

40
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACION DE POLIMEROS ZWITTERIONICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

MA. PAULINA HAM OCAMPO

RAFAEL CRESPO SOSA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	II
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	3
3. COAGULACION-FLOCULACION	5
3.1 <i>Teoría de Coagulación-Floculación</i>	5
3.1.1 Doble Capa	9
3.1.2 Potenciales del Coloide	12
3.1.3 Modelos de Coagulación	17
3.1.3.1 Modelo Físico	18
3.1.3.2 Modelo Químico	21
3.2 <i>Coagulantes</i>	24
3.2.1 Ayudantes de Coagulación	24
3.2.2 Coagulantes Metálicos	26
4. PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA	30
4.1 <i>Secuencia del Tren de Tratamiento</i>	30

4.2	<i>Aplicación en el Tratamiento de Agua</i>	33
4.3	<i>Parámetro de diseño</i>	34
4.3.1	<i>Floculación Ortocinética y Gradiente de Velocidad</i>	34
4.4	<i>Tipo de Floculadores</i>	36
4.4.1	<i>Floculadores Gravitacionales</i>	37
4.4.2	<i>Floculadores de flujo helicoidal</i>	40
4.4.3	<i>Floculadores Mecánicos</i>	40
4.4.3.1	<i>Floculadores de Paletas</i>	40
4.4.3.2	<i>Floculadores de Turbina</i>	41
4.4.3.3	<i>Floculadores con agitadores reciprocantes</i>	44
5.	POLIELECTROLITOS	45
5.1	<i>Características</i>	45
5.2	<i>Polimerización Iónica</i>	46
5.3	<i>Aplicación en el Tratamiento de Agua</i>	47
5.3.1	<i>Eficiencia</i>	50
5.3.2	<i>Variables del Sistema</i>	50
5.3.3	<i>Factores Operacionales</i>	51
5.4	<i>Parámetros relacionados con el polímero</i>	52
5.4.1	<i>Signo y Magnitud de la Carga</i>	53
5.4.2	<i>Forma Física del Polímero y su aplicación</i>	54
5.5	<i>Tipos de Polielectrolitos</i>	55

	Pág.
5.5.1 Polielectrólitos aniónicos	55
5.5.2 Polielectrólitos catiónicos	58
5.5.3 Polielectrólitos no iónicos	61
5.5.4 Polielectrólitos naturales	64
6. PRUEBAS DE JARRAS	67
6.1 Generalidades	67
6.2 Factores que afectan el Experimento de Prueba de Jarras	69
6.3 Parámetros para el Análisis de Resultados del Experimento	71
6.4 Técnica	73
6.5 Metodología	76
6.6 Floculantes Experimentales	78
6.6.1 Tratamiento y dosificación	80
6.6.2 Dosis Óptima de coagulante a pH y turbiedad fijos	82
6.6.3 Efecto del pH respecto a dosis	82
7. RESULTADOS	84
7.1 Condiciones Fijadas	84
7.2 Datos Obtenidos	85
8. CONCLUSIONES	111

	Pág.
9. BIBLIOGRAFIA	115
ANEXO I. TURBIEDAD	120
ANEXO II. TABLAS	122
ANEXO III. GRAFICAS	156

LISTA DE FIGURAS

No. Figura		Pág.
3.1	Modelos de la Doble Capa	11
3.2	Potenciales del Coloide	14
3.3	Mediciones electrocinéticas	16
4.1	Diagrama Esquemático del Proceso Coagulación-Floculación en una planta de tratamiento de agua	32
4.2	Tanque de Floculación hidráulico	38
4.3	Tanque de Floculación mecánico	38
4.4	Impulsores	43
6.1	Prueba de jarras	69
7.1	Gráfica. Polímeros comerciales (dosis vs. turbiedad residual)	93
7.2	Gráfica. Polímeros comerciales (pH vs. turbiedad residual)	94
7.3	Gráfica. Polímeros comerciales (turbiedad inicial vs. turbiedad residual)	95
7.4	Gráfica. Polímeros Zwitteriónicos (dosis vs. turbiedad residual)	99
7.5	Gráfica. Polímeros Zwitteriónicos (pH vs. turbiedad residual)	100
7.6	Gráfica. Polímeros Zwitteriónicos (turbiedad inicial vs. turbiedad residual)	101
7.7	Gráfica. Comparativa. (tiempo vs. turbiedad residual)	107

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
No. Tabla		
6.1	Programa Experimental	78
7.1	Pruebas iniciales con diferentes tipos de agua (con y sin cloro residual)	86
7.2	Influencia del cloro con respecto a la <u>eficiencia</u>	88
7.3	Resultados con el uso de polímero aniónico comercial	96
7.4	Resultados del polímero catiónico comercial	98
7.5	Resultados del polímero no iónico comercial, en las pruebas de floculación	92
7.6	Resultados de prueba de floculación del <u>polímero</u> Zwitteriónico 1	96
7.7	Resultados del polímero Zwitteriónico 2	97
7.8	Resultados de pruebas de floculación del <u>polímero</u> Zwitteriónico 3	98
7.9	Resultados obtenidos para el polímero Zwitteriónico 1	103
7.10	Resultados de polímeros comerciales y Zwitteriónicos con dosis óptima y turbiedad constante	104
7.11	Comparación de los seis polímeros estudiados con turbiedad inicial fija de 80 NTU y dosis óptima	105
7.12	Otros parámetros	108
7.13	Resumen de pruebas de jarras con polímeros comerciales	109

LISTA DE TABLAS

No. Tabla	Resumen de pruebas de jarras con polímeros Zwitteriónicos	Pág.
7.14	Resumen de pruebas de jarras con polímeros Zwitteriónicos	110

1. RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio comparativo entre floculantes comerciales y floculantes poliméricos sintetizados en el Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. El objetivo comprendió investigar las estructuras más eficientes en el proceso de tratamiento de agua de la red (aerada y sin aerar), agua superficial (Dinamos) y aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Ciudad Universitaria.

Se presenta una explicación sobre lo que es el proceso de Coagulación-Floculación y la aplicación del mismo en el Tratamiento de Agua; así como los diferentes tipos de polielectrolitos, sus características y la aplicación de estos en el proceso de Coagulación-Floculación. Se realizó la Prueba de Jarras (experimento) y determinaciones de otros parámetros (turbiedad, oxígeno disuelto, dureza, sólidos en todas sus

formas, etc.) como medio de comparación entre los polímeros.

Se encontró que la eficiencia de los polímeros Zwitteriónicos es mejor que la de los polímeros comerciales en el rango de bajos valores del pH.

2. INTRODUCCION

Antecedentes

Los floculantes poliméricos que se utilizan en el tratamiento de aguas en su mayor parte están constituidos por poliacrilamidas, poliaminas o macromoléculas con grupos cuaternizados. La existencia de grupos cargados iónicos o catiónicos en las macromoléculas les imparten a éstas propiedades que inducen el proceso de floculación. Sin embargo, dentro de la clasificación general de polímeros iónicos, existen aquellos que poseen ambas cargas positivas y negativas unidas por enlaces covalentes y que se han denominado zwitteriónicos. En este estudio se estableció la conveniencia de desarrollar y probar este nuevo tipo de polímeros que recientemente empiezan a ser investigados a nivel internacional por sus diversas propiedades.

La investigación del comportamiento fisicoquímico de estos polímeros representa un campo muy amplio, de donde resulta importante la cuantificación de sus propiedades floculantes y la aplicación de los mismos en las plantas de tratamiento de agua.

Objetivos

Estudiar la eficiencia de nuevas estructuras poliméricas llamadas zwitteriónicas en el proceso de floculación, así, como el análisis comparativo con los floculantes comerciales que existen actualmente en el mercado.

Alcances

Por medio de este estudio se podrá deducir qué tipo de estructura química dentro de este nuevo tipo de floculantes es la apropiada para aplicaciones en el tratamiento de aguas, de tal forma que puede considerarse como una innovación tecnológica susceptible a ser producidos en el país y que puedan en ciertas aplicaciones desplazar a los productos comerciales que normalmente los producen compañías transnacionales.

3. COAGULACION - FLOCULACION

3.1 Teoría de Coagulación - Floculación

Las impurezas del agua varían en tamaño dentro de un rango muy amplio que puede cubrir seis órdenes de magnitud, desde unos cuantos ángströms para substancias solubles hasta cientos de micrones para materia en suspensión. La eliminación de una gran proporción de estas impurezas se lleva a cabo por sedimentación, en el tratamiento de agua y agua residual. Sin embargo, debido a que muchas de las impurezas no se comportan como partículas discretas es necesario optimar el proceso de sedimentación basado en la gravedad, induciendo la aglomeración de estas partículas en agregados de mayor tamaño y densidad que puedan ser decantables. Este mecanismo se inicia en la operación de mezclado rápido con agregación de productos químicos seguidos por mezcla lenta y es

aquí donde se efectúa el proceso de coagulación-floculación.

En el tratamiento del agua, se reserva el término "coagulación" para denominar el fenómeno de desestabilización de las partículas suspendidas o sea la disminución y tal vez hasta llegar a la anulación de las fuerzas que las mantienen separadas o que actúan sobre la parte hidrofílica de las partículas coloidales. Se efectúa generalmente por adición de reactivos químicos llamados coagulantes, los cuales logran su acción por medio de mecanismos de agregación o de adsorción. Dichos mecanismos consisten en una serie de reacciones físicas y químicas, entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. (CEPIS, 1973; Degremont, 1979).

El término de "floculación" se aplica al fenómeno por el cuál las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras aglutinándose en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. (CEPIS, 1973; Degremont, 1979). Como se mencionó, el paso inicial en el proceso de coagulación-floculación es la operación de mezclado rápido (también conocido como mezclado instantáneo). Durante este tiempo que generalmente es corto (menor a un minuto) el agente de coagulación se dispersa uniformemente en el agua a tratar, mediante un movimiento turbulento o agitación turbulenta. A la operación de mezclado rápido le sigue un periodo de agitación de

menor intensidad en el cuál, se promueve la aglomeración de partículas en flóculos de tamaño adecuado para la remoción efectiva posterior por sedimentación y filtración. (Letterman, et.al., 1978).

Algunos investigadores sugieren que la primera fase (coagulación) se completa en tan sólo unos segundos, mientras que la segunda puede continuar por horas (Argaman, 1971). Recientemente, se ha encontrado que existe un tiempo de mezclado rápido óptimo que es importante en la formación de flóculos; por lo que la función del mezclado rápido, es algo más que una simple dispersión del coagulante. (Letterman, et.al., 1973).

Un "flóculo" consiste de una pequeña cantidad de sólido de densidad considerablemente mayor que la del agua, y de gran cantidad de esta última. Debido a esto, la densidad del flóculo en sí es solamente un poco mayor que la densidad del agua y es inversamente proporcional a su tamaño.

Respecto a la forma de un flóculo, las observaciones revelan que cuando son partículas pequeñas parecen esferoides densos, mientras que cuando son grandes son de forma irregular y parecen ser solo aglomeración de las pequeñas partículas densas. (Reed, et.al., 1986). Las características más importantes para la sedimentación son tamaño, densidad y forma (Lag-

vanlat, et.al., 1968).

El mecanismo de la coagulación se puede explicar por el modelo de doble capa, que se basa en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión rodeados de una doble capa eléctrica que interaccionan con la fase acuosa; y la floculación se explica por el modelo del puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides (CEPIS, 1973).

Los contactos entre partículas al igual que la desestabilización de partícula, puede llevarse a cabo por los siguientes mecanismos:

1. Contacto por movimiento térmico, llamado movimiento browniano o difusión browniana.
2. Contacto resultante del movimiento de la masa principal del fluido, por ejemplo, por transporte inducido por agitación.
3. Contacto debido a la sedimentación de partículas (más correctamente, sedimentación diferencial) en la cual una partícula que sedimenta rápidamente, alcanza y colisiona con otra partícula que sedimenta lentamente. Los contactos producidos por movimiento térmico se denomina flocu-

lación pericinética y por movimiento de fluido, floculación ortocinética (Weber, 1984).

