28/09/94	1-2	44	4	40
81	28/09/94	1-3	56	8	48
82	28/09/94	1-4	56	4	52
83	28/09/94	1-5	76	16	60
84	28/09/94	1-6	44	12	32
85	28/09/94	2-1	40	8	32
86	28/09/94	2-2	28	8	20
87	28/09/94	2-3	80	24	56
88	28/09/94	2-4	56	44	12
89	28/09/94	2-5	48	32	16
90	28/09/94	2-6	36	28	8

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
							INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
91	6/10/94	AC.		0		0	100		7		4	
92	6/10/94	1-1	CLORURO FERRICO	0	-	0	100	43	7	7.2	4	5
93	6/10/94	1-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	100	41	7	7.2	4	10
94	6/10/94	1-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	100	41	7	7	4	9
95	6/10/94	1-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	100	42	7	7	4	9
96	6/10/94	1-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	100	41	7	7	4	9
97	6/10/94	1-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	100	35	7	7	4	9
98	6/10/94	2-1		0	-	0	100	43	8.1	8.2	4	-52
99	6/10/94	2-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	100	31	8.1	8	4	-37
100	6/10/94	2-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	100	35	8.1	8	4	-39
101	6/10/94	2-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	100	35	8.1	7.9	4	-34
102	6/10/94	2-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	100	42	8.1	8	4	-37
103	6/10/94	2-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	100	36	8.1	8	4	-37
104	6/10/94	3-1		0	-	0	83	54	6.1	6.5	4	41
105	6/10/94	3-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	83	40	6.1	6.4	4	42
106	6/10/94	3-3	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	83	40	6.1	6.4	4	42
107	6/10/94	3-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	83	40	6.1	6.4	4	42
108	6/10/94	3-5	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	83	42	6.1	6.4	4	42
109	6/10/94	3-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	83	41	6.1	6.4	4	41
110	10/10/94	AC.					140		7.5		-3	
111	10/10/94	1-1		0	-	0	140	86	7.5	7.52	-3	-3
112	10/10/94	1-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	140	65	7.5	7.39	-3	3
113	10/10/94	1-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	140	69	7.5	7.41	-3	2
114	10/10/94	1-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	140	74	7.5	7.34	-3	5
115	10/10/94	1-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	140	71	7.5	7.38	-3	4
116	10/10/94	1-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	140	74	7.5	7.36	-3	4
117	10/10/94	2-1		0	-	0	130	65	8.13	7.96	-3	-28
118	10/10/94	2-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	130	57	8.13	7.74	-3	-16
119	10/10/94	2-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	130	58	8.13	7.8	-3	-19
120	10/10/94	2-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	130	64	8.13	7.73	-3	-16
121	10/10/94	2-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	130	65	8.13	7.73	-3	-12
122	10/10/94	2-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	130	58	8.13	7.72	-3	-16
123	10/10/94	3-1		0	-	0	113	110	6.05	6.12	-2	74
124	10/10/94	3-2	CLORURO FERRICO	20	-	0	113	67	6.05	6.02	-2	80
125	10/10/94	3-3	CLORURO FERRICO	20	PROSIFLOC	0.4	113	80	6.05	6.12	-2	74
126	10/10/94	3-4	CLORURO FERRICO	20	NALCOMEX	0.4	113	75	6.05	6.07	-2	77
127	10/10/94	3-5	CLORURO FERRICO	20	SUPERFLOC	0.4	113	70	6.05	6.05	-2	78
128	10/10/94	3-6	CLORURO FERRICO	20	COMPLEX QUIMI	0.4	113	71	6.05	6.09	-2	76
129	17/10/94	AC.					105		7.23		11	
130	17/10/94	1-1	CLORIGEL	5			105	35	7.23	7.43	11	22
131	17/10/94	1-2	CLORIGEL	10			105	14	7.23	7.42	11	19
132	17/10/94	1-3	CLORIGEL	20			105	3.5	7.23	7.38	11	23
133	17/10/94	1-4	CLORIGEL	30			105	3	7.23	7.31	11	25
134	17/10/94	1-5	CLORIGEL	40			105	3	7.23	7.28	11	25
135	17/10/94	1-6	CLORIGEL	50			105	2	7.23	7.23	11	27
136	17/10/94	2-1	POLIHIDRAL	10			179	41.1	7.48	7.51	11	17
137	17/10/94	2-2	POLIHIDRAL	20			179	20	7.48	7.47	11	17
138	17/10/94	2-3	POLIHIDRAL	30			179	6.87	7.48	7.41	11	19
139	17/10/94	2-4	POLIHIDRAL	40			179	3.27	7.48	7.32	11	22
140	17/10/94	2-5	POLIHIDRAL	50			179	2.12	7.48	7.35	11	24
141	17/10/94	2-6	POLIHIDRAL	60			179	2.17	7.48	7.35	11	28

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
91	6/10/94	AC.	68	40	28
92	6/10/94	1-1	68	64	4
93	6/10/94	1-2	68	60	8
94	6/10/94	1-3	68	56	12
95	6/10/94	1-4	84	76	8
96	6/10/94	1-5	84	80	4
97	6/10/94	1-6	-	-	-
98	6/10/94	2-1	-	-	-
99	6/10/94	2-2	-	-	-
100	6/10/94	2-3	60	48	12
101	6/10/94	2-4	60	52	8
102	6/10/94	2-5	60	48	12
103	6/10/94	2-6	64	60	4
104	6/10/94	3-1	60	52	8
105	6/10/94	3-2	44	36	8
106	6/10/94	3-3	64	32	32
107	6/10/94	3-4	68	60	8
108	6/10/94	3-5	24	72	48
109	6/10/94	3-6	68	64	4
110	10/10/94	AC.			
111	10/10/94	1-1			
112	10/10/94	1-2			
113	10/10/94	1-3			
114	10/10/94	1-4			
115	10/10/94	1-5			
116	10/10/94	1-6			
117	10/10/94	2-1			
118	10/10/94	2-2			
119	10/10/94	2-3			
120	10/10/94	2-4			
121	10/10/94	2-5			
122	10/10/94	2-6			
123	10/10/94	3-1			
124	10/10/94	3-2			
125	10/10/94	3-3			
126	10/10/94	3-4			
127	10/10/94	3-5			
128	10/10/94	3-6			
129	17/10/94	AC.			
130	17/10/94	1-1			
131	17/10/94	1-2			
132	17/10/94	1-3			
133	17/10/94	1-4			
134	17/10/94	1-5			
135	17/10/94	1-6			
136	17/10/94	2-1			
137	17/10/94	2-2			
138	17/10/94	2-3			
139	17/10/94	2-4			
140	17/10/94	2-5			
141	17/10/94	2-6			

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]		pH		POTENCIAL [mV]	
							INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
142	21/10/94	AC.					146		8.12		3	
143	21/10/94	1-1		0			146	152	8.12	7.53		
144	21/10/94	1-2	POLIHIDRAL	10			146	60.8	8.12	7.38		
145	21/10/94	1-3	POLIHIDRAL	20			146	40.5	8.12	7.33		
146	21/10/94	1-4	POLIHIDRAL	30			146	24.2	8.12	7.22		
147	21/10/94	1-5	POLIHIDRAL	40			146	14.3	8.12	7.15		
148	21/10/94	1-6	POLIHIDRAL	50			146	8.87	8.12	7.1		
149	21/10/94	2-1	CLORURO FERRICO	0			146	143	7.49	7.64	3	1
150	21/10/94	2-2	CLORURO FERRICO	10			146	118	7.49	7.58	3	3
151	21/10/94	2-3	CLORURO FERRICO	20			146	104	7.49	7.52	3	8
152	21/10/94	2-4	CLORURO FERRICO	30			146	98.2	7.49	7.49	3	8
153	21/10/94	2-5	CLORURO FERRICO	40			146	87.3	7.49	7.42	3	11
154	21/10/94	2-6	CLORURO FERRICO	50			146	87.9	7.49	7.39	3	10
155	26/10/94	AC.					225		7.5		1.8	
156	26/10/94	1-1		0			225	166	7.5	7.56	1.8	2.5
157	26/10/94	1-2	HIDROXIDO DE CAL	25			225	167	7.5	7.83	1.8	-11.5
158	26/10/94	1-3	HIDROXIDO DE CAL	50			225	174	7.5	8.24	1.8	-33.8
159	26/10/94	1-4	HIDROXIDO DE CAL	75			225	168	7.5	8.46	1.8	-46.2
160	26/10/94	1-5	HIDROXIDO DE CAL	100			225	159	7.5	8.75	1.8	-61.1
161	26/10/94	1-6	HIDROXIDO DE CAL	125			225	135	7.5	8.89	1.8	-69
162	26/10/94	2-1	HIDROXIDO DE CAL	150			225	119	7.5	8.98	1.8	-73.4
163	26/10/94	2-2	HIDROXIDO DE CAL	175			225	46	7.5	9.21	1.8	-86
164	26/10/94	2-3	HIDROXIDO DE CAL	200			225	28.1	7.5	9.44	1.8	-97.7
165	26/10/94	2-4	HIDROXIDO DE CAL	275			225	21.2	7.5	9.53	1.8	-102.8
166	26/10/94	2-5	HIDROXIDO DE CAL	300			225	22.8	7.5	9.54	1.8	-103.3
167	26/10/94	2-6	HIDROXIDO DE CAL	325			225	23	7.5	9.51	1.8	-104.3
168	3/11/94	AC.					233		7.48		13	
169	3/11/94	1-1	BIOXIDO DE CLORO				233	188	7.48	7.41	13	10
170	3/11/94	1-2	BIOXIDO DE CLORO				233	183	7.48	7.53	13	3
171	3/11/94	1-3	BIOXIDO DE CLORO				233	187	7.48	7.52	13	2
172	3/11/94	1-4	BIOXIDO DE CLORO				233	190	7.48	7.54	13	3
173	3/11/94	1-5	BIOXIDO DE CLORO				233	187	7.48	7.56	13	0
174	3/11/94	1-6	BIOXIDO DE CLORO				233	197	7.48	7.63	13	-3