De acuerdo a lo anterior, la floculación se divide en dos tipos: la ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias). En este tipo, el transporte de partículas se realiza en el líquido por el gradiente de velocidad. El segundo tipo es la pericinética, el cual se promueve internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquél (movimiento browniano) y por la gravedad o peso de las partículas que al caer tienden a aglomerarse, y se realiza en un tiempo muy corto después de desestabilizada la partícula.

3.1.1 Doble Capa

En coagulación, para explicar el modelo de la doble capa, existen tres teorías:

- I. Helmholtz
- II. Gouy-Chapman
- III. Stern.

La teoría de Helmholtz supone que acuden a la superficie del coloide todos los iones positivos del medio dispersante que

son necesarios para neutralizar su carga, por lo que se forma una capa adherida alrededor de él, de potencial q . Figura 3.1a.

Por otra parte Gouy y G Chapman demostraron que la teoría de Helmholtz no es válida, ya que la agitación térmica del líquido tiende a separar las contracciones de la superficie del coloide y a formar una capa difusa alrededor de ella, en la que el potencial disminuye lentamente prolongándose hasta una cierta distancia x dentro del líquido que lo rodea, Figura 3.1b.

La teoría de Stern demostró la necesidad de coexistencia de las dos teorías: la de Helmholtz y la de Gouy-Chapman; por lo que la nueva teoría considera la formación de una capa adherida y una capa difusa alrededor del coloide. El potencial q disminuye, cae rápidamente en la capa adherida y más lentamente en la capa difusa. Figura 3.1c.

La capa difusa recibe el nombre de "Capa de Gouy" o "Gouy-Chapman", y su espesor x (teóricamente infinito) puede ser de terminado prácticamente.

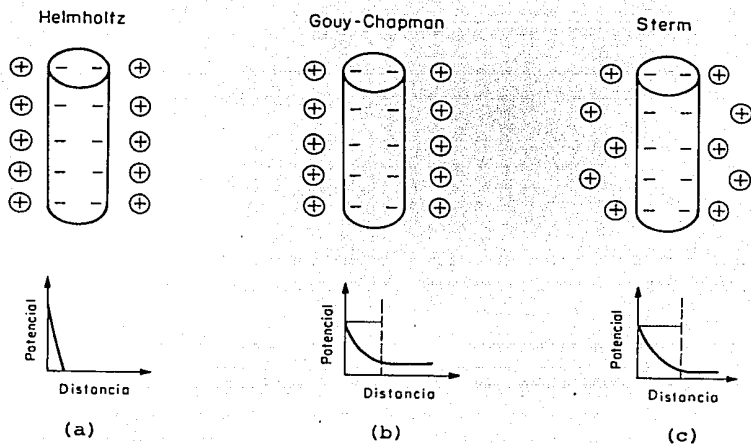


Figura 3.1. Modelos de la Doble Capa

La capa adherida es llamada capa de Stern, por transportarse con la partícula se puede considerar como parte de la carga del coloide. El espesor del doble lecho en comparación con su diámetro es muy pequeño, del orden de centésimas de micrones. (CEPIS, 1973).

En conclusión las partículas coloidales (ejemplo arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, etc.), pueden adquirir por varios caminos una carga eléctrica. El signo de esta carga primaria puede ser positiva o negativa, aunque la mayor parte de coloides de las

aguas y aguas residuales municipales adquieren una carga primaria negativa. El signo y magnitud de esta carga primaria es frecuentemente efectuada por el pH y el contenido iónico de la fase acuosa.

En una dispersión coloidal existen una fase sólida y una fase acuosa en contacto que no poseen una carga eléctrica neta.

La carga primaria de las partículas se equilibra con la de la solución acuosa. Por lo anterior existe una doble capa eléctrica en cada interfase entre un sólido y el agua, la cuál está formada por la partícula cargada y un exceso equivalente de iones de carga opuesta que se acumulan en el agua cerca de la superficie de la partícula (Weber, 1984).

3.1.2 Potenciales del Coloide

Existen tres potenciales característicos y muy definidos en un coloide: (ver figura 3.2)

- Potencial de Nerst o potencial ψ , que existe en la superficie del coloide.
- El potencial que existe en la superficie interior de la doble capa, donde da comienzo la parte difusa o potencial ϕ .

- Y el potencial zeta que es el que existe en la superficie del plano de cizalla y es el más importante en la coagulación.

Se dá el nombre de plano de cizalla al que separa la sección de la capa que se mueve con la partícula formando parte integral de ella del resto de la dispersión, y se encuentra en algún punto entre la superficie interior y la superficie exterior de la doble capa.

Como no es posible, separar el coloide de los contraiones que lo rodean, el único potencial que se puede determinar con más o menos presición es el potencial zeta (CEPIS, 1973).

Para estimar el potencial en la superficie del conjunto partícula-contraiones, que se transportan unidos dentro del líquido cuando se les somete a un campo eléctrico, se mide el desplazamiento diferencial y se calcula el potencial en el plano de cizalla o potencial zeta, que será inferior al de Stern. Este último define el potencial zeta como el existente al comienzo de la parte difusa en este caso ϕ .

Para determinar el potencial zeta se utilizan las siguientes mediciones electrocinéticas:

. La Electrofóresis

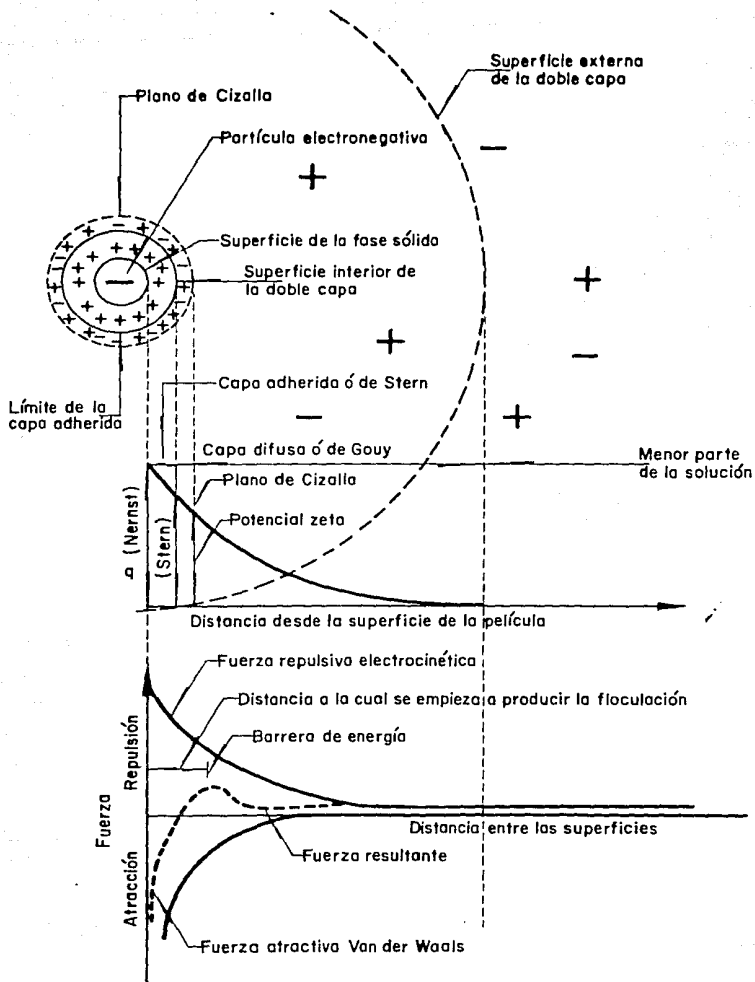


Fig 3.2. Potenciales del Coloide

- La Electroósmosis
- El potencial de corriente.

Estas mediciones se esquematizan en la figura 3.3.

La diferenciación de éstas esta hecha por Vold y Vold de la siguiente manera:

Si las partículas coloidales se mueven en un campo eléctrico, llevando parte de la doble capa consigo, existe en esta situación lo que se define como electrofóresis. Si la superficie cargada se mantiene quieta, como por ejemplo la pared de vidrio de la celda, la aplicación de un campo eléctrico en la suspensión hará que los contraiones cerca de la pared se muevan, arrastrando con ellos el líquido; ésto se define como electroósmosis. Igualmente, si el líquido que contiene contraiones se difunde a través de un tapón poroso y éste desarrolla una diferencia de potencial entre los dos lados del tapón, a esta diferencia se le define como potencial de corriente.

La electrofóresis es el procedimiento más empleado para medir el potencial zeta. Se hace básicamente en dos formas: con el Zeta Meter y con la Celda de Briggs.

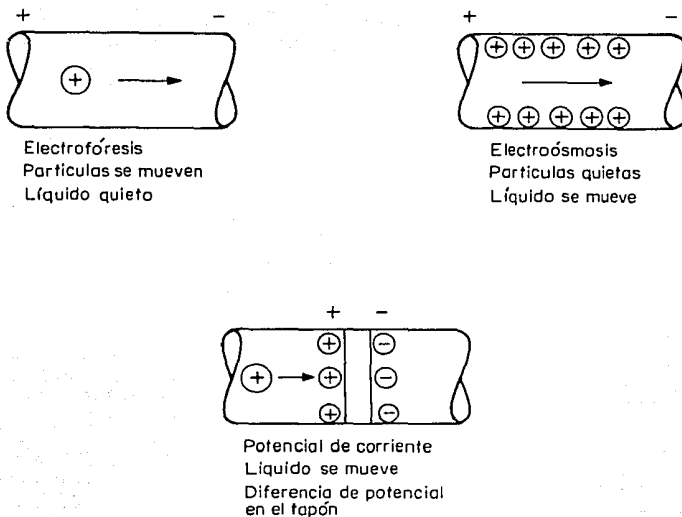


Figura 3.3. Mediciones Electrocinéticas

De acuerdo a las referencias bibliográficas existen tres definiciones de potencial zeta:

1. Johnson y Alexander definieron el potencial zeta como la energía que se requiere para traer una carga unitaria desde el infinito hasta el plano de cizalla.
2. Stern definió el potencial zeta como el existente al comienzo de la parte difusa.

3. Helmholtz asimila la teoría de la doble capa, siendo así que el potencial zeta es el que se forma al tener dos cargas iguales y opuestas separadas por un espesor, δ .

Por lo anterior, el potencial zeta se presenta en la doble capa y está formado por dos cargas iguales y opuestas que constituyen la doble capa en sí misma (Weber, 1984; CEPIS, 1973).

3.1.3 Modelos de Coagulación

Para que un coloide flocule, es decir se aglutine con otros, es necesario que las partículas se aproximen a una distancia menor que la que existe entre el centro del coloide y la barrera de energía.

La barrera de energía es una cresta resultante dada por la fuerza atractiva de Van der Waals y la fuerza repulsiva electrocinética, que es la marcada por la línea de puntos en la figura 3.2.

La ubicación de la barrera de energía varía con el pH.

Por otra parte, los coloides se aproximan a distancia menor que la de la barrera de energía, cuando el potencial zeta baja hasta un punto llamado "punto isoeléctrico", el cual se logra si:

- . Se neutraliza la carga q .
- . Se comprime el espesor de la capa de Gouy-Chapman

incrementando el número de iones en solución.

3.1.3.1 Modelo Físico

- Coagulación por neutralización de la carga

La neutralización de las cargas de coloides puede hacerse por:

- . Cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide.
- . Por la adsorción de iones que posean una carga opuesta a las de los iones determinantes del potencial, y que sean capaces de remplazar a éstos en la capa de Stern.

A este tipo de coagulación se le considera como el mecanismo de interacción de la superficie específica.

- Coagulación por compresión de la doble capa

Al incrementar la concentración del electrolito se incorporan contraiones en la capa difusa o de Gouy-Chapman, con lo cual disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo

la eliminación de la barrera de energía. Por esta razón, la adición de una sal neutra (electrolito indiferente) no cambia el potencial del coloide pero altera la forma de la curva de las fuerzas coulombicas, disminuyendo la distancia del espesor de la capa de Gouy-Chapman hasta un valor en el cual son efectivas.

Esta coagulación es considerada como el mecanismo de reducción de la interacción de la doble capa.

Puesto que existe una línea de demarcación precisa entre coagulación por neutralización de la carga y la coagulación por compresión de la doble capa, ambos mecanismos pueden actuar simultáneamente para promover la desestabilización de las partículas. Sin embargo la reducción del espesor de la doble capa es más importante que la reducción del potencial zeta hasta el punto isoeléctrico.

La concentración de electrolito necesaria para realizar la coagulación depende de la carga de los iones, de acuerdo con la ley de Schulze-Hardy. Esta expresa que: la precipitación de un coloide se efectúa por aquel ión del electrolito añadida que tenga una carga opuesta en signo a la de las partículas coloidales y el efecto de dicho ión se incrementa cuanto mayor sea el número de cargas que posea.

De acuerdo con esta ley, se ha encontrado que un ión bivalente es de 30 a 60 veces más efectivo que un ión monovalente, y un ión trivalente, de 700 a 1000 veces más efectivo que un ión monovalente.

Del modelo físico de la coagulación, tal como se ha explicado, se deducen los siguientes principios:

- Existe una concentración crítica de coagulación (CCC) que debiera alcanzarse cuando los coloides disminuyen su potencial hasta el punto isoeléctrico.
- La concentración crítica de coagulación (CCC) debe ser independiente de la concentración de la fase dispersa o concentración de sólidos floculables en el agua.

El número de contraiones que se requiere para neutralizar las cargas existentes en la superficie de las partículas, depende de la valencia de los productos que se formen de acuerdo con la regla de Schulze-Hardy. Según esto no debería haber una relación cuantitativa (estequiométrica) entre cantidad de coagulantes y turbiedad del agua.

El exceso de coagulantes agregados al agua, no puede producir desestabilización de las partículas ya que los coloides no adsorben más contraiones de lo que su carga primaria lo permi

te.

Sin embargo, la concentración crítica de coagulante (CCC) se alcanza con valores cercanos al punto isoeléctrico como regla general, pero no necesariamente cuando el potencial zeta es cero, lo cual contradice la primera hipótesis. Por otro lado, a mayor turbiedad, no siempre se requiere mayor cantidad de coagulantes, y ésto contradice la segunda hipótesis. Así mismo, si se agrega un exceso de coagulantes, la coagulación no se efectúa o se realiza pobremente porque los coloides pueden reestabilizarse, lo que contradice la tercera hipótesis. Por lo tanto el modelo físico de la coagulación no explica la totalidad del fenómeno, y es necesario recurrir a un modelo químico como modelo complementario.

3.1.3.2 Modelo Químico

Este considera que la carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización directa de los grupos químicos presentes en la superficie de ellas, tales como hidróxidos, carboxilos, fosfatos o sulfatos, y que la precipitación de los coloides se realiza por reacción de estos grupos con los iones metálicos polivalentes agregados con los coagulantes. Por esto, el efecto desestabilizante de ciertos iones se interpreta más en términos de interacción química, que exclusivamente en términos de adsorción de contraiones en la doble

capa, como lo hace el modelo físico.

La repulsión electrostática puede disminuir, pero no necesariamente eliminar la adsorción de un ión en la superficie de un electrodo que tiene una carga similar. De donde se deduce que la contribución química de la adsorción de iones, puede ser mayor, a veces, que la contribución electrostática.

Por otra parte, la desestabilización de los coloides, producida por los compuestos poliméricos que se forman en la coagulación o por polímeros como los polielectrolitos, no puede explicarse con el modelo de la doble capa.

La Mer propuso, para esto, la teoría del puente químico. Esta supone a la molécula del polímero adherida a la superficie del coloide en uno o más sitios de adsorción, dejando libre, extendida en el solvente el resto de la cadena, la cual puede adherirse de nuevo a otros coloides en sitios de adsorción vacantes. Se forma así un puente químico entre las partículas, que permite el incremento del tamaño de éstas y promueve su eventual precipitación.

La Mer (1963) concluye que:

- a) Cuando el polímero no es adsorbido, el flóculo se desintegra espontáneamente y el número de partículas sin flo

cular se aproxima a cero.

- b) Cuando la superficie está totalmente cubierta no se pueden formar puentes y el número de partículas sin flocular también se aproxima a cero.
- c) En cambio, cuando la fracción de superficie cubierta es casi la mitad y a su vez la mitad de la superficie de los coloides está cubierta por los segmentos poliméricos, el flóculo tiene la máxima estabilidad.

Esto explica el hecho de que la coagulación sea leve o no se produzca cuando se agrega un exceso de polímeros. Pues, en este caso, todos los sitios de adsorción pueden quedar cubiertos, lo que reestabiliza las partículas sin que tal cosa signifique reversión del potencial zeta.

Por otra parte, dentro de determinadas condiciones, una suspensión desestabilizada puede estabilizarse de nuevo si es sometida a una agitación violenta, puesto que las partículas llegan a quedar totalmente cubiertas por el polímero, al doblarse las cadenas poliméricas sobre si mismas y ocupar otros sitios en el mismo coloide al cual se han adherido.

El modelo del puente químico, también explica la relación (estequiométrica) que existe entre la cantidad de superficie dis

ponible o cantidad de coloides y la cantidad de coagulantes agregados. Además se puede comprender el hecho de que en muchos casos se obtenga coagulación óptima con polímeros que tienen una carga similar a la de los coloides.

O'Melia (1969; 1970) concluye, de la teoría del puente químico: "Aunque el modelo del puente químicos ignore el efecto de las cargas eléctricas, explica la estequiometría y la sobredosis. La desestabilización de las partículas coloidales por sales de Fe^{3+} y Al^{3+} como coagulantes, no se puede describir en forma completa por ninguno de estos dos modelos, sin embargo, la comprensión del proceso de coagulación-flocuación empieza con la comprensión de ambos modelos:".

3.2 *Coagulantes*

Los coagulantes se clasifican en dos grandes grupos: el primero, los ayudantes de coagulación y el segundo, los coagulantes metálicos.

3.2.1 Ayudantes de Coagulación

Los ayudantes de coagulación, también llamados floculantes, ayudantes de floculación e incluso ayudantes de filtración, son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones.

Estos se clasifican por su origen, en sintéticos o naturales; por su naturaleza, en mineral y orgánica; y por el signo de su carga eléctrica, en aniónicos, catiónicos y no iónicos.

Como ejemplo de productos de origen natural mineral se tiene a la sílice activada y de origen natural orgánico a los almidones y alginatos. Los productos sintéticos se caracterizan por polímeros de alto peso molecular denominados polielectrolitos.

Los floculantes orgánicos se fabrican a partir de productos naturales como los alginatos de extractos de algas, almidones de extractos de granos vegetales, derivados de la celulosa, ciertas gomas, etc. Los más comunes y representativos de este grupo son los alginatos, los que se obtienen a partir del ácido algínico, el cuál, se extrae de algas marinas, en especial, del género laminaria.

Los alginatos son utilizados especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas, y a veces dan resultados buenos con sales de aluminio. Se emplean, principalmente en el tratamiento de aguas para abastecimiento público y esta autorizado en todos los países.

La sílice activada fue el primer floculante que se empleo, y sigue siendo en la actualidad el más empleado. Produce bue-

nos resultados, principalmente si se utiliza junto con sulfato de alúmina en el tratamiento de agua potable.

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 en el momento. Durante mucho tiempo se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio, hasta el reciente desarrollo de los polielectrólitos (Degremont, 1979).

3.2.2 Coagulantes Metálicos

Existe una gran variedad de coagulantes metálicos, los cuales de acuerdo a su empleo los podemos clasificar en tres tipos:

- . Sales de Aluminio
- . Sales de Hierro
- . Compuestos varios. (CEPIS, 1973).

La acción coagulante de estas sales es el resultado de la hidrólisis que sigue a su disolución, sin llevar inmediatamente a la formación del hidróxido. Para este tipo de coagulantes, es preferible que el pH se mantenga dentro de la zona correspondiente al mínimo de la solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. (Degremont, 1979).

Coagulación con sales de aluminio

Las sales de aluminio forman un floculo ligeramente pesado. Los más conocidos de éstas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio.

El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo, se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable. (CEPIS, 1973).

Para las sales de aluminio, el mínimo de iones Al^{3+} permanece en solución a un pH comprendido entre 6.0 y 7.4, fuera de este margen, y según la mineralización del agua, existe el riesgo de encontrar en solución una proporción considerable de aluminio libre.

En ciertos casos excepcionales, el agua a tratar contiene gran cantidad de materias ricas en compuestos aluminicos. Una simple elevación del pH provoca la coagulación de estos compuestos.

Los compuestos intermedios del aluminio, complejos hidróxido-aluminosos, no sólo aportan las cargas necesarias para la neutralización de los coloides, sino que, según ciertos autores, pueden polimerizarse, y por lo tanto, crear puentes entre los coloides minimizando el proceso de floculación, (Degremont,

1979).

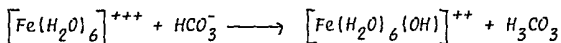
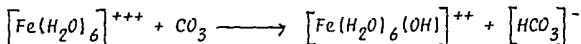
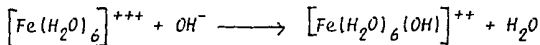
Coagulación con Sales de Hierro

Las sales de hierro tienen ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un flóculo más pesado y de mayor velocidad de asentamiento, y porque pueden trabajar con un rango pH mucho más amplio.

Los más conocidos de las sales de hierro son: el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.

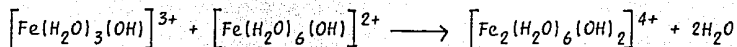
La química de la coagulación con sales de hierro es bastante similar a la del $Al(III)$. El $Fe(III)$ en solución acuosa está hidrolizado $[Fe(H_2O)_6]^{+++}$ y al ser agregado al agua reacciona, primero con la alcalinidad $(OH)^-$, $(CO_3)^-$, $(HCO_3)^-$ y luego con la molécula de H_2O .

Las reacciones con la alcalinidad son de este tipo:



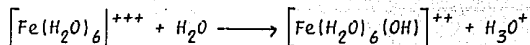
El $[Fe(H_2O)_6(OH)]^{++}$ se hidroliza formando sucesivamente $[Fe(H_2O)_4(OH)_2]^+$ y $Fe(OH)_3(H_2O)_3$. La reacción de estos pro-

ductos monoméricos entre sí, crea productos poliméricos.



Esta reacción continúa con el tiempo, hasta llegar como producto final, a un hidróxido de hierro neutro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o negativo $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$.

Las reacciones del $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ con la molécula de H_2O son también del tipo ácido-base como las del $\text{Al}(\text{III})$ y pueden escribirse así:



Al igual que la reacción con la alcalinidad el $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})]^{++}$ se hidroliza hasta formar hidróxidos neutros o negativos y se polimeriza. El descenso del pH cuando no hay alcalinidad, es también más pronunciado debido a la formación de ácidos fuertes (H_3O^+) que cuando ésta se halla presente (formación de ácidos débiles).

La composición de las diferentes especies de productos de hidrólisis, que existen en equilibrio con hidróxido de hierro recién precipitado, depende del pH.