PRUEBA No.	FECHA	MUESTRA No.	CONDUCTIVIDAD [micromho/cm]		SDT [g/L]		SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	COT-TOT [mg/L]	CI-TOT [mg/L]
			INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL					
142	21/10/94	AC.					98	64	34	-	-
143	21/10/94	1-1					54	30	24	122	88
144	21/10/94	1-2					32	14	18	40	90
145	21/10/94	1-3					16	8	8	58	102
146	21/10/94	1-4					16	4	12	28	102
147	21/10/94	1-5					14	8	6	15	105
148	21/10/94	1-6					4	2	2	95	15
149	21/10/94	2-1					70	50	20	55	90
150	21/10/94	2-2					40	30	10	103	77
151	21/10/94	2-3					38	30	8	79	81
152	21/10/94	2-4					38	30	8	91	79
153	21/10/94	2-5					30	22	8	70	100
154	21/10/94	2-6					32	20	12	137	88
155	26/10/94	AC.	1.6		0.77		144	91	53		
156	26/10/94	1-1	1.6	1.61	0.77	0.75	61	18	43	185	65
157	26/10/94	1-2	1.6	1.63	0.77	0.8	74	50	24	193	52
158	26/10/94	1-3	1.6	1.62	0.77	0.79	61	42	19	140	75
159	26/10/94	1-4	1.6	1.59	0.77	0.77	50	49	1	175	75
160	26/10/94	1-5	1.6	1.62	0.77	0.74	108	57	51	175	75
161	26/10/94	1-6	1.6	1.61	0.77	0.75	72	53	19	218	52
162	26/10/94	2-1	1.6	1.57	0.77	0.79	80	53	27	130	65
163	26/10/94	2-2	1.6	1.53	0.77	0.79	38	24	14	125	70
164	26/10/94	2-3	1.6	1.51	0.77	0.76	27	15	12	158	52
165	26/10/94	2-4	1.6	1.54	0.77	0.77	22	15	7	140	45
166	26/10/94	2-5	1.6	1.42	0.77	0.73	10	5	5	165	65
167	26/10/94	2-6	1.6	1.43	0.77	0.69	15	9	6	150	
168	3/11/94	AC.	1.8		0.92						
169	3/11/94	1-1	1.8	1.75	0.92	0.92					
170	3/11/94	1-2	1.8	1.79	0.92	0.86					
171	3/11/94	1-3	1.8	1.9	0.92	0.99					
172	3/11/94	1-4	1.8	1.93	0.92	1.04					
173	3/11/94	1-5	1.8	2.04	0.92	1.18					
174	3/11/94	1-6	1.8	2.29	0.92	1.16					

**EVALUACION DEL SULFATO DE ALUMINIO SOLUCIÓN COMO COAGULANTE
PLANTA DE ECATEPEC**

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]
1	26/01/95	8:00 AM	Ac.		0		0	306			
2	26/01/95	8:00 AM	5-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4		7.49	-22.3	
3	26/01/95	8:00 AM	5-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2		7.5	-20.1	
4	27/01/95	9:30 AM	Ac.		0		0	330	7.48	-103.4	2.59
5	27/01/95	9:30 AM	1-1		0		0	239	7.65	-112.2	2.4
6	27/01/95	9:30 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.4	95.7	7.07	-83.1	2.31
7	27/01/95	9:30 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	92.8	7.05	-80.4	2.37
8	27/01/95	9:30 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	82.4	6.88	-70.8	2.41
9	27/01/95	9:30 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	140	NALCOMEX	0.4	74.2	6.87	-70.5	2.38
10	27/01/95	9:30 AM	1-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	160	NALCOMEX	0.4	70.2	6.73	-63.7	2.38
11	27/01/95	9:30 AM	2-1		0		0	232	7.57	-106.4	2.41
12	27/01/95	9:30 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	62.4	6.88	71.3	2.39
13	27/01/95	9:30 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	170	NALCOMEX	0.4	67.4	6.78	-64.5	2.39
14	27/01/95	9:30 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	190	NALCOMEX	0.4	95.8	7	-78.1	2.41
15	27/01/95	9:30 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	200	NALCOMEX	0.4	63.6	6.69	-61.1	2.48
16	27/01/95	9:30 AM	3-1		0		0	287	7.67	-76.3	2.38
17	27/01/95	9:30 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	115	78	-37.4	2.42
18	27/01/95	9:30 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	114	6.96	-37.1	2.27
19	27/01/95	9:30 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	135	NALCOMEX	0.4	106	6.88	-34.2	2.44
20	27/01/95	9:30 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	145	NALCOMEX	0.4	96	6.77	-30.5	2.30
21	27/01/95	9:30 AM	3-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	91.3	6.81	-28	2.33
22	27/01/95	9:30 AM	4-1		0		0	298	7.51	-76	2.4
23	27/01/95	9:30 AM	4-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	140	6.89	-41.4	2.5
24	27/01/95	9:30 AM	4-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	120	6.78	-34	2.51
25	27/01/95	9:30 AM	4-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	99.8	6.72	-33.2	2.44
26	27/01/95	9:30 AM	4-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	82.3	6.72	-31	1.19
27	27/01/95	9:30 AM	4-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	79.3	6.6	-26.3	2.51
28	30/01/95	9:30 AM	Ac.		0		0	301	8.09	-106.6	2.41
29	30/01/95	9:30 AM	1-1		0		0	227	8.14	-109.6	2.48
30	30/01/95	9:30 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.4	95.5	7.55	-77.3	2.34
31	30/01/95	9:30 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	88.7	7.5	-75	2.4
32	30/01/95	9:30 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	86	7.47	-72.3	2.46
33	30/01/95	9:30 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	77.6	7.41	-69.9	2.39
34	30/01/95	9:30 AM	1-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	71.3	7.32	-70.5	2.42
35	30/01/95	9:30 AM	2-1		0		0	272	8.18	-110.7	2.2
36	30/01/95	9:30 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.4	106	7.57	-78.8	2.44
37	30/01/95	9:30 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	109	7.58	-75.6	2.32
38	30/01/95	9:30 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	94.2	7.67	-73.4	2.44
39	30/01/95	9:30 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	84.1	7.37	-67.7	2.32
40	30/01/95	9:30 AM	2-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	80.5	7.28	-63	2.37
41	30/01/95	9:30 AM	3-1		0		0	302	7.96	-100.5	2.4
42	30/01/95	9:30 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.4	137	7.33	-65.8	2.46
43	30/01/95	9:30 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	129	7.27	-62.2	2.52
44	30/01/95	9:30 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	115	7.25	-60.9	2.35
45	30/01/95	9:30 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	95.8	7.13	-55.5	2.33
46	30/01/95	9:30 AM	3-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	150	NALCOMEX	0.4	80.9	7.09	-51.8	2.32