Para las sales de hierro, la zona de pH es mucho más amplia que para las sales de aluminio. Se alcanza el mínimo de solubilidad cuando el pH es superior a 5.

4. PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

4.1 *Secuencia del Tren de Tratamiento*

El proceso de coagulación en una planta de tratamiento de agua consta de dos etapas principales: la primera química y la segunda física.

El agua a tratar entra (1) a un tanque de mezclado rápido, donde son agregadas las sustancias químicas (8); coagulantes y floculantes. El mezclado se realiza de 100 a 130 RPM durante un lapso muy corto de tiempo (menor a un minuto). En esta primera etapa se lleva a cabo la desestabilización química de la solución acuosa.

El agua que sale del tanque de mezclado rápido entra (2) a

un tanque de mezclado lento, llamado "floculador"; el cuál puede ser de tipo hidráulico, mecánico o helicoidal. Aquí, el agua es agitada muy suavemente, de 15 a 30 RPM durante un período de 30 a 45 minutos, logrando así una suave colisión física de partículas con el fin de lograr la formación de flóculos de tamaño considerable.

En este punto se concluye el proceso de coagulación en una planta de tratamiento de agua.

Del tanque de mezclado lento la solución (3) pasa al sedimentador de alta tasa o clarificador, de donde salen dos líneas: una la purga de lodos (5) y otra (4), que va directamente a un filtro de arena.

Del filtro de arena salen dos corrientes: una recirculación (7) hasta la línea de alimentación (1) de agua que debe de recircularse, y otra línea (6) que va a desinfección con cloro.

En el siguiente diagrama de bloques (fig 4.1) se muestra la secuencia de los procesos en una planta de tratamiento de agua potable convencional. (Sanks, 1980).

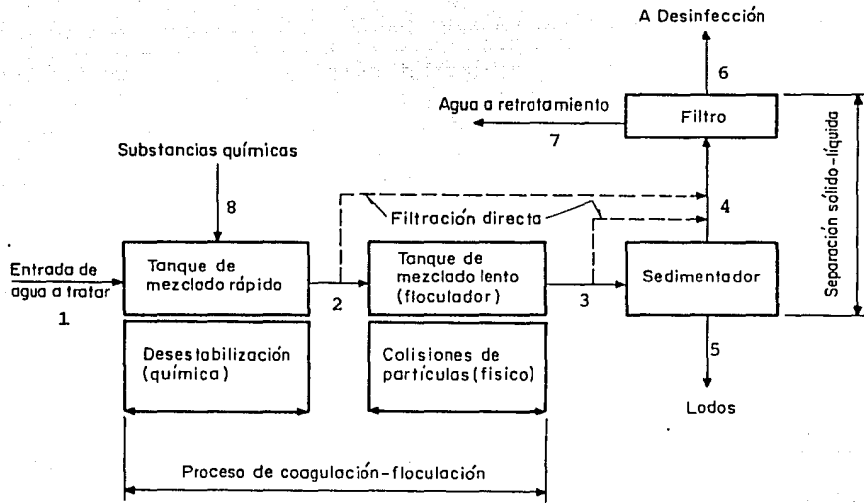


Fig 4.1. Diagrama esquemático del proceso de Coagulación-Floculación en una Planta de Tratamiento de Agua.

4.2 Aplicaciones en Tratamiento de Agua

El proceso de coagulación-floculación se utiliza tanto en la planta de tratamiento de agua potable como en el proceso de agua residual según los siguientes puntos:

- . Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- . Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación (clarificación de aguas de desecho).
- . En aguas de desecho del procesamiento de minerales.
- . En aguas de desecho de fabricación de papel.
- . Procesos de deshidratación de lodos.
- . Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos en otros.
- . Remoción de color verdadero y aparente. (CEPIS, 1973).

4.3 Parámetros de diseño

4.3.1 Floculación Ortocinética y Gradiente de Velocidad

En las plantas de tratamiento de agua la floculación es tanto pericinéctica como ortocinéctica, siendo esta última la que se considera en el diseño de floculadores.

La floculación pericinéctica se genera por las colisiones debidas al movimiento browniano; sin embargo, la floculación natural es un proceso demasiado lento, dado que cuando se forma una partícula de tamaño considerable ésta se sedimenta y ya no es capaz de tener colisiones subsecuentes. Por esta razón carece de importancia en el tratamiento de agua. (Cornwell, et.al., 1983).

La floculación ortocinéctica, es creada en el líquido por el gradiente de velocidad inducido por energía mecánica o hidráulica causando el movimiento de las partículas a diferentes velocidades, aumentando por lo tanto la probabilidad de colisión. (Orta, et.al., 1988).

Dichos gradientes de velocidad G , son una medida de intensidad de agitación que se provee al sistema y deben de escogerse adecuadamente: no tan altos para evitar que el floculo se rompa y destruya, y a la vez no tan bajo para evitar su sedi-

dimentación.

El gradiente de velocidad en mezcladores rápidos se calcula a partir de la potencia disipada por unidad de volumen

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu}}$$

donde

P = potencia en la unidad de volumen

μ = viscosidad absoluta,

cuando μ en poises y P en gr-cm/seg-cm³.

Para homogenizar unidades es necesario un factor de conversión, por lo cual nuestra fórmula queda como:

$$G = \sqrt{\frac{981 P}{\mu}}$$

En términos prácticos, generalmente, el gradiente G promedio en los floculadores hidráulicos varía entre 10 y 100 seg⁻¹ y más frecuentemente entre 30 y 60 seg⁻¹.

El tiempo para la formación del flóculo está íntimamente relacionado con el gradiente de velocidad. (Camp, 1968).

Como ejemplo, se tiene la siguiente tabla:

Tiempo de mezcla rápida (minutos)	G_{-1} (seg^{-1})	Tiempo para iniciar la formación del floculo (minutos)
2	12,500	más de 45
2	10,800	30
2	4,400	10

4.4 Tipos de Floculadores

La palabra mezclado o mezcla rápida describe la operación de revolver, combinar o incorporar los productos químicos o materiales coagulantes con el agua o agua residual, con el fin de crear un sistema homogéneo en fase simple o múltiple. En cambio la agitación lenta o floculación describe la alteración de la trayectoria del fluido en una forma mecánicamente ordenada, con el propósito de efectuar una redistribución mecánica de las partículas por efecto de la turbulencia producida y por lo tanto inducir el crecimiento del floculo.

Los dispositivos para mezcla y agitación lenta generalmente aprovechan las fuerzas gravitacionales, neumáticas y mecánicas. En general, los dispositivos mecánicos y neumáticos son relativamente flexibles en cuanto a la alimentación de potencia; los dispositivos gravitacionales, relativamente inflexibles. Debido a ello, estos últimos raras veces se incluyen en plantas grandes, aún cuando pueden poseer algunas

características muy útiles. (Fair, et.al., 1976).

Resumiendo, la agitación del agua por medios mecánicos presenta una alternativa a los inconvenientes de otros sistemas, todos los cuales incluían al menos alguna de las siguientes desventajas:

- Costo inicial alto
- Falta de flexibilidad
- Inadaptabilidad a todas las condiciones de trabajo
- Falta de uniformidad de métodos (Mhaissalkar, et.al., 1986).

4.4.1 Floculadores Gravitacionales. Floculadores Hidráulicos

Se describirán y analizarán solamente los dispositivos más empleados en las plantas de tratamiento de aguas que son los floculadores hidráulicos. Estos floculadores derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. En la fig 4.2 se muestra su configuración en donde se aprecia que esta formado por tres cámaras comunicadas, las cuales constan de tabiques o mamparas espaciadas. Los más comúnes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical.

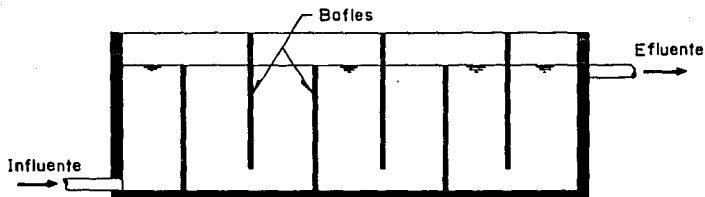


Fig 4.2. Tanque de Floculación Hidráulico

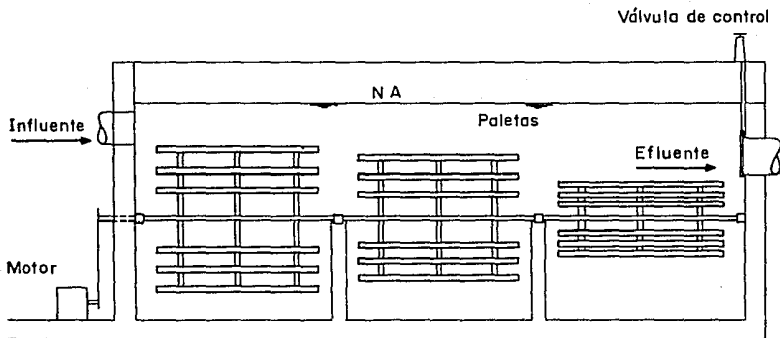


Fig 4.3. Tanque de Floculación Mecánico

En ambos casos se produce una pérdida de carga:

- Por el cambio de dirección y turbulencia
- Por ensanchamiento y contracción de la sección
- Por la fricción en los tramos rectos.

En la práctica, las pérdidas de carga se encuentran, por lo general, entre 0.5 y 2 ft (15.2 y 61 cm), las velocidades

varían de 0.5 ft/s a 1.5 ft/s (15.2 a 45.5 cm/s) y los tiempos de retención van de 10 a 60 minutos.

Las principales desventajas de este tipo de floculadores son:

- Falta de flexibilidad. Al haber una sección constante en los canales, no se puede variar el gasto de la planta sin que varíe la velocidad de flujo.
- Hay alta pérdida de carga.
- El costo de construcción puede ser alta.

Sin embargo, el floculador hidráulico tiene una serie de ventajas que no deben subestimarse:

- No tienen zonas muertas, esto es, el flujo queda retenido durante un tiempo casi igual al periodo de detención normal.
- No tiene partes móviles, de forma que su operación y mantenimiento son más simples que en los equipos mecánicos.
- No requiere consumo externo de energía, lo que es una ventaja cuando el flujo llega por gravedad a la planta.

Esto hace especialmente atractivos a los floculadores hidráulicos en países no industrializados como México, en donde la mayoría de las plantas potabilizadoras los usan.

4.4.2 Floculadores de Flujo Helicoidal

Son muy poco usados. En estos floculadores el flujo sube y baja, entra en la celda por dos orificios diametralmente opuestos, creando un par mecánico que imprime un movimiento de rotación a la masa líquida. El tiempo de retención es muy corto. Recientemente en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se hizo una investigación sobre este tipo de unidades. Poco o nada es lo que se conoce en forma científica de este tipo de floculadores.

4.4.3 Floculadores Mecánicos

Los impulsores empleados en estos floculadores generan tanto flujo de masa como turbulencia. Los que más se usan son paletas, turbinas y hélices o propelas.

4.4.3.1 Floculadores de Paletas

Constan de un sistema de paletas adheridas a un eje horizontal o vertical, el cuál gira impulsado por un motor eléctrico desplazando el agua y produciendo un trabajo. Los agita-

dores pueden tener dos, tres o cuatro brazos, y en cada brazo puede haber dos, tres o más paletas o travesaños unidos por una pieza central al eje. Pueden colocarse perpendicular a la dirección del flujo o paralelo a éste.

Las paletas constan de hojas sujetas directamente por flechas verticales u horizontales las hojas móviles (rotores) pueden complementarse mediante paletas estacionarias (estatores) que se oponen al movimiento rotativo de la masa global de agua dentro de la unidad de tratamiento y ayudan a suprimir la formación de vórtices. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas de 2 a 15 RPM. Las corrientes generadas por ellas son tanto radiales como tangenciales. (Ver figu 4.3).

4.4.3.2 Floculadores de Turbina

Estos floculadores son más compactos y pueden generar mayor energía cuando son operados a alta velocidad. Esencialmente consisten de un eje en el cual va colocada una serie de discos giratorios provistos de aletas. La velocidad de rotación es mayor que en los floculadores de paletas y tienen por eso menor tendencia a comunicar un movimiento de rotación a la masa de agua. Son por lo común de menor costo y pueden acomodarse en tanques alargados.

La única forma de variar la energía comunicada al líquido es

variando la velocidad de rotación del eje.

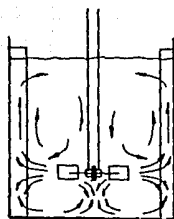
Las turbinas se componen de hojas planas o curvas conectadas mediante un brazo radial a una flecha vertical u horizontal. Operando en el rango medio de velocidades, (de 10 a 150 rpm) generan casi la misma clase de corrientes que las paletas.

Las hélices tienen una forma similar a la de los buques. Su velocidad es alta, de 150 a 1500 rpm o más. Se emplean frecuente y principalmente como mezcladores rápidos.

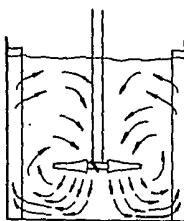
Los mezcladores mecánicos, como ya se mencionó antes, cuentan con impulsores o paletas. Estos se dividen en dos clasificaciones generales: los de flujo axial y los de flujo radial.

En estos últimos, el líquido se descarga de los impulsores en ángulo recto hacia el eje y a lo largo del radio. En los de flujo axial, el líquido entra al impulsor y se descarga de él paralelo al eje, como se ve en la figura 4.4. (Cornwell, et. al., 1983).

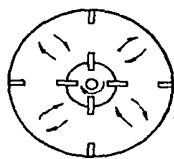
El principal defecto de los floculadores mecánicos es la facilidad con que se producen zonas estancadas que disminuyen la eficiencia del proceso.



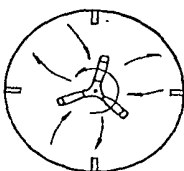
Vista lateral



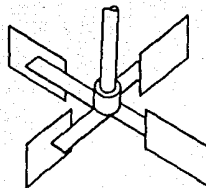
Vista lateral



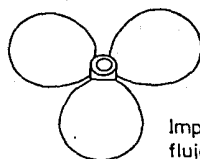
Vista de fondo



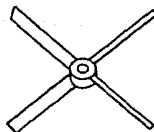
Vista de fondo



Turbina de flujo radial



Impulsor de flujo axial



Turbina de flujo axial

Fig 4.4. Impulsores

4.4.3.3 Floculadores con Agiradores Reciprocantes

El uso de estos floculadores es menos común que el de los floculadores con agitadores giratorios.

Los agitadores reciprocantes consisten esencialmente de una parrilla, serie de parrillas o cintas colocadas en un balancín de modo que se desplazan verticalmente hacia arriba y hacia abajo dentro del agua, comunicando un movimiento de agitación al líquido. (CEPIS, 1973; Fair et.al., 1971).

5. POLIELECTROLITOS

5.1 Características

Los polielectrólitos son una serie de compuestos orgánicos muy variados en su estructura química, como los derivados del almidón y la celulosa, materiales proteínicos y otros muchos, que se producen en forma sintética.

Químicamente, son polímeros de alto peso molecular (10^4 - 10^7) con un gran número de sitios activos que tienen cargas en sus cadenas orgánicas, que pueden ser lineales o ramificados, compuestos de un solo tipo de monómero o de varios tipos; pero, en todos los casos, forman macromoléculas de tamaño coloidal.

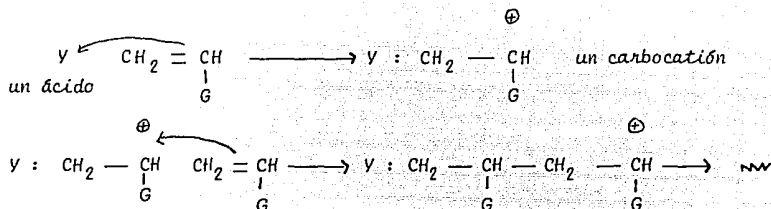
Los polielectrólitos se clasifican de acuerdo con su carga en aniónicos y catiónicos, si los grupos ionizables que poseen

son negativos o positivos.

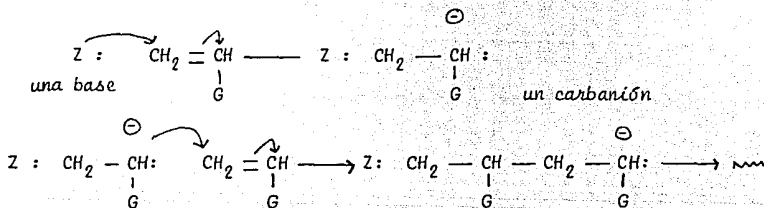
5.2 Polimerización Iónica

La reacción de polimerización en cadena puede proceder con iones como partículas propagadoras de la cadena: éstas pueden ser cationes o aniones, y del tipo de iniciador empleado.

Polimerización catiónica



polimerización aniónica



G: grupo funcional

⋯: repetición en cadena

Como puede verse, la polimerización catiónica se inicia por un ácido, mientras que la polimerización aniónica se inicia con bases.

A partir de los años 60's, se han desarrollado catalizadores que permiten un control completo del proceso de la polimerización.

5.3 *Aplicación en tratamiento de agua*

La capacidad de un polielectrólito para actuar como floculante depende de su afinidad para enlazarse a la superficie de las partículas coloidales. Por esta razón, en muchos casos estos materiales son bastante específicos. Los enlaces se pueden formar entre grupos funcionales particulares del polímero y lugares específicos de la superficie coloidal. Otros parámetros importantes que afectan al rendimiento de un determinado polímero son su peso molecular y el grado de ramificación. (Weber, 1984).

Las características de la solución son importantes; en particular, el pH del sistema que afecta a la carga del polielectrólito.

Es importante señalar que los polielectrólitos, pueden ser ineficaces para aguas de baja turbidez, es decir aguas con

concentraciones bajas de partículas coloidales. Esto se debe probablemente a una baja velocidad de contacto entre partículas en estos sistemas, aunque pueden estar implicados otros fenómenos.

Por otra parte desde inicios de 1970, se reporta en la literatura el uso de polímeros orgánicos como coagulantes y ayudantes de coagulación para el tratamiento de aguas de baja turbiedad, de aquí se concluye que su uso y optimización dependen de la calidad o características del agua a tratar. (Weber, 1984).

La ventaja de los polielectrolitos radica en que cuando las partículas no pueden aproximarse por las fuerzas de repulsión creadas por la doble capa, la gran longitud de las cadenas poliméricas, permite unir los coloides entre sí por energía química. Esta reacción es generalmente muy rápida, del orden de 10 seg y con adsorción del 85 por ciento del polímero.

La cantidad de polielectrolito que se usa es por lo común muy pequeña (entre 0.01 y 1.0 mg/lt) lo que compensa un poco por su precio, que es alto. Los polielectrolitos sintéticos, sin embargo, rara vez se usan solos, sino en combinación con coagulantes metálicos.

El uso de bajas dosis está basado en la cantidad tan enorme de segmentos que ellos poseen, (Carns, et.al., 1985) y con la condición principal de que todo el polímero debe reaccionar y removerse durante la filtración.

Generalizando el comportamiento de polielectrólitos, se desprenden las siguientes conclusiones prácticas:

- a) Los polielectrólitos usados en unión de coagulantes metálicos comunes, producen un flóculo que sedimenta rápidamente.
- b) Con ciertas aguas, la dosificación de polielectrólitos en pequeñas cantidades reduce el gasto de coagulantes.
- c) Las algas son rápidamente coaguladas con polielectrólitos catiónicos.
- d) Los polielectrólitos pueden actuar como ayudantes de coagulación y como coagulantes.
- e) Todos los polielectrólitos no son coagulantes efectivos con todas las aguas.
- f) Dosis excesivas de polielectrólitos producen dispersión en lugar de ayudar a la coagulación.

- g) Los polielectrólitos deben añadirse en forma de solución diluida para asegurar una mezcla completa. (CEPIS, 1973).

5.3.1 Eficiencia

La efectividad de un floculante polimérico está influenciada por varios factores que pueden agruparse en las siguientes categorías: variables del sistema, parámetros relacionados con el polímero y factores operacionales.

Las variables del sistema son: la carga de la partícula, el tamaño de ella y la composición de los sólidos. Los parámetros relacionados con el polímero incluyen la química del floculante y sus características estructurales. Los factores operacionales cubren la importancia que tienen las condiciones requeridas de los lodos y la adición del floculante al sistema.

5.3.2 Variables del Sistema

Carga de la partícula. La naturaleza y magnitud de la carga, determinan la cantidad y el tipo de floculante necesario para satisfacer la carga demandada por el sólido. En condiciones normales, la mayoría de los coloides encontrados en desechos de agua residual tienen carga negativa.

Tamaño de la partícula. El tamaño es el factor más importante que influencia la sedimentación. Partículas muy finas causan turbidez y pueden obstruir el medio filtrante. Además, el consumo de floculante se relaciona directamente al área superficial del coloide.

Concentración de sólidos. La concentración mayor de sólidos incrementa la interacción entre partículas y en general se obtienen buenos resultados a bajas dosis del polímero.

Composición de sólidos. Cada agua a tratar es única, por lo que la efectividad de un polímero no puede generalizarse. Por ejemplo, iones de cobre en exceso de 100 mg/l son tóxicos e inhiben un sistema biológico. (Rey, et.al., 1986).

5.3.3 Factores operacionales

El tipo de equipo y la carga son hechos reales que influyen para cada planta en particular y contribuyen a la singularidad del sistema.

Aplicación del polímero. La aplicación correcta para una mayor eficiencia en el uso del polímero puede resumirse como sigue: 1) La buena floculación depende de la difusión adecuada del polímero a través de la suspensión. 2) La concentración inicial del polímero en la solución no influye fuerte

mente en la floculación mientras haya un buen mezclado. Generalmente cuando hay buen mezclado, incrementar la dilución en el agua puede tener significancia en mejorar el transporte del polímero al sólido. 3) La adición por etapas del polímero provee una mejor formación de flóculos mediante el reacondicionamiento de cualquier flóculo semi-degradado.

5.4 Parámetros relacionados con el Polímero

El tipo de grupo iónico en el polímero puede ser el instrumento para determinar la eficiencia de un floculante, la cual depende de su habilidad para unirse a la superficie de la partícula coloidal. La adsorción puede ocurrir mediante atracción electrostática, unión química, puente de hidrógeno, asociación hidrofóbica, formación de complejos o de muy diversas formas. Los polímeros cargados tienen una configuración extendida en solución dada la repulsión intramolecular de sus grupos funcionales. Esta configuración puede ser ventajosa para el puente entre partículas, pero la repulsión electrostática puede impedir la adsorción si la molécula contiene un gran número de grupos cargados similares a los que hay en los sólidos.

Por otra parte, una adsorción muy fuerte puede causar que el polímero se comprima en la superficie de la partícula, dando como resultado muy pocos puentes. Entonces, las característi

cas químicas y estructurales del floculante tienen un efecto significativo en la eficiencia del mismo. (Rey, et.al.,1986).