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]
1	26/01/95	8:00 AM	Ac.		160	90	70
2	26/01/95	8:00 AM	5-3		60	44	16
3	26/01/95	8:00 AM	5-4		76	54	22
4	27/01/95	9:30 AM	Ac.	1.3	176	86	90
5	27/01/95	9:30 AM	1-1	1.2	128	80	48
6	27/01/95	9:30 AM	1-2	1.15	28	22	6
7	27/01/95	9:30 AM	1-3	1.19	14	8	6
8	27/01/95	9:30 AM	1-4	1.21	24	22	2
9	27/01/95	9:30 AM	1-5	1.19	24	8	4
10	27/01/95	9:30 AM	1-6	1.19	24	16	8
11	27/01/95	9:30 AM	2-1	1.21	114	70	4
12	27/01/95	9:30 AM	2-2	1.19	22	20	2
13	27/01/95	9:30 AM	2-3	1.2	16	2	4
14	27/01/95	9:30 AM	2-4	1.21	20	30	10
15	27/01/95	9:30 AM	2-5	1.2	26	22	4
16	27/01/95	9:30 AM	3-1	1.18	114	74	40
17	27/01/95	9:30 AM	3-2	1.22	42	36	6
18	27/01/95	9:30 AM	3-3	1.15	44	38	6
19	27/01/95	9:30 AM	3-4	1.21	40	30	10
20	27/01/95	9:30 AM	3-5	1.21	38	32	6
21	27/01/95	9:30 AM	3-6	1.14	36	28	8
22	27/01/95	9:30 AM	4-1	1.22			
23	27/01/95	9:30 AM	4-2	1.24			
24	27/01/95	9:30 AM	4-3	1.26			
25	27/01/95	9:30 AM	4-4	1.25			
26	27/01/95	9:30 AM	4-5	1.26			
27	27/01/95	9:30 AM	4-6	1.26			
28	30/01/95	9:30 AM	Ac.	1.22	222		
29	30/01/95	9:30 AM	1-1	1.24	104		
30	30/01/95	9:30 AM	1-2	1.2	28		
31	30/01/95	9:30 AM	1-3	1.17	34		
32	30/01/95	9:30 AM	1-4	1.21	34		
33	30/01/95	9:30 AM	1-5	1.22	36		
34	30/01/95	9:30 AM	1-6	1.2	26		
35	30/01/95	9:30 AM	2-1	1.1	138		
36	30/01/95	9:30 AM	2-2	1.26	30		
37	30/01/95	9:30 AM	2-3	1.2	26		
38	30/01/95	9:30 AM	2-4	1.21	20		
39	30/01/95	9:30 AM	2-5	1.17	16		
40	30/01/95	9:30 AM	2-6	1.17	20		
41	30/01/95	9:30 AM	3-1	1.23	124		
42	30/01/95	9:30 AM	3-2	1.23	44		
43	30/01/95	9:30 AM	3-3	1.17	46		
44	30/01/95	9:30 AM	3-4	1.17	42		
45	30/01/95	9:30 AM	3-5	1.18	36		
46	30/01/95	9:30 AM	3-6	1.03	32		

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]
47	31/01/95	10:00 AM	Ac.		0		0	381		6.48	30.4
48	31/01/95	10:00 AM	1-1		0		0	290	7.24	23.4	2.31
49	31/01/95	10:00 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.4	96.9	6.05	53.6	2.21
50	31/01/95	10:00 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	96.7	5.97	56.2	2.33
51	31/01/95	10:00 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	88.9	5.94	58.8	2.33
52	31/01/95	10:00 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	84.5	5.84	63.5	2.34
53	31/01/95	10:00 AM	2-1		0		0	279	6.54	28.5	2.33
54	31/01/95	10:00 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.2	103	6	54.5	2.34
55	31/01/95	10:00 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	93.1	6.08	51.3	2.34
56	31/01/95	10:00 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	87	6.04	53.5	2.35
57	31/01/95	10:00 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	76.3	5.92	60	2.35
58	31/01/95	10:00 AM	3-1		0		0	283	5.45	32.6	2.34
59	31/01/95	10:00 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90	NALCOMEX	0.1	94.7	5.82	66.3	2.35
60	31/01/95	10:00 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	70.8	5.74	69	2.35
61	31/01/95	10:00 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	58.5	5.71	71.2	2.34
62	31/01/95	10:00 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	77	5.74	68.7	2.35
63	31/01/95	10:00 AM	4-1	Al2(SO4)3 LIQUIDO	90		0	75.5	5.8	63.6	2.34
64	31/01/95	10:00 AM	4-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100		0	70.8	5.75	69.2	2.35
65	31/01/95	10:00 AM	4-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110		0	63.8	5.65	72.8	2.35
66	31/01/95	10:00 AM	4-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130		0	66.1	5.66	75.3	2.35
67	1/02/95	12:30 PM	Ac.		0		0	283	8.15	10.5	2.12
68	1/02/95	12:30 PM	1-1		0		0	244	6.75	9.6	2.18
69	1/02/95	12:30 PM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	101	6	50	1.88
70	1/02/95	12:30 PM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	87.6	5.93	54	2.09
71	1/02/95	12:30 PM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	85.1	5.92	54.6	2.08
72	1/02/95	12:30 PM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	71.6	5.84	59.9	2.08
73	1/02/95	12:30 PM	1-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80		0	98	6.03	48.5	2.1
74	1/02/95	12:30 PM	2-1		0	NALCOMEX	0.2	224	6.67	14.4	1.82
75	1/02/95	12:30 PM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.2	93.7	6.15	48.9	2.05
76	1/02/95	12:30 PM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	75.8	5.93	53.8	2.01
77	1/02/95	12:30 PM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	79.4	5.9	57.2	2.08
78	1/02/95	12:30 PM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	60.3	5.83	59.2	2.07
79	1/02/95	12:30 PM	2-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100		0	66.7	5.95	52.1	2.15
80	1/02/95	12:30 PM	3-1		0		0	216	6.73	10.4	2.05
81	1/02/95	12:30 PM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.1	53.6	6.04	48.2	2.12
82	1/02/95	12:30 PM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	49.2	5.92	55.3	2.12
83	1/02/95	12:30 PM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	49.3	5.9	55.9	2.12
84	1/02/95	12:30 PM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	51.4	5.72	67.4	2.09
85	1/02/95	12:30 PM	3-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110		0	59.3	5.74	64.6	2.07
86	1/02/95	12:30 PM	4-1	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130		0	59.2	5.7	66.3	2.09
87	2/02/95	9:00 AM	Ac.		0		0	332	8.12	-2.2	2.44
88	2/02/95	9:00 AM	1-1		0		0	294	8	4.7	2.44
89	2/02/95	9:00 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	123	7.74	21.1	2.45
90	2/02/95	9:00 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	98.6	7.72	21.2	2.47
91	2/02/95	9:00 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	97	7.55	31.5	2.46
92	2/02/95	9:00 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	83.3	7.49	34.1	2.46

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
47	31/01/95	10:00 AM	Ac.	2.33	1.16		244	128
48	31/01/95	10:00 AM	1-1	1.16	146	88	58	
49	31/01/95	10:00 AM	1-2	1.12	38	26	12	
50	31/01/95	10:00 AM	1-3	1.17	38	26	12	
51	31/01/95	10:00 AM	1-4	1.17	38	24	14	
52	31/01/95	10:00 AM	1-5	1.17	34	26	8	
53	31/01/95	10:00 AM	2-1	1.17	136	82	64	
54	31/01/95	10:00 AM	2-2	1.17	40	32	8	
55	31/01/95	10:00 AM	2-3	1.17	36	24	12	
56	31/01/95	10:00 AM	2-4	1.17	36	24	12	
57	31/01/95	10:00 AM	2-5	1.18	30	22	8	
58	31/01/95	10:00 AM	3-1	1.17	150	84	66	
59	31/01/95	10:00 AM	3-2	1.17	42	30	12	
60	31/01/95	10:00 AM	3-3	1.18	32	24	8	
61	31/01/95	10:00 AM	3-4	1.17	30	24	6	
62	31/01/95	10:00 AM	3-5	1.18	36	24	12	
63	31/01/95	10:00 AM	4-1	1.17	26	20	6	
64	31/01/95	10:00 AM	4-2	1.18	30	22	8	
65	31/01/95	10:00 AM	4-3	1.18	26	20	6	
66	31/01/95	10:00 AM	4-4	1.18	26	22	4	
67	1/02/95	12:30 PM	Ac.	1.06	182	92	90	397
68	1/02/95	12:30 PM	1-1	1.09	110	60	50	355
69	1/02/95	12:30 PM	1-2	1.04	48	36	12	235
70	1/02/95	12:30 PM	1-3	1.05	34	18	16	217
71	1/02/95	12:30 PM	1-4	1.04	36	18	18	207
72	1/02/95	12:30 PM	1-5	1.04	26	20	6	196
73	1/02/95	12:30 PM	1-6	1.06	36	24	10	226
74	1/02/95	12:30 PM	2-1	0.94	104	58	46	325
75	1/02/95	12:30 PM	2-2	1.03	38	26	12	205
76	1/02/95	12:30 PM	2-3	1.01	36	22	14	185
77	1/02/95	12:30 PM	2-4	1.05	32	20	12	208
78	1/02/95	12:30 PM	2-5	1.03	30	18	12	185
79	1/02/95	12:30 PM	2-6	1.06	26	18	8	192
80	1/02/95	12:30 PM	3-1	0.97	110	52	58	342
81	1/02/95	12:30 PM	3-2	1.06	28	18	10	200
82	1/02/95	12:30 PM	3-3	1.06	24	16	8	199
83	1/02/95	12:30 PM	3-4	1.06	26	18	8	188
84	1/02/95	12:30 PM	3-5	1.05	24	20	4	187
85	1/02/95	12:30 PM	3-6	1.03	22	14	8	215
86	1/02/95	12:30 PM	4-1	1.04	24	16	8	193
87	2/02/95	9:00 AM	Ac.	1.22	204	100	104	409
88	2/02/95	9:00 AM	1-1	1.22	116	68	48	359
89	2/02/95	9:00 AM	1-2	1.23	32	22	10	248
90	2/02/95	9:00 AM	1-3	1.24	30	24	6	224
91	2/02/95	9:00 AM	1-4	1.23	26	22	4	218
92	2/02/95	9:00 AM	1-5	1.23	30	16	14	212