5.4.1 Signo y magnitud de la carga

Polímeros aniónicos y no iónicos. Entre los floculantes poliméricos, los aniónicos tienden a ser los más viscosos en solución debido a la extensión de su cadena. Las cargas de los polímeros varían de no iónico (< 3% mol y de hidrólisis a ligeramente cargados (3-10%), moderadamente cargados (11-25%), altamente cargados (26-40%) y hasta muy altamente cargados (+ 40%). Un polímero no iónico verdadero (poliacrilamida) es raro, ya que generalmente hay una ligera carga en algunas de las moléculas del polímero.

Polímeros catiónicos. Hay gran variedad de estos polímeros ya que la selección de monómeros catiónicos es grande.

Sobre los tres tipos de polímeros se habla ampliamente en páginas posteriores.

Peso molecular. Los homopolímeros catiónicos pueden ser lineales o ramificados y típicamente tienen pesos moleculares de menos de 10^6 , si éste tipo de polímeros tienen mayor peso molecular tienden a ser menos efectivos en cuanto a costo-rendimiento. Los copolímeros catiónicos tienen pesos molecu-

ares mayores y parece ser que tienen considerables capacidades de formar puentes, tal y como se observa en la larga estructura del flóculo. Estos polímeros tienen pesos moleculares entre 10^6 y 10^7 .

Los polímeros no iónicos y aniónicos son generalmente de peso molecular mayor, y se unen a los sólidos por enlaces químicos, de hidrógeno o hidrofóbicos. La adsorción del polímero se considera comúnmente irreversible debido a la multiplicidad de ligaduras en el sólido, aunque cualquier segmento de la molécula es un sistema dinámico que puede sufrir adsorción y por consiguiente desorción.

La formación de puentes con partículas es un mecanismo primario en la floculación por polímeros de alto peso molecular.

5.4.2 Forma física del polímero y su aplicación

Los polímeros se manejan por lo general en forma seca, en solución, en emulsión o en forma de gel. Cada forma física tiene sus ventajas y desventajas.

Los polímeros en solución son los más fáciles de aplicar. Los polímeros líquidos que contienen de 10 a 50% de material activo son productos de bajo peso molecular; los de mayor pe-

so molecular producen soluciones muy viscosas y por consiguiente contienen menos de 10% de producto activo en solución. Las temperaturas bajas aumentan la viscosidad de la solución y pueden causar dificultad en su manejo.

Polímeros sólidos. Son los más activos. Entre más fina es la partícula, mayor es la solubilidad de ella. Cuando se alimenta el sólido demasiado rápido pueden generarse geles que no se disuelven fácilmente.

Polímeros en emulsión. Contienen entre 25% y 60% de producto activo. Las ventajas de una emulsión son un mayor porcentaje activo con respecto al líquido y una mayor rapidez de mezclado que el sólido.

Polímeros en gel. Son más activos que los de forma líquida. Son generalmente de alto peso molecular.

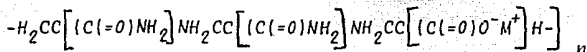
5.5 *Tipos de Polielectrólitos*

5.5.1 Polielectrólitos Aniónicos

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

Los polímeros orgánicos sintéticos que contienen solamente ácidos carboxílicos y sales de ácidos carboxílicos en la cadena son aniónicos. Los polímeros orgánicos sintéticos aniónicos pueden contener también esteres alquil carboxílicos, fenilos, alquilos, halógenos, amidas ácidas carboxílicas, grupo hidroxil y los grupos alcoxi.

Una gran cantidad de floculantes aniónicas usadas en la industria se basan en la polyacrilamida (hidrolizada)



La magnitud de la carga varía de ligera a fuertemente catiónica.

Sus pesos moleculares típicos van de 1 a 15×10^6 .

Sin embargo, muchas veces la poliacrilamida no se utiliza tal cual sino como copolímero. Un copolímero es un producto compuesto de diferentes moléculas. La poliacrilamida muy comúnmente se usa como copolímero con el ácido acrílico.

Existen también gran variedad de polímeros aniónicos modificados. Tenemos por ejemplo que polielectrólitos de muy alto peso molecular con varios grupos carboxilato y/o sulfonatos en la cadena, se modifican para incrementar sus propiedades

en la floculación mezclándolos con un polímero amino catiónico en solución acuosa. Se sabe que los polímeros solubles en agua de cargas opuestas interactúan iónicamente en la solución y forman un precipitado, o a veces una gel. También se ha sugerido que los sistemas duales de floculantes catiónicos y aniónicos mejoran el proceso de floculación.

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

- . Copolímeros de acrylamida-acrilato. Se usan en la industria del 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 en la remoción de arcillas de corrientes de agua. En muchos casos se flocula la arcilla pero tiene que centrifugarse el agua para remover los flóculos resultantes.
- . Copolímero de acrylamida-ácido acrílico. Una aplicación de este copolímero es en la clarificación y remoción de fosfatos. El copolímero preferido es un compuesto de entre 80 y 50 por ciento en peso de acrilami-

da o metacrilamida interpolimerizada con 20 a 50 por ciento de ácido acrílico o metacrílico.

- . Acido acrílico. Entre otros usos, los polímeros que contienen 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. Tienen 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.

5.5.2 Polielectrólitos Catiónicos

Estos polímeros se obtienen primariamente incorporando grupos amino y aminas cuaternarias en la molécula del polímero. Los homopolímeros catiónicos más comunes parecen ser 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.

Se pueden mejorar los pesos moleculares de estos polímeros copolimerizándolos con acrilamida, pero esto solo a expensas de la densidad de carga. Las poliacrilamidas aminometiladas (AMPAMS) y los copolímeros catiónicos aminometilados (AM) son muy efectivos en el tratamiento de lodos municipales. Debido a la sensibilidad a la temperatura de la reacción reversible de aminometilación, estos productos están disponibles solo en forma líquida. Los siguientes monómeros catiónicos se usan por lo general en la fabricación de polímeros comerciales: cloruro de dimetildialilamonio (DMAAC); cloruro de trimetilamonio (propil(metacrilamida)) (MAPTAC); metasulfato de trimetilamonio (etil-oxi(metacrilol)) (METAMS), y cloruro de trimetilamonio (etil-oxi (metacrilol)) (METAC).

En la siguiente hoja se mencionan los polímeros catiónicos más comunes:

NOMBRE	ESTRUCTURA	TIPO DE CARGA TÍPICA	PESO MOLECULAR
Poli (DMAAC)	$\left - H_2 C \underset{\begin{array}{c} \\ CH_2 \\ \\ N^+ \\ / \quad \backslash \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array}}{CH} - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_2 \\ \\ N^+ \\ / \quad \backslash \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array}}{CH} CH_2 - \right _n$	muy altamente catiónico	$10^4 - 10^6$
Poli (AM-DMAAC)	$\left - H_2 C \underset{\begin{array}{c} \\ CH_2 \\ \\ N^+ \\ / \quad \backslash \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array}}{CH} - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_2 \\ \\ N^+ \\ / \quad \backslash \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array}}{CH} CH_2 C[C(=O) NH_2] H - \right _n$	ligero a altamente catiónico	$10^5 - 2.5 \times 10^6$
Poliamina-epiclorhidrina	$\left - N^+ (CH_3)_2 CH_2 C(OH) H CH_2 - \right _n$	altamente catiónico	$10^4 - 10^6$
AMPAM	$\left - H_2 C C[C(=O) NH_2] NH_2 C C[C(=O) NH_2] \cdot \right. \\ \left. NH_2 C C[C(=O) NH] CH_2 N (CH_3)_2 N - \right _n$	moderado a altamente catiónico	$1 - 10 \times 10^6$
Poli (AM-MAPIAC)	$\left - H_2 C C(CH_3) [C(=O) NH (CH_2)_3 N^+ (CH_3)_3 Cl^-] CH_2 C[C(=O) NH_2] H - \right _n$	bajo a moderadamente catiónico	$3 - 10 \times 10^6$
Poli (AM-METAMS)	$\left - H_2 C C(CH_3) [C(=O) O (CH_2)_2 N^+ (CH_3)_3 (CH_3 SO_4)^-] \cdot CH_2 C[C(=O) NH_2] N \right _n$	bajo a moderadamente catiónico	$(3 - 10) \times 10^6$
Poli (AM-METAC)	$\left - N_2 C C(CH_3) [C(=O) O (CH_2)_2 N^+ (CH_3)_3 Cl^-] CH_2 C[C(=O) NH_2] N \right _n$	moderado a altamente catiónico	$(3 - 10) \times 10^6$

Los polielectrolitos catiónicos se prefieren que tengan un peso molecular promedio de al menos 10,000 y en el cual un átomo de nitrógeno actúe como base y proporcione calidad catiónica al polímero.

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

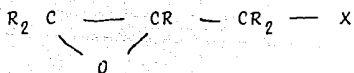
- Copolímero de Acrilamida-Vinil lactana. Muy utilizado en la floculación de los sedimentos de la fabricación de papel.
- Poli-imidoaminas. Se utilizan en la sedimentación de partículas inorgánicas.
- Los polímeros catiónicos tienen innumerables usos: en procesamiento de minerales, remoción de fosfatos, coagulación de sólidos finamente divididos, en acción micro-biológica, etc. (Gutcho, 1972; Rey, et.al., 1986).

5.5.3 Polielectrólitos no iónicos

Se ha demostrado que el material soluble en agua que se obtiene al acetalizar alcohol polivinílico con un aminoaldehído es utilizable como agente clarificador. De estos aminoaldehídos, algunos de los usados son:

α , α -dimetil- β -dimetilaminopropionaldehido
 α , α -dimetil- β -etilaminopropionaldehido
 α , α -dimetil- β -butilaminopropionaldehido
 α , α -dimetil- β -dodecilaminopropionaldehido
 β aminobutiraldehido

Otros polímeros no iónicos usados industrialmente son por ejemplo los polímeros polyglycidyl. Los éteres glicídilos empleados en la preparación de estos polímeros pueden ilustrarse mediante la siguiente fórmula



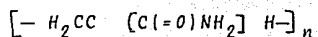
donde R_S pueden diferir o no, son hidrógeno o grupos alquilo o arilo; y X es un grupo sustituido, preferiblemente $-OH$, $-OR$.

El peso molecular de estos polímeros varía de 50 a 50,000 o más.

Un latex orgánico sintético no iónico ha demostrado ser muy efectivo en la floculación de materia orgánica e inorgánica suspendida.

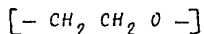
La poliacrilamida tiene carga típica no iónica. El peso mo-

lecular de la unidad monomérica es 71. Su estructura es



Su peso molecular varía de 1 a 15×10^6 .

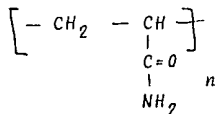
El polióxido de etileno también es no iónico. El peso molecular de la unidad monomérica es 44. Su estructura es



y su peso molecular varía entre 1 y 8×10^6 .

Otros usos de los polielectrólitos no iónicos son:

- Surfactantes oxialquilados para la remoción de sólidos
- Dispersar polímeros de alto peso molecular en agua
- Remoción de sulfonatos de alquil-bencilo de aguas residuales
- Remoción de dureza del agua. Para este propósito resulta ser muy efectivo un compuesto de fórmula



5.5.4 Polielectrólitos Naturales

A continuación se mencionan algunos de los más empleados:

- Polisacáridos microbiales

Dentro de este grupo tenemos a los derivados de la ciclodextrina que tienen sustituyentes de éter de tipo aniónico.

Tienen aplicaciones en la floculación.

- Agentes coagulantes a partir de la levadura

Estos materiales son muy efectivos en la floculación de una gran variedad de sólidos finamente divididos suspendidos en medio acuoso.

- Almidones

Son empleados en el tratamiento de aguas residuales cuando están en forma de almidones catiónicos.

- Polímeros de polisacáridos y resinas conteniendo Nitrogeno.

Son muy útiles cuando se desea una coagulación rápida. Las resinas usadas pueden ser no iónicas, catiónicas o aniónicas.

- Derivados de la celulosa

Tenemos por ejemplo la carboximetil celulosa con Bentonita, que reduce el tiempo de formación de flóculos y acelera apreciablemente la sedimentación de los mismos en la clarificación de agua.

- Derivados de la lignina

Estos materiales tienen carácter aniónico y se usan para formar puentes con las partículas coaguladas y obtener agregados más fácilmente sedimentables.

- Filosilicatos

Se obtienen a partir de una arcilla mineral. Contienen alguno de los siguientes grupos: carbonil-, amido-, amino-, carboxil.

- Metil pectatos

- Dispersión de cera.

Ejemplos existen de sobra, pero la finalidad del presente estudio es diferente, por lo que se concluye esta sección.

Los polielectrólitos naturales o sintéticos se utilizan ya sean como coagulantes o como ayudantes de coagulación. Existen más de cien marcas comerciales; por lo que la fórmula exacta de los polielectrólitos sintéticos es por lo general un secreto comercial.

A pesar de todo, el obstáculo principal para usar polímeros en el tratamiento de aguas es la falta de un método científico para seleccionar el producto óptimo, ya que es indispensable realizar un gran número de pruebas experimentales. (Gutcho, 1972).

6. PRUEBA DE JARRAS

6.1 *Generalidades*

La Prueba de Jarras es un experimento a nivel laboratorio que nos permite encontrar las dosis óptimas de coagulante, el tipo de coagulante y las condiciones óptimas de operación para lograr una mejor eficiencia.

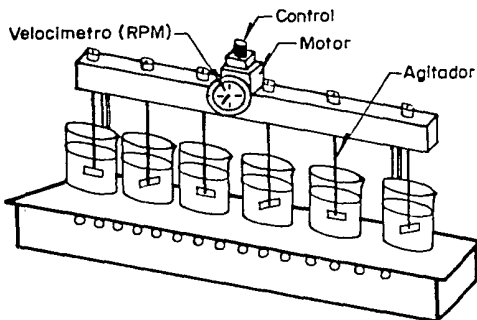
La prueba de jarras es probablemente el método más utilizado para la simulación del proceso de coagulación. El aparato utilizado fue desarrollado por Langelier a principios de los años 20, de esos días a la fecha las modificaciones hechas al aparato son prácticamente nulas. (CEPIS, 1973; Degremont, 1979; Sanks, 1980).

La prueba de jarras se ejecuta básicamente colocando seis va-

esos de precipitado de un litro en el equipo, agregándoles diversas dosis de coagulante a cada uno mientras se agita fuertemente la muestra. Se suspende la agitación violenta y se deja a agitación lenta de 10 a 30 minutos. Luego se deja sedimentar por 45 minutos. (Sanks, 1980).

Resumiendo, el equipo cuenta con:

- . Dispositivo de agitación para operar a razón de 0 a 100 r.p.m.
- . 6 jarras de vidrio para usarse con el dispositivo de agitación.
- . Reactivos que se usen en la coagulación, el coagulante y cualquier otro que se use en la práctica (en la planta).
- . Equipo para determinación de turbiedad, pH, color y alcalinidad.
- . Iluminador. (NTA, 1964).



Prueba de jarras, para determinar dosis óptima de los productos químicos coagulantes y la agitación necesaria, con haces de luz de Tyndall a través de los vasos de precipitados.

Fig 6.1.

6.2 Factores que afectan el experimento de Prueba de Jarras

Los parámetros importantes que deben cuidarse al efectuar la prueba de jarras son:

- Temperatura. La prueba de jarras debe realizarse a la misma temperatura que la que tiene el agua en la planta de tratamiento. El dejar las jarras sobre el iluminador con el que cuenta el equipo o sobre un objeto caliente, cambia rápidamente la temperatura del agua por su poco volumen y produce resultados variables e inconsistentes.
- pH. Es aconsejable medir el pH y la alcalinidad antes y después del proceso de floculación debido a la impor-

tancia que tienen estos factores en la economía del tratamiento. El pH gobierna la naturaleza del coagulante o floculante a través del grado de hidrólisis y de ionización; además, la carga de las impurezas coloidales sugiere que también el pH se debe mantener constante. (Mas-kew, et al., 1976).

Condición del Coagulante. Conviene por lo general que la solución del coagulante sea fresca. Los resultados que se obtienen con soluciones nuevas difieren de los obtenidos con soluciones preparadas tiempo atrás.

Adición de Coagulantes. Deben añadirse en el mismo orden en que se agregan en la planta de tratamiento y lo más rápidamente posible a las seis jarras. De lo contrario podrían cometerse errores al juzgar la rapidez con que aparecen los primeros flóculos. El punto donde se agregan los coagulantes es importante también; deben aplicarse con una pipeta dentro del líquido y junto al eje de las paletas.

Velocidad de rotación de las paletas. Es recomendable tratar de encontrar una energía de agitación que produzca un resultado comparable al de la planta. Algunos operadores suelen usar de 80 a 100 r.p.m., durante 30 segundos para la mezcla rápida y de 20 a 40 r.p.m., durante

15 ó 30 minutos para la mezcla lenta. Como se mencionó en el capítulo III, la velocidad muy alta puede destruir los flóculos.

- Volumen de agua. Generalmente se obtienen mejores resultados utilizando volúmenes grandes de agua que volúmenes pequeños. Se recomiendan jarras de 1 ó 2 litros. (CEPIS, 1973).
- Geometría del recipiente. Esta es sumamente importante, ya que una geometría inadecuada puede causar la formación de turbulencias de diferentes intensidades y frecuencias. La mejor combinación recipiente-impulsor, transfiere energía al agua en forma de eddies de alta frecuencia que son efectivos para el desarrollo de flóculos. Esto dará como resultado una remoción de turbiedad más efectiva y menor turbiedad residual. (Letterman, et al., 1973).

6.3 *Parámetros para el análisis de resultados del experimento*

Se puede realizar considerable número de determinaciones, unas de orden cualitativo y otras cuantitativo. Algunas son:

- Observación visual. Comúnmente se efectúa; simplemente

se observa como se desarrolla el flóculo en cada una de las seis jarras. La comparación de tamaños de flóculos no es fácil. Algunos prefieren estimarlo en forma muy aproximada, otros prefieren usar el índice del Willcomb, que a continuación se presenta.

Número del Índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Flóculo muy pequeño casi imperceptible
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lento o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácilmente pero no de forma completa
10	Excelente. Flóculo que se deposita enteramente dejando el agua cristalina.

Observaciones cualitativas

- Tiempo de formación del flóculo. Verificación de los segundos en que tarda en aparecer el primer flóculo que es uno de los sistemas para determinar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base ayuda a percibir esta formación.
- Control de pH y alcalinidad. Son muy importantes en la economía del tratamiento.

- Turbiedad residual. Es una medida cuantitativa y se logra midiendo la turbiedad con un turbidímetro fotoeléctrico (preferible que el de comparación visual).
- Cantidad de coagulante residual. Sirve para estimar la sobredosis de coagulante usada, y en caso de coagulantes tóxicos evitar problemas de salud posteriores. (CEPIS, 1973).

6.4 Técnica

En las jarras de laboratorio se miden volúmenes conocidos de agua cruda, con cantidades variables de los reactivos que se usen o pretendan usar. Las jarras se agitan, se observa la formación de flóculos y se anotan los resultados del tratamiento después de determinados periodos de coagulación. Es deseable simular en las pruebas de laboratorio las condiciones de mezclado, tiempo de sedimentación, etc., que haya realmente en la planta. Un dispositivo de agitación simple, que mezcle lentamente durante periodos de 10 a 15 minutos ayudará a la coagulación y hará que los resultados de las pruebas sean más exactas y dignos de confianza. (MTA, 1964)

Los pasos a seguir para obtener datos confiables en una prueba de jarras son:

- . Lavar perfectamente los vasos asegurándose de que no que de ninguna traza de detergente. Medir un volumen preciso para cada vaso (1500 ml o 1000 ml según la capacidad de los vasos a utilizar). Colocarlos bajo un agitador y sumergir las paletas, medir la temperatura del agua.
- . Encender el equipo de agitación, y a una rapidez elevada (100 rpm) inyectar con pipeta la corrección por alcalinidad o pH.
- . Inyectar el coagulante (por ejemplo, solución principal de sulfato de aluminio) a una dosis deseada.
- . Después de 15 segundos inyectar el ayudante de coagulación si es el caso. Nosotros no utilizaremos ninguno.
- . Después de un total de 80 segundos de agitación vigorosa, reducir la velocidad a 40 rpm y mantener el grado de agitación anterior por 20 minutos. Observar la velocidad de formación de los flóculos y la rapidez de engrosamiento de los mismos.
- . Cesar totalmente la agitación. Retirar las paletas y observar la velocidad y homogeneidad de la sedimentación.
- . Después de 30 minutos o cualquier otro lapso de tiempo escogido, tomar muestras de agua con una pipeta con el

fin de verificar su pH, grado de color, turbiedad, su filtrabilidad a la membrana y otros parámetros de interés. También se puede medir el potencial ζ de floculación.

Para facilidad en el manejo de datos así como su interpretación, es recomendable construir tablas con las condiciones de la prueba y las observaciones efectuadas.

Los tiempos de agitación rápida, agitación lenta y sedimentación varían según el criterio de los diversos autores e investigadores.

Para obtener buenos resultados, el operador de la prueba de jarras debe preparar cuidadosamente las soluciones de coagulantes así como el pH del agua a tratar, debe tener experiencia y facilidad para pipetear soluciones, pero sobre todo, debe ser un observador minucioso. Estas características pocas veces las reúne un operador, por lo que los resultados no son totalmente precisos.

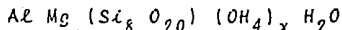
La prueba de jarras tiene otras desventajas, por ejemplo: no es una operación continua, la escala de las jarras no guarda relación alguna con la del flóculo y muchas de las observaciones son subjetivas. (CEPIS, 1973; Sanks, 1980).

6.5 Metodología

El experimento está enfocado a realizar un estudio comparativo, caracterizar y obtener algunos parámetros óptimos en el uso de nuevos polímeros como floculantes en el tratamiento de agua. Para esto se estudiaron seis polímeros diferentes: aniónico, no iónico, y catiónico (polímeros comerciales de Alkem, S.A.) y tres Zwitteriónicos que se sintetizaron en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Los parámetros que se fijan son: turbiedad, pH, dosis de coagulante y tipo de contaminantes del agua (orgánicos o inorgánicos). Otros parámetros en los que se verá la influencia de los polímeros son: sólidos presentes en todas sus formas, dureza y oxígeno disuelto.

El agua residual con materia orgánica que se utilizará en los experimentos será de la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U.. El agua con materia inorgánica será sintética y se le adicionará bentonita para regular y ajustar la turbiedad. El agua para esta última será de la red de abastecimiento, a reserva de cambiarla por agua de algún río como alternativa por si la interferencia debida al cloro residual persiste después de aeración. Por esto último se colectó agua de los Dinamos de Magdalena Contreras para los experimentos.

La bentonita es un material usual en la investigación de optimación de floculantes, y su fórmula es la siguiente:



Este material es usado porque tiene propiedades clarificantes muy pobres, y no interfiere con el floculante que se aplique. (Olsen, 1987).

Para preparar el agua sintética con bentonita, deben hacerse antes que nada pruebas de solubilidad y determinar la cantidad (mg) de bentonita que equivalgan a un determinado número de unidades de turbiedad (NTU). Con estos datos es posible fijar las condiciones para iniciar con las pruebas de jarras.

Para el caso de agua residual de la planta, también se variará el pH y se buscará la dosis óptima del floculante de igual forma que la anterior. La turbiedad solo se modificará agregando bentonita para observar el efecto de ésta sobre la eficiencia en la remoción de turbiedad.