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]
93	2/02/95	9:00 AM	2-1		0		0	286	8.07	0.8	2.44
94	2/02/95	9:00 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.2	125	7.65	26.3	2.44
95	2/02/95	9:00 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	108	7.65	25.5	2.45
96	2/02/95	9:00 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	83.2	7.68	24.5	2.45
97	2/02/95	9:00 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	93.2	7.62	27.3	2.45
98	2/02/95	9:00 AM	3-1		0		0	280	8.02	3.7	2.44
99	2/02/95	9:00 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.1	110	7.51	33.5	2.45
100	2/02/95	9:00 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	115	7.41	40.5	2.45
101	2/02/95	9:00 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	70	7.36	42.3	2.45
102	2/02/95	9:00 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	78.5	7.28	47.1	2.45
103	2/02/95	9:00 AM	4-1		0		0	291	7.78	31.3	2.34
104	2/02/95	9:00 AM	4-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80		0	128	7.56	29.1	2.43
105	2/02/95	9:00 AM	4-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100		0	85.5	7.45	34.9	2.44
106	2/02/95	9:00 AM	4-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110		0	90.1	7.43	37.1	2.4
107	2/02/95	9:00 AM	4-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130		0	80.4	7.38	38.9	2.45
108	2/02/95	9:00 AM	5-1		0		0	298	8.09	-1.2	2.44
109	2/02/95	9:00 AM	5-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.1	101	7.48	34.2	2.44
110	2/02/95	9:00 AM	5-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.2	98.1	7.57	28.1	2.44
111	2/02/95	9:00 AM	5-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.4	89.2	7.53	31.1	2.44
112	2/02/95	9:00 AM	5-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	PROSIFLOC 252	0.1	85.3	7.58	27.6	2.44
113	2/02/95	9:00 AM	5-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	PROSIFLOC 252	0.2	80.7	7.48	33	2.45
114	3/02/95	9:00 AM	Ac.		0		0	309	8.18	-12.4	2.94
115	3/02/95	9:00 AM	1-1		0		0	287	8.3	-17.6	2.96
116	3/02/95	9:00 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	143	7.56	22.3	2.97
117	3/02/95	9:00 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	128	7.49	27.3	2.97
118	3/02/95	9:00 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	107	7.46	27.8	2.97
119	3/02/95	9:00 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	93.5	7.37	33.3	2.98
120	3/02/95	9:00 AM	1-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80		0	151	7.6	20.5	2.97
121	3/02/95	9:00 AM	2-1		0		0	316	8.38	-8.5	2.96
122	3/02/95	9:00 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.2	156	7.83	21.8	2.96
123	3/02/95	9:00 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	144	7.78	26.5	2.96
124	3/02/95	9:00 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	132	7.65	32.2	2.96
125	3/02/95	9:00 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	140	7.59	35.9	2.9
126	3/02/95	9:00 AM	3-1		0		0	282	8.45	-12	2.95
127	3/02/95	9:00 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.1	139	7.79	24.2	2.96
128	3/02/95	9:00 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	118	7.68	30.9	2.97
129	3/02/95	9:00 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	101	7.64	32.3	2.97
130	3/02/95	9:00 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	105	7.52	39.3	2.96
131	3/02/95	9:00 AM	3-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	110		0	104	7.63	33.2	2.95
132	3/02/95	9:00 AM	4-1	Al2(SO4)3 LIQUIDO	130		0	106	7.53	39.4	2.96
133	3/02/95	9:00 AM	5-1	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.4	135	7.53	39	2.97
134	3/02/95	9:00 AM	5-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.2	133	7.62	34.3	2.95
135	3/02/95	9:00 AM	5-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.1	129	7.62	34.4	2.96
136	3/02/95	9:00 AM	5-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	PROSIFLOC 252	0.4	142	7.73	28.1	2.96
137	3/02/95	9:00 AM	5-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	80	PROSIFLOC 252	0.2	142	7.75	26.8	2.96

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
93	2/02/95	9:00 AM	2-1	1.22	100	58	42	361
94	2/02/95	9:00 AM	2-2	1.22	28	26	2	246
95	2/02/95	9:00 AM	2-3	1.23	24	24	0	234
96	2/02/95	9:00 AM	2-4	1.23	20	20	0	210
97	2/02/95	9:00 AM	2-5	1.23	20	18	2	223
98	2/02/95	9:00 AM	3-1	1.22	116	70	46	362
99	2/02/95	9:00 AM	3-2	1.22	40	32	8	235
100	2/02/95	9:00 AM	3-3	1.23	44	30	14	244
101	2/02/95	9:00 AM	3-4	1.23	20	14	6	219
102	2/02/95	9:00 AM	3-5	1.23	26	16	10	
103	2/02/95	9:00 AM	4-1	1.19	110	68	42	352
104	2/02/95	9:00 AM	4-2	1.22	26	22	4	218
105	2/02/95	9:00 AM	4-3	1.22	20	20	0	243
106	2/02/95	9:00 AM	4-4	1.2	24	22	2	217
107	2/02/95	9:00 AM	4-5	1.23	22	18	4	227
108	2/02/95	9:00 AM	5-1	1.22	116	74	42	371
109	2/02/95	9:00 AM	5-2	1.22	30	24	6	226
110	2/02/95	9:00 AM	5-3	1.22	38	32	6	237
111	2/02/95	9:00 AM	5-4	1.22	34	28	6	231
112	2/02/95	9:00 AM	5-5	1.22	32	30	2	220
113	2/02/95	9:00 AM	5-6	1.23	30	26	4	215
114	3/02/95	9:00 AM	Ac.	1.48	206	112	94	432
115	3/02/95	9:00 AM	1-1	1.48	126	76	50	381
116	3/02/95	9:00 AM	1-2	1.48	50	34	16	296
117	3/02/95	9:00 AM	1-3	1.49	42	26	16	250
118	3/02/95	9:00 AM	1-4	1.49	36	28	8	254
119	3/02/95	9:00 AM	1-5	1.49	60	52	8	236
120	3/02/95	9:00 AM	1-6	1.49	44	36	8	272
121	3/02/95	9:00 AM	2-1	1.48	124	76	48	387
122	3/02/95	9:00 AM	2-2	1.48	44	36	0	274
123	3/02/95	9:00 AM	2-3	1.49	40	32	8	257
124	3/02/95	9:00 AM	2-4	1.48	36	24	12	254
125	3/02/95	9:00 AM	2-5	1.48	38	32	6	257
126	3/02/95	9:00 AM	3-1	1.47	134	82	52	402
127	3/02/95	9:00 AM	3-2	1.48	52	40	12	280
128	3/02/95	9:00 AM	3-3	1.49	48	38	10	262
129	3/02/95	9:00 AM	3-4	1.49	40	34	6	252
130	3/02/95	9:00 AM	3-5	1.48	38	32	6	252
131	3/02/95	9:00 AM	3-6	1.48	28	22	6	252
132	3/02/95	9:00 AM	4-1	1.48	32	30	2	253
133	3/02/95	9:00 AM	5-1	1.49	48	42	6	257
134	3/02/95	9:00 AM	5-2	1.47	52	44	8	269
135	3/02/95	9:00 AM	5-3	1.48	46	32	14	267
136	3/02/95	9:00 AM	5-4	1.48	50	42	8	275
137	3/02/95	9:00 AM	5-5	1.48	46	36	10	273

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]
138	6/02/95	10:00 AM	Ac.		0		0	373	8.43	-37.9	2.83
139	6/02/95	10:00 AM	1-1		0		0	294	8.44	-38.1	2.98
140	6/02/95	10:00 AM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	137	7.86	-6.4	3.03
141	6/02/95	10:00 AM	1-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	126	7.73	0.2	3.04
142	6/02/95	10:00 AM	1-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	114	7.72	0.9	3.04
143	6/02/95	10:00 AM	1-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	105	7.63	5.6	3.04
144	6/02/95	10:00 AM	1-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80		0	141	7.86	-6.7	3.04
145	6/02/95	10:00 AM	2-1		0		0	297	7.85	-6.5	3.04
146	6/02/95	10:00 AM	2-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.2	150	7.8	-3.5	3.04
147	6/02/95	10:00 AM	2-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	123	7.67	3.1	3.04
148	6/02/95	10:00 AM	2-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	104	7.64	5.4	3.04
149	6/02/95	10:00 AM	2-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	108	7.8	-3.4	3.04
150	6/02/95	10:00 AM	2-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100		0	112	7.78	-2.3	3.04
151	6/02/95	10:00 AM	3-1		0		0	320	8.46	-39.7	3.03
152	6/02/95	10:00 AM	3-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.1	150	7.9	-8.3	3.04
153	6/02/95	10:00 AM	3-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	118	7.81	-4.5	3.04
154	6/02/95	10:00 AM	3-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	103	7.82	-4.3	3.9
155	6/02/95	10:00 AM	3-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	98.1	7.61	7.1	3.04
156	6/02/95	10:00 AM	3-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110		0	85.5	7.81	-4.5	3.04
157	6/02/95	10:00 AM	4-1	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130		0	123	7.7	2.4	3.04
158	7/02/95	8:00 AM	Ac.		0		0	345	8.44	-33.9	3.1
159	7/02/95	8:00 AM	1-1		0		0	297	8.44	-33.8	3.11
160	7/02/95	8:00 AM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.4	104	8	-9.2	3.11
161	7/02/95	8:00 AM	1-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	98.3	7.92	-5.3	3.11
162	7/02/95	8:00 AM	1-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.4	83.6	7.84	-1.3	3.11
163	7/02/95	8:00 AM	1-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.4	110	7.95	-6.4	3.11
164	7/02/95	8:00 AM	1-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80		0	27.3	7.77	2.4	3.11
165	7/02/95	8:00 AM	2-1		0		0	360	8.42	-32.9	3.09
166	7/02/95	8:00 AM	2-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.2	164	8	-9.1	3.1
167	7/02/95	8:00 AM	2-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	129	7.82	-0.4	3.11
168	7/02/95	8:00 AM	2-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.2	126	7.92	-5.6	3.11
169	7/02/95	8:00 AM	2-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.2	144	7.89	-3.6	3.11
170	7/02/95	8:00 AM	2-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.2	154	7.88	-3.6	3.11
171	7/02/95	8:00 AM	3-1		0		0	339	8.06	-24.1	3.99
172	7/02/95	8:00 AM	3-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	80	NALCOMEX	0.1	140	7.85	-2.5	3.09
173	7/02/95	8:00 AM	3-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	120	7.77	3.3	3.1
174	7/02/95	8:00 AM	3-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110	NALCOMEX	0.1	114	7.73	5.2	3.1
175	7/02/95	8:00 AM	3-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130	NALCOMEX	0.1	103	7.6	11.8	3.11
176	7/02/95	8:00 AM	3-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	110		0	123	7.74	4.6	3.11
177	7/02/95	8:00 AM	4-1	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	130		0	117	7.62	10.8	3.11
178	8/02/95	9:00 AM	Ac.		0		0	345	7.73	6.04	3.28
179	8/02/95	9:00 AM	1-1		0		0	264	7.68	9.2	3.29
180	8/02/95	9:00 AM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.1	120	7.05	42.3	3.17
181	8/02/95	9:00 AM	1-3	HIDROXIDO DE CALC	100	NALCOMEX	0.1	109	8.13	-15.7	3.19
182	8/02/95	9:00 AM	1-4	HIDROXIDO DE CALC	150	NALCOMEX	0.1	57.2	8.32	-26	3.05
183	8/02/95	9:00 AM	1-5	HIDROXIDO DE CALC	200	NALCOMEX	0.1	40.4	8.42	-31.3	3.1
184	8/02/95	9:00 AM	1-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.1	32.4	8.54	-37.4	2.95
185	8/02/95	9:00 AM	2-1		0		0	263	7.73	6	3.3
186	8/02/95	9:00 AM	2-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	100	NALCOMEX	0.4	109	7.17	-45.2	3.09

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
138	6/02/95	10:00 AM	Ac.	1.42	174	88	86	426
139	6/02/95	10:00 AM	1-1	1.49	118	70	48	394
140	6/02/95	10:00 AM	1-2	1.52	50	38	12	282
141	6/02/95	10:00 AM	1-3	1.52	46	34	12	278
142	6/02/95	10:00 AM	1-4	1.52	40	32	8	270
143	6/02/95	10:00 AM	1-5	1.52	36	30	6	263
144	6/02/95	10:00 AM	1-6	1.52	42	30	12	287
145	6/02/95	10:00 AM	2-1	1.52	116	70	46	288
146	6/02/95	10:00 AM	2-2	1.52	40	34	6	262
147	6/02/95	10:00 AM	2-3	1.52	44	30	14	259
148	6/02/95	10:00 AM	2-4	1.52	38	26	12	
149	6/02/95	10:00 AM	2-5	1.52	44	30	14	261
150	6/02/95	10:00 AM	2-6	1.52	40	30	10	261
151	6/02/95	10:00 AM	3-1	1.52	118	68	50	411
152	6/02/95	10:00 AM	3-2	1.52	42	30	12	291
153	6/02/95	10:00 AM	3-3	1.52	40	32	8	263
154	6/02/95	10:00 AM	3-4	1.52	38	28	10	291
155	6/02/95	10:00 AM	3-5	1.52	36	26	10	283
156	6/02/95	10:00 AM	3-6	1.52	30	20	10	241
157	6/02/95	10:00 AM	4-1	1.52	38	26	12	258
158	7/02/95	8:00 AM	Ac.	1.55	178	88	90	469
159	7/02/95	8:00 AM	1-1	1.55	126	74	52	427
160	7/02/95	8:00 AM	1-2	1.56	44	30	14	289
161	7/02/95	8:00 AM	1-3	1.56	32	22	10	269
162	7/02/95	8:00 AM	1-4	1.56	50	40	10	270
163	7/02/95	8:00 AM	1-5	1.56	34	22	12	258
164	7/02/95	8:00 AM	1-6	1.56	44	32	12	293
165	7/02/95	8:00 AM	2-1	1.55	128	76	52	442
166	7/02/95	8:00 AM	2-2	1.55	44	34	10	311
167	7/02/95	8:00 AM	2-3	1.56	40	30	10	291
168	7/02/95	8:00 AM	2-4	1.56	38	28	10	272
169	7/02/95	8:00 AM	2-5	1.56	44	30	14	285
170	7/02/95	8:00 AM	2-6	1.56	40	30	10	323
171	7/02/95	8:00 AM	3-1	1.5	132	78	54	428
172	7/02/95	8:00 AM	3-2	1.55	38	32	6	286
173	7/02/95	8:00 AM	3-3	1.55	34	24	10	272
174	7/02/95	8:00 AM	3-4	1.55	34	24	10	269
175	7/02/95	8:00 AM	3-5	1.56	32	22	10	262
176	7/02/95	8:00 AM	3-6	1.56	32	26	6	284
177	7/02/95	8:00 AM	4-1	1.56	36	26	10	274
178	8/02/95	9:00 AM	Ac.	1.64	196	100	96	463
179	8/02/95	9:00 AM	1-1	1.65	146	84	62	429
180	8/02/95	9:00 AM	1-2	1.59	42	28	14	291
181	8/02/95	9:00 AM	1-3	1.59	66	42	24	354
182	8/02/95	9:00 AM	1-4	1.53	54	28	26	297
183	8/02/95	9:00 AM	1-5	1.56	24	20	4	302
184	8/02/95	9:00 AM	1-6	1.48	26	12	14	288
185	8/02/95	9:00 AM	2-1	1.65	108	64	44	450
186	8/02/95	9:00 AM	2-2	1.53	32	18	14	285

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDAD [nanomho/cm]
187	15/02/95	9:00 AM	2-3	HIDROXIDO DE CALC	100	NALCOMEX	0.4	93	8.27	-22.5	2.92
188	15/02/95	9:00 AM	2-4	HIDROXIDO DE CALC	150	NALCOMEX	0.4	76.4	8.4	-30.9	3.13
189	15/02/95	9:00 AM	2-5	HIDROXIDO DE CALC	200	NALCOMEX	0.4	35.4	8.56	-38.8	2.99
190	15/02/95	9:00 AM	2-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	30.6	8.65	-43.9	2.05
191	15/02/95	9:00 AM	3-1		0		0	316	7.64	10.8	3.14
192	15/02/95	9:00 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.1	141	6.95	48.1	3.17
193	15/02/95	9:00 AM	3-3	HIDROXIDO DE CALC	100	PROSIFLOC 252	0.1	161	8.2	-19.5	2.98
194	15/02/95	9:00 AM	3-4	HIDROXIDO DE CALC	150	PROSIFLOC 252	0.1	125	8.36	-27.9	3.08
195	15/02/95	9:00 AM	3-5	HIDROXIDO DE CALC	200	PROSIFLOC 252	0.1	102	8.48	-35	3.06
196	15/02/95	9:00 AM	3-6	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.1	91.7	8.59	-40.4	3.04
197	15/02/95	9:00 AM	5-1		0		0	310	7.73	2	3.17
198	15/02/95	9:00 AM	5-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	100	PROSIFLOC 252	0.4	122	7.93	-6.8	3.18
199	15/02/95	9:00 AM	5-3	HIDROXIDO DE CALC	100	PROSIFLOC 252	0.4	129	8.53	-37	3.12
200	15/02/95	9:00 AM	5-4	HIDROXIDO DE CALC	150	PROSIFLOC 252	0.4	48.2	8.65	-44.8	3
201	15/02/95	9:00 AM	5-5	HIDROXIDO DE CALC	200	PROSIFLOC 252	0.4	40.5	8.64	-43.8	2.86
202	15/02/95	9:00 AM	5-6	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	34.9	8.76	-49.8	2.94
203	15/02/95	10:00 AM	Ac.		0		0	215	8.46	24.6	
204	15/02/95	10:00 AM	1-1		0		0	210			
205	15/02/95	10:00 AM	1-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	124			
206	15/02/95	10:00 AM	1-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	129			
207	15/02/95	10:00 AM	1-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	119			
208	15/02/95	10:00 AM	1-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	105			
209	15/02/95	10:00 AM	1-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	60	PROSIFLOC 252	0.4	112			
210	15/02/95	10:00 AM	2-1		0		0	231	8.31	25.5	
211	15/02/95	10:00 AM	2-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	20			194	8.22	25.4	
212	15/02/95	10:00 AM	2-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	30			176	8.23	25.2	
213	15/02/95	10:00 AM	2-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	40			210	8.16	25.1	
214	15/02/95	10:00 AM	2-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50			188	8.15	24.9	
215	15/02/95	10:00 AM	2-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	60			198	8.03	25	
216	15/02/95	10:00 AM	3-1		0		0				
217	15/02/95	10:00 AM	3-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.1	124	8.06	25	
218	15/02/95	10:00 AM	3-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.2	129	8.07	24.8	
219	15/02/95	10:00 AM	3-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.3	119	8.03	24.8	
220	15/02/95	10:00 AM	3-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	105	8.04	24.7	
221	15/02/95	10:00 AM	3-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.5	112	8.04	24.8	
222	15/02/95	10:00 AM	4-1		0		0	364	8.31	24.8	
223	15/02/95	10:00 AM	4-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.6	226	8.04	24	
224	15/02/95	10:00 AM	4-3	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.7	220	8.05	24.6	
225	15/02/95	10:00 AM	4-4	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.8	223	8	24.6	
226	15/02/95	10:00 AM	4-5	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.9	216	8.06	24.8	
227	15/02/95	10:00 AM	4-6	Al2(SO4)3 LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	1	220	8.07	25	
228	15/02/95	10:00 AM	4-7	Al2(SO4)3 LIQUIDO	25	PROSIFLOC 252	0.4	228	8.29	25.5	
229	15/02/95	10:00 AM	5-1		0		0	367	8.43	26.1	
230	15/02/95	10:00 AM	5-2		0	PROSIFLOC 252	0.1	285	8.278	26.1	
231	15/02/95	10:00 AM	5-3		0	PROSIFLOC 252	0.2	330	8.32	25.7	
232	15/02/95	10:00 AM	5-4		0	PROSIFLOC 252	0.3	286	8.4	25.5	
233	15/02/95	10:00 AM	5-5		0	PROSIFLOC 252	0.4	316	8.35	25.4	
234	15/02/95	10:00 AM	5-6		0	PROSIFLOC 252	0.5	330	8.35	25.2	
235	15/02/95	3:30 PM	Ac.		0		0	294	7.9		
236	15/02/95	3:30 PM	6-1		0	PROSIFLOC 252	0.4	241	7.79		
237	15/02/95	3:30 PM	6-2	Al2(SO4)3 LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	152	7.83		

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
187	15/02/95	9:00 AM	2-3	1.48	66	40	26	334
188	15/02/95	9:00 AM	2-4	1.55	42	34	8	286
189	15/02/95	9:00 AM	2-5	1.5	38	24	14	271
190	15/02/95	9:00 AM	2-6	1.53	38	28	10	266
191	15/02/95	9:00 AM	3-1	1.57	128	78	50	423
192	15/02/95	9:00 AM	3-2	1.59	50	34	16	291
193	15/02/95	9:00 AM	3-3	1.49	58	46	12	309
194	15/02/95	9:00 AM	3-4	1.54	48	28	20	290
195	15/02/95	9:00 AM	3-5	1.53	44	36	8	286
196	15/02/95	9:00 AM	3-6	1.52	28	28	0	307
197	15/02/95	9:00 AM	5-1	1.6	108	64	44	411
198	15/02/95	9:00 AM	5-2	1.59	38	24	14	278
199	15/02/95	9:00 AM	5-3	1.56	46	32	14	287
200	15/02/95	9:00 AM	5-4	1.51	52	40	12	831
201	15/02/95	9:00 AM	5-5	1.43	48	36	12	286
202	15/02/95	9:00 AM	5-6	1.47	44	36	8	242
203	15/02/95	10:00 AM	Ac.		170	98	72	507
204	15/02/95	10:00 AM	1-1		166	96	70	
205	15/02/95	10:00 AM	1-2		80	58	22	
206	15/02/95	10:00 AM	1-3		72	48	24	
207	15/02/95	10:00 AM	1-4		64	46	18	
208	15/02/95	10:00 AM	1-5		64	48	16	
209	15/02/95	10:00 AM	1-6		64	48	16	
210	15/02/95	10:00 AM	2-1		146	88	58	458
211	15/02/95	10:00 AM	2-2		74	54	20	373
212	15/02/95	10:00 AM	2-3		66	48	18	362
213	15/02/95	10:00 AM	2-4		62	46	16	366
214	15/02/95	10:00 AM	2-5		56	42	14	343
215	15/02/95	10:00 AM	2-6		58	44	14	332
216	15/02/95	10:00 AM	3-1		168	98	70	473
217	15/02/95	10:00 AM	3-2		62	46	16	364
218	15/02/95	10:00 AM	3-3		70	52	18	346
219	15/02/95	10:00 AM	3-4		62	46	16	345
220	15/02/95	10:00 AM	3-5		56	42	14	341
221	15/02/95	10:00 AM	3-6		64	46	18	336
222	15/02/95	10:00 AM	4-1		144	98	46	461
223	15/02/95	10:00 AM	4-2		74	54	20	341
224	15/02/95	10:00 AM	4-3		66	48	18	343
225	15/02/95	10:00 AM	4-4		68	50	18	339
226	15/02/95	10:00 AM	4-5		68	52	16	332
227	15/02/95	10:00 AM	4-6		62	46	16	334
228	15/02/95	10:00 AM	4-7		2576	56	2520	359
229	15/02/95	10:00 AM	5-1		156	94	62	453
230	15/02/95	10:00 AM	5-2		168	102	66	467
231	15/02/95	10:00 AM	5-3		178	106	72	476
232	15/02/95	10:00 AM	5-4		190	110	80	477
233	15/02/95	10:00 AM	5-5		178	100	78	484
234	15/02/95	10:00 AM	5-6		188	114	74	471
235	15/02/95	3:30 PM	Ac.		190	98	92	
236	15/02/95	3:30 PM	6-1	472	156	86	70	
237	15/02/95	3:30 PM	6-2	383	70	48	22	

PRUEBA No.	FECHA	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIAL [mV]
238	16/02/95	3:30 PM	6-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	143	7.72	
239	16/02/95	3:30 PM	6-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	125	7.64	
240	16/02/95	3:30 PM	6-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	115	7.58	
241	16/02/95	3:30 PM	6-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	60	PROSIFLOC 252	0.4	117	7.56	
242	16/02/95	3:30 PM	7-1		0		0	327	8	
243	16/02/95	3:30 PM	7-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	225	7.89	
244	16/02/95	3:30 PM	7-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	207	7.81	
245	16/02/95	3:30 PM	7-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	193	7.73	
246	16/02/95	3:30 PM	7-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	184	7.65	
247	16/02/95	3:30 PM	7-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	60	PROSIFLOC 252	0.4	173	7.58	
248	16/02/95	3:30 PM	8-1		0		0	301	7.86	20.3
249	16/02/95	3:30 PM	8-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	227	7.77	20
250	16/02/95	3:30 PM	8-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	217	7.69	20
251	16/02/95	3:30 PM	8-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	202	7.8	19.9
252	16/02/95	3:30 PM	8-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	183	7.51	19.9
253	16/02/95	3:30 PM	8-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	60	PROSIFLOC 252	0.4	187	7.45	19.9
254	16/02/95	9:20 AM	Ac		0		0	229	8.27	-18.2
255	16/02/95	9:20 AM	1-1		0		0	185	8.25	-17.7
256	16/02/95	9:20 AM	1-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	116	8.25	-17.2
257	16/02/95	9:20 AM	1-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	114	8.18	-13.3
258	16/02/95	9:20 AM	1-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	106	8.09	-7.9
259	16/02/95	9:20 AM	1-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	101	8.08	-7.3
260	16/02/95	9:20 AM	1-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	60	PROSIFLOC 252	0.4	92	8.13	-10.7
261	16/02/95	9:20 AM	2-1		0		0	193	8.05	-6.8
262	16/02/95	9:20 AM	2-2		0		0	123	7.9	-2.3
263	16/02/95	9:20 AM	2-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	0.4	118	7.98	-1.6
264	16/02/95	9:20 AM	2-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	30	PROSIFLOC 252	0.4	125	7.93	0.9
265	16/02/95	9:20 AM	2-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	40	PROSIFLOC 252	0.4	110	7.93	0.9
266	16/02/95	9:20 AM	2-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	120	7.87	4.4
267	16/02/95	9:20 AM	3-1		0		0	239	8	-3.9
268	16/02/95	9:20 AM	3-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.1	47.6	7.76	10.5
269	16/02/95	9:20 AM	3-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.2	95.2	7.76	10.8
270	17/02/95	9:20 AM	3-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.3	95.2	7.76	10.5
271	17/02/95	9:20 AM	3-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.4	93.2	7.75	11.4
272	17/02/95	9:20 AM	3-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.5	89.4	7.74	11.7
273	17/02/95	9:20 AM	4-1		0		0	246	7.73	10.9
274	17/02/95	9:20 AM	4-2	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.6	183	7.53	23.9
275	17/02/95	9:20 AM	4-3	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.7	179	7.57	21.4
276	17/02/95	9:20 AM	4-4	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.8	185	7.57	21.8
277	17/02/95	9:20 AM	4-5	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	50	PROSIFLOC 252	0.9	176	7.57	21.6
278	17/02/95	9:20 AM	4-6	Al ₂ (SO ₄) ₃ LIQUIDO	20	PROSIFLOC 252	1	183	7.6	20.2
279	17/02/95	5:30 PM	Ac2		0		0	262	7.98	-2
280	17/02/95	5:30 PM	5-1		0		0	260	7.99	-0.5
281	17/02/95	5:30 PM	5-2		0	PROSIFLOC 252	0.1	238	7.96	-0.8
282	17/02/95	5:30 PM	5-3		0	PROSIFLOC 252	0.2	243	7.98	-1.4
283	17/02/95	5:30 PM	5-4		0	PROSIFLOC 252	0.3	245	7.97	-1.7

PRUEBA No.	FECHA	HORA		SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
238	16/02/95	3:30 PM	6-3	380	68	44	24	
239	16/02/95	3:30 PM	6-4	364	64	44	20	
240	16/02/95	3:30 PM	6-5	359	52	36	16	
241	16/02/95	3:30 PM	6-6	362	56	40	16	
242	16/02/95	3:30 PM	7-1		136	76	60	
243	16/02/95	3:30 PM	7-2		72	50	22	
244	16/02/95	3:30 PM	7-3		66	46	20	
245	16/02/95	3:30 PM	7-4		54	38	16	
246	16/02/95	3:30 PM	7-5		58	42	16	
247	16/02/95	3:30 PM	7-6		56	36	20	
248	16/02/95	3:30 PM	8-1		140	82	58	
249	16/02/95	3:30 PM	8-2		94	60	34	
250	16/02/95	3:30 PM	8-3		90	60	30	
251	16/02/95	3:30 PM	8-4		82	56	26	
252	16/02/95	3:30 PM	8-5		72	50	22	
253	16/02/95	3:30 PM	8-6		70	44	26	
254	16/02/95	9:20 AM	Ac		200	108	92	515
255	16/02/95	9:20 AM	1-1		170	92	78	484
256	16/02/95	9:20 AM	1-2		72	48	24	378
257	16/02/95	9:20 AM	1-3		66	46	20	378
258	16/02/95	9:20 AM	1-4		56	34	22	370
259	16/02/95	9:20 AM	1-5		48	34	14	354
260	16/02/95	9:20 AM	1-6		46	34	12	351
261	16/02/95	9:20 AM	2-1		150	84	66	456
262	16/02/95	9:20 AM	2-2		62	44	18	373
263	16/02/95	9:20 AM	2-3		60	46	14	363
264	16/02/95	9:20 AM	2-4		56	38	18	368
265	16/02/95	9:20 AM	2-5		52	38	14	352
266	16/02/95	9:20 AM	2-6		54	36	18	351
267	16/02/95	9:20 AM	3-1		164	96	68	466
268	16/02/95	9:20 AM	3-2		64	44	20	363
269	16/02/95	9:20 AM	3-3		64	42	22	355
270	17/02/95	9:20 AM	3-4		60	40	20	346
271	17/02/95	9:20 AM	3-5		62	42	20	373
272	17/02/95	9:20 AM	3-6		54	42	12	369
273	17/02/95	9:20 AM	4-1		166	88	78	470
274	17/02/95	9:20 AM	4-2		52	30	22	350
275	17/02/95	9:20 AM	4-3		54	30	24	343
276	17/02/95	9:20 AM	4-4		52	30	22	343
277	17/02/95	9:20 AM	4-5		56	34	22	344
278	17/02/95	9:20 AM	4-6		58	38	20	350
279	17/02/95	5:30 PM	Ac2		196	102	94	
280	17/02/95	5:30 PM	5-1		158	86	72	515
281	17/02/95	5:30 PM	5-2		170	92	78	519
282	17/02/95	5:30 PM	5-3		172	96	76	507
283	17/02/95	5:30 PM	5-4		86	52	34	514

**EVALUACION DEL HIDROXIDO DE CALCIO SOLUCIÓN COMO COAGULANTE
PLANTA DE ECATEPEC**

FECH	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDA [nanomho/cm]	SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
6/01/95	12:15 PM	Ac.		0		0	241	7.88	16.1	2.8	1.42	136	66	70	436
6/01/95	12:15 PM	1-1		0		0	291	7.92	13.8	2.63	1.32	124	76	40	429
6/01/95	12:15 PM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	200	NALCOMEX	0.4	141	8.57	-19.3	2.62	1.31	56	4	12	338
10/01/95		Ac.		0		0	308	8.44	25	2.76	1.39	142	74	68	456
10/01/95		1-1		0		0	306	8.42	24.8	2.67	1.39	100	56	44	424
10/01/95		2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	159	936	-21.5	2.62	1.33	38	24	14	301
17/01/95	2:00 PM	Ac.		0		0	212	7		2.32		164			335
17/01/95	2:00 PM	1-1		0		0	247	7		2.5		130			384
17/01/95	2:00 PM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	13.1	9		2.32		58			312
18/01/95	12:00 PM	Ac.		0		0	191	7.29	-50.4	2.92	1.46	154			461
18/01/95	12:00 PM	1-1		0		0	191	7.34	-53.2	2.65	1.35	128			395
18/01/95	12:00 PM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	13.3	8.45	-118	2.6	1.3	34			245
19/01/95	12:00 PM	Ac.		0		0	269					166			
19/01/95	12:00 PM	1-1		0		0	223					114			
19/01/95	12:00 PM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	39.3					52			
19/01/95	12:00 PM	4-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	30.5								
19/01/95	12:00 PM	6-1	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	73.8					30			
19/01/95	12:00 PM	8-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.2	33.2					34			
20/01/95	8:30 AM	Ac.		0		0	268					166			
20/01/95	8:30 AM	1-1		0		0	258					144			
20/01/95	8:30 AM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	13.9					26			
20/01/95	8:30 AM	4-1	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	60.3					74			
20/01/95	8:30 AM	6-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	59.9					28			
20/01/95	8:30 AM	8-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.2	49					26			
23/01/95	8:30 AM	Ac.		0		0	425	9.25	-32			218	112	106	506
23/01/95	8:30 AM	1-1		0		0	373	9.34	-35.6			158	168	86	473
23/01/95	8:30 AM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	37.7	10.83	-98.6	2.44	1.22	30	18	12	260
23/01/95	8:30 AM	5-1	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	23.4	10.07	-67.2	2.38	1.19	30	20	10	264
23/01/95	8:30 AM	6-1		0		0	294	8.39	4.2	2.58	1.29	144	76	68	468
23/01/95	8:30 AM	7-2	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	18.7	10.6	-65.4	2.43	1.21	38	22	16	255
23/01/95	8:30 AM	9-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.2	58.7	10.75	97.7			74	24	50	241
24/01/95	8:00 AM	Ac.		0		0	350	7.96	-35.8	2.63	1.32	198	96	102	514
24/01/95	8:00 AM	1-1		0		0	324	7.87	-36.2	2.64	1.32	154	80	74	498
24/01/95	8:00 AM	2-2	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	63	9.7	-127.2	2.26	1.14	76	20	56	245
24/01/95	8:00 AM	4-1	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	67	9.71	-12.8	2.26	1.32	92	24	68	253
24/01/95	8:00 AM	6-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	43.3	9.73	-129.6	2.65	1.13	94	24	70	240
24/01/95	8:00 AM	8-1	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.2	77.3	9.76	-130.8	2.24	1.13	100	26	74	240
25/01/95	8:15 AM	Ac.		0		0	305	7.6	-58.3	2.73	1.37	198	118	80	519
25/01/95	8:15 AM	1-1		0		0	290	7.59	-59.6	2.73	1.37	148	94	54	472
25/01/95	8:15 AM	1-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	36.7	8.78	-125.3	2.58	1.29	50	34	16	281
25/01/95	8:15 AM	2-1		0		0	285	7.57	-58.2	2.63	1.32	138	88	50	460
25/01/95	8:15 AM	2-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	44.8	8.83	-127.8	2.58	1.29	44	36	8	278
25/01/95	8:15 AM	3-1		0		0	296	7.22	-41.5	2.71	1.35	130	86	44	445
25/01/95	8:15 AM	3-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	36.2	8.57	-11.3	2.57	1.29	46	38	8	274
25/01/95	8:15 AM	4-1		0		0	255	7.11	-35.8	4.71	1.35	136	98	38	465
25/01/95	8:15 AM	4-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	42.9	8.52	-110.9	2.56	1.28	46	34	12	292
25/01/95	8:15 AM	5-1		0		0	252	7.16	-36	2.71	1.36	152	94	58	448
25/01/95	8:15 AM	5-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	41.9	8.51	-110.4	2.55	1.28	36	24	12	274
25/01/95	8:15 AM	6-1		0		0	279	7.33	-43.9	1.35	2.7	148	90	58	450
25/01/95	8:15 AM	6-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	42.9					36	26	10	277

FECH	HORA		COAGULANTE	DOSIS [mg/L]	FLOCULANTE	DOSIS [mg/L]	TURBIEDAD [UTN]	pH	OTENCIA [mV]	CONDUCTIVIDA [nanomho/cm]	SDT [g/L]	SST [mg/L]	SSV [mg/L]	SSF [mg/L]	DQO TOT [mg/L]
25/01/95	8:15 AM	7-1		0		0	325	7.23	-39.3	2.71	1.36	124	76	48	444
25/01/95	8:15 AM	7-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	40.9	8.5	-110.5	2.57	1.29	42	34	8	275
25/01/95	2:00 PM	Ac.		0		0	344	7.32	-44.4	2.7	1.4	188	104	84	473
25/01/95	2:00 PM	8-1		0		0	325	7.34	-45	2.71	1.35	126	78	48	438
25/01/95	2:00 PM	8-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	28.6	8.41	-105.5	2.8	1.33	40	30	10	294
25/01/95	2:00 PM	9-1		0		0	181	7.19	-36.8	2.8	1.4	132	88	44	410
25/01/95	2:00 PM	9-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	25.1	8.31	-99.7	2.37	1.19	38	32	6	256
25/01/95	2:00 PM	10-1		0		0	181	7.44	-51.7	2.68	1.34	134	88	46	409
25/01/95	2:00 PM	10-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	30.2	8.47	-110.6	2.67	1.31	44	32	12	246
26/01/95	8:00 AM	Ac.		0		0	306					160	90	70	
26/01/95	8:00 AM	1-1		0		0	281					142	86	56	
26/01/95	8:00 AM	1-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	32.4					50	36	14	
26/01/95	8:00 AM	2-1		0		0	287					142	88	54	
26/01/95	8:00 AM	2-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	36.4								
26/01/95	8:00 AM	3-1		0		0	274					140	88	52	
26/01/95	8:00 AM	3-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	34.1					90	58	32	
26/01/95	8:00 AM	4-1		0		0	268					130	86	44	
26/01/95	8:00 AM	4-5	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.2	34.7					78	58	20	
8/02/95	9:00 AM	Ac.		0		0	345	7.73	6.04	3.28	1.64	196	100	96	463
8/02/95	9:00 AM	1-1		0		0	264	7.68	9.2	3.29	1.65	146	84	62	429
8/02/95	9:00 AM	1-3	HIDROXIDO DE CALC	100	NALCOMEX	0.1	109	8.13	-15.7	3.19	1.59	66	42	24	354
8/02/95	9:00 AM	1-4	HIDROXIDO DE CALC	150	NALCOMEX	0.1	57.2	8.32	-26	3.05	1.53	54	28	26	247
8/02/95	9:00 AM	1-5	HIDROXIDO DE CALC	200	NALCOMEX	0.1	40.4	8.42	-31.3	3.1	1.56	24	20	4	302
8/02/95	9:00 AM	1-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.1	32.4	8.54	-37.4	2.95	1.48	26	12	14	288
8/02/95	9:00 AM	2-1		0		0	263	7.73	6	3.3	1.65	108	64	44	450
8/02/95	9:00 AM	2-3	HIDROXIDO DE CALC	100	NALCOMEX	0.4	93	8.27	-22.5	2.92	1.48	66	40	26	334
8/02/95	9:00 AM	2-4	HIDROXIDO DE CALC	150	NALCOMEX	0.4	76.4	8.4	-30.9	3.13	1.55	42	34	8	286
8/02/95	9:00 AM	2-5	HIDROXIDO DE CALC	200	NALCOMEX	0.4	35.4	8.56	-38.8	2.99	1.5	38	24	14	271
8/02/95	9:00 AM	2-6	HIDROXIDO DE CALC	250	NALCOMEX	0.4	30.6	8.65	-43.9	2.05	1.53	38	28	10	266
8/02/95	9:00 AM	3-1		0		0	316	7.64	10.8	3.14	1.57	128	78	50	423
8/02/95	9:00 AM	3-3	HIDROXIDO DE CALC	100	PROSIFLOC 252	0.1	161	8.2	-19.5	2.98	1.49	58	46	12	309
8/02/95	9:00 AM	3-4	HIDROXIDO DE CALC	150	PROSIFLOC 252	0.1	125	8.36	-27.9	3.08	1.54	48	28	20	290
8/02/95	9:00 AM	3-5	HIDROXIDO DE CALC	200	PROSIFLOC 252	0.1	102	8.48	-35	3.06	1.53	44	36	8	286
8/02/95	9:00 AM	3-6	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.1	91.7	8.59	-40.4	3.04	1.52	28	28	0	307
8/02/95	9:00 AM	5-1		0		0	310	7.73	2	3.17	1.6	108	64	44	411
8/02/95	9:00 AM	5-3	HIDROXIDO DE CALC	100	PROSIFLOC 252	0.4	129	8.53	-37	3.12	1.56	46	32	14	287
8/02/95	9:00 AM	5-4	HIDROXIDO DE CALC	150	PROSIFLOC 252	0.4	48.2	8.65	-44.8	3	1.51	52	40	12	831
8/02/95	9:00 AM	5-5	HIDROXIDO DE CALC	200	PROSIFLOC 252	0.4	40.5	8.64	-43.8	2.86	1.43	48	36	12	286
8/02/95	9:00 AM	5-6	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4	34.9	8.76	-49.8	2.94	1.47	44	36	8	242
21/02/95	1:00 PM	Ac		0		0						180	98	82	491
21/02/95	1:00 PM	1-1		0		0						154	90	64	449
21/02/95	1:00 PM	2-1		0		0						158	90	68	453
21/02/95	1:00 PM	3-1		0		0						158	92	66	464
21/02/95	1:00 PM	4-1		0		0		8.27				154	86	68	
21/02/95	1:00 PM	4-2	HIDROXIDO DE CALC	25	PROSIFLOC 252	0.4		8.62				142	84	58	
21/02/95	1:00 PM	4-3	HIDROXIDO DE CALC	50	PROSIFLOC 252	0.4		8.8				64	50	14	
21/02/95	1:00 PM	4-4	HIDROXIDO DE CALC	75	PROSIFLOC 252	0.4		8.97				54	42	12	
21/02/95	1:00 PM	4-5	HIDROXIDO DE CALC	100	PROSIFLOC 252	0.4		9.13				38	30	8	
21/02/95	1:00 PM	4-6	HIDROXIDO DE CALC	150	PROSIFLOC 252	0.4		9.31				38	28	10	
21/02/95	5:00 PM	Ac2		0		0						156	110	46	
21/02/95	5:00 PM	5-1	HIDROXIDO DE CALC	200	PROSIFLOC 252	0.4		8.27				134	76	58	
21/02/95	5:00 PM	5-2	HIDROXIDO DE CALC	250	PROSIFLOC 252	0.4		9.48				32	26	6	
21/02/95	5:00 PM	5-3	HIDROXIDO DE CALC	300	PROSIFLOC 252	0.4		9.61				36	28	8	
21/02/95	5:00 PM	5-4	HIDROXIDO DE CALC	350	PROSIFLOC 252	0.4		9.72				30	22	8	
21/02/95	5:00 PM	5-5	HIDROXIDO DE CALC	400	PROSIFLOC 252	0.4		9.81				28	24	4	
21/02/95	5:00 PM	5-6	HIDROXIDO DE CALC	450	PROSIFLOC 252	0.4		9.92				26	18	8	