TABLA 6.1. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tipo de Agua	Polímeros Probados	Parámetros a variar	Finalidad
Agua de la red (aereada)	Polímeros Comerciales:		
	Aniónico		Dosis
	Catiónico	Turbiedad	Optima y
Agua superficial (Dinamos)	No iónico	Dosis	pH
	Polímeros	pH	adecuado
	Zwitteriónicos:		
Agua Residual de la Planta de Tratamiento	Zw1		
	Zw2		
	Zw3		

6.6 Floculantes experimentales

Como ya se mencionó en el capítulo correspondiente, los tres polímeros zwitteriónicos proporcionados por el Instituto de Investigaciones de Materiales se etiquetaron de la siguiente manera:

- . Zwitteriónico I (Zw1)
- . Zwitteriónico II (Zw2)
- . Zwitteriónico III (Zw3)

Para consultar estructuras ver referencia 16.

Se les hicieron pruebas de solubilidad y no presentan ningún

problema para su empleo en agua.

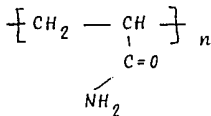
La apariencia de los tres polímeros es semejante: polvo blanco muy fino soluble en agua a temperatura ambiente.

En cuanto a los polímeros comerciales usados en el estudio comparativo, éstos fueron proporcionados por la compañía Alkem de México, proveedora de este tipo de materiales en el mercado.

Los tres polímeros estudiados son:

- Polielectrokem 2000, cuya característica es la de ser un polímero no iónico de alto peso molecular. Este producto está desarrollado para su uso como ayuda coagulante en todos aquellos procesos industriales y municipales de clarificación y recuperación de agua.

Su estructura base es la poliacrilamida:

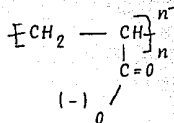


- Polielectrokem 2100, que es un polielectrólito no iónico parcialmente catiónico; de uso y estructura muy simi

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

lar al polielectrokem 2000.

Polielectrokem 975, que es un polielectrólito aniónico cuya estructura se basa en el ácido poliacrílico:



El nivel de dosificación de estos coagulantes dependen de muchos factores y diseño del equipo en el cual se van a aplicar, sin embargo, por experiencia en plantas de clarificación de agua las dosis óptimas varían entre 2.5 y 25 ppm para el polielectrokem 2000 y para el polielectrokem 975; mientras que para el polielectrokem 2100 varía entre 0.5 y 5 ppm.

6.6.1 Tratamiento y Dosificación

Estos polielectrólitos deberán ser diluidos para tener una solución al 2.0% o menos. Una solución más diluida puede mejorar la actividad del producto.

En las plantas de tratamiento, los polielectrólitos se dosifican por medio de una bomba dosificadora, con eductor o por gravedad. Usando los productos como ayuda coagulante, deberán ser agregados por lo menos cinco segundos después de la

adición del coagulante, de tal manera que éste haya formado un floculo inicial donde se fije el coagulante-ayuda. Estos productos son compatibles con todos los coagulantes primarios generalmente usados, como son las sales de aluminio, fierro y calcio. La adición de cloro en los niveles generalmente usados no afecta su actividad. El producto una vez preparado, debe ser protegido del frío o del calor.

No son tóxicos ni perjudiciales al ser humano, sin embargo, no deben ser ingeridos y se recomienda lavarse con agua fresca las partes en contacto con el producto.

Se recomienda hacer pruebas de floculación previas y análisis en espectrofotómetro del agua a tratar para seleccionar el me jor nivel de tratamiento.

Todos los datos anteriores fueron proporcionados por la compa ñía fabricante.

Por otra parte, las estructuras de los polímeros comerciales fueron determinadas por análisis de infrarrojo (Instituto de Investigaciones de Materiales, UNAM, en un equipo Nicolet SMX-FFT IR espectrofotómetro de infrarrojo) y análisis de resonancia Magnética Nuclear (Instituto de Química, UNAM, en un Espectrómetro de RMN de 300 MHz).

6.6.2 Dosis óptima de coagulante a pH y turbiedad fijos

El primer pH de prueba se obtiene de mezclar directamente el agua con la bentonita. Para lograr el objetivo se aplican diferentes dosis de coagulante en cada uno de los seis vasos de tal modo que en el primero la dosis sea insuficiente y en el último se sobredosifique.

Con este amplio rango de dosis la variación en la eficiencia de la remoción de turbiedad debe notarse claramente, de tal modo que en la siguiente prueba de jarras el rango se reduzca y afine. Este procedimiento se repite sucesivamente hasta lograr una dosis óptima o al menos una gama de dosis que no difieran mucho entre sí y que nos den una remoción efectiva a pH y turbiedad fija.

Después se probará el efecto que tiene el grado de turbiedad en cuanto a la eficiencia del polímero para removerla. Nuevamente el pH será el mismo y se variará la dosis para conocer una óptima a esta nueva turbiedad. El proceso se repetirá con varias turbiedades, tantas sean necesarias para llegar a resultados concluyentes.

6.6.3 Efecto del pH respecto a dosis

Independientemente de haber encontrado o no una dosis óptima

para cada turbiedad al pH inicial, este deberá variarse de manera brusca (ya sea muy ácido o muy básico) para conocer la zona de pH de trabajo adecuada. Esto se hace de manera similar que con la dosis óptima; a una turbiedad constante, con la dosis óptima encontrada anteriormente se varía el pH de uno en uno en dos corridas de pruebas de jarras. Aunque no se esté manejando la dosis óptima (pero si constante), debe de percibirse el cambio de la eficiencia de la remoción de turbiedad en relación al cambio del pH.

Siguiendo la metodología anterior, indudablemente debe llegarse a unas zonas de pH y de dosis que proporcionen buenos resultados, de manera que solamente quedará por afinar la precisión, es decir, reducir la amplitud de esas zonas siguiendo lógicamente la tendencia de los datos que se obtengan para optimizar la eficiencia del floculante.

Toda esta serie de pruebas deberá hacerse para cada polielectrólito, lo que implica una cantidad estimada de 250 pruebas de jarras. Teniendo ya los resultados para los seis floculantes, podrá entonces efectuarse el análisis comparativo entre los polímeros Zwitteriónicos y los polielectrólitos comerciales.

7. RESULTADOS

7.1 Condiciones Fijadas

Los parámetros experimentales que se consideraron se enlistan a continuación, dichos criterios se basan en la bibliografía actual del tema.

- . El tiempo de sedimentación promedio fue de 50 minutos
- . Tiempo de agitación rápida de 1 minuto
- . Tiempo de agitación lenta de 24 minutos
- . La velocidad de agitación rápida fue de 100 r.p.m.
- . La velocidad de agitación lenta varió entre 20 y 50 r.p.m.. Sin embargo, la mayoría de las pruebas se realizaron a 30 r.p.m.
- . El pH ácido se reguló agregando ácido sulfúrico 0.02N
- . Las pruebas realizadas a pH básico (mayores a 8.0), se regularon con una solución de hidróxido de sodio, 0.1N.

7.2 Datos obtenidos

Primeramente se hace notar que los resultados presentados en las tablas posteriores son el promedio de una larga serie de experimentos realizados, para esto se tomaron en cuenta los valores con una desviación no mayor al 10%.

La experimentación inicial se llevó a cabo en las condiciones normales de pH del agua más cierta cantidad de bentonita para regular la turbiedad. Al observar los resultados tan poco eficientes, se pensó en que el cloro residual contenido en el agua de la red de abastecimiento podría influir en la experimentación, por lo que se optó por aerear el agua (de aquí en adelante denominada "agua sin cloro") ó usar agua superficial de Contreras, en México, D.F. (denominada "agua superficial").

A continuación se presenta la Tabla 7.1 que muestra los resultados al utilizar los 3 tipos de aguas en las pruebas de jarras.

La Tabla 7.1 como puede observarse no nos proporcionó una idea clara sobre la dosis óptima del floculante; sin embargo, nos hace evidente la influencia negativa que ejerce el cloro sobre el proceso de floculación. Tenemos, por ejemplo, que una dosis similar de floculante catiónico a turbiedad prácticamente igual, proporciona eficiencias diferentes que deben

TABLA 7.1. PRUEBAS INICIALES CON DIFERENTES TIPOS DE AGUA, (CON Y SIN CLORO RESIDUAL)

Tipo de agua	Polímero	Dosis (ppm)	Turbiedad inicial (NTU)	Tiempo de sedimentación (min)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia
Con cloro	Catiónico	0.2176	21	75	11.0	47.6
Con cloro	Catiónico	3.9170	21	80	8.1	61.0
Con cloro	no iónico	0.1384	20	50	14.0	30.0
Con cloro	no iónico	1.1075	20	54	10.0	50.0
Sin cloro	Catiónico	9.0200	25	45	10.0	60.0
Sin cloro	Catiónico	2.2900	25	50	9.0	64.0
Sin cloro	no iónico	1.8270	25	60	8.9	64.4
Sin cloro	no iónico	8.9140	25	61	9.9	60.4
Superficial	Catiónico	5.6687	23	50	9.0	60.87
Superficial	Catiónico	1.2530	23	51	8.3	63.91
Superficial	no iónico	6.0021	25	62	8.8	64.8
Superficial	no iónico	2.1315	25	63	7.9	68.4

tomarse en consideración: 47.6, 60.0, 60.87% para agua con cloro, agua sin cloro y agua superficial respectivamente. El floculante no iónico se comporta de manera semejante: 30, 64.4 y 64.8%.

Aunque el cloro influye en la floculación, este no es el factor principal que impide obtener mayor eficiencia como se verá más adelante.

El cloro influye de manera similar en los demás polímeros como se presenta en la Tabla 7.2.

En la Tabla 7.2 puede observarse la influencia negativa del cloro respecto a la eficiencia. Cabe recordar que el pH es de aproximadamente 8 para todas las muestras con bentonita ya adicionada. El agua sin cloro o la superficial nos permitirían estudiar el fenómeno sin interferencia.

Daño que las eficiencias obtenidas a pHs neutros son demasiado bajas, se procedió a buscar un pH óptimo de trabajo, que nos permitiera conocer la dosis óptima del polímero.

En la Tabla 7.3 se presentan los resultados obtenidos en algunas pruebas, y que son representativos del comportamiento del fenómeno:

TABLA 7.2. INFLUENCIA DEL CLORO CON RESPECTO A LA EFICIENCIA

Tipo de Agua	Polímero	Dosis (ppm)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia promedio
Con cloro	aniónico	1.2515	13	8.3	36.15
Con cloro	Zw1	8.0112	20	12.0	40.00
Con cloro	Zw1	1.2131	90	42.0	53.30
Con cloro	Zw2	2.0021	20	11.0	45.00
Con cloro	Zw2	5.1729	80	51.0	36.20
Con cloro	Zw3	1.1315	80	38.0	52.50
Sin cloro	aniónico	1.3510	15	8.5	43.33
Sin cloro	Zw1	6.0431	60	29.0	51.70
Sin cloro	Zw1	1.2135	15	7.2	52.00
Sin cloro	Zw2	3.1519	18	10.0	55.56
Sin cloro	Zw2	6.1231	50	28.0	44.00
Sin cloro	Zw3	1.0917	70	36.0	48.57
Superficial	aniónico	1.2110	80	36.0	55.00
Superficial	Zw1	9.1317	60	37.0	53.75
Superficial	Zw1	1.4219	40	20.0	50.00
Superficial	Zw2	2.0217	80	39.0	51.25
Superficial	Zw2	7.1431	40	19.0	52.50
Superficial	Zw3	1.0218	80	37.0	53.75

TABLA 7.3. RESULTADOS CON EL USO DE POLIMERO ANIONICO COMERCIAL

Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
1.16	4.1	72	14.0	80.6
2.8	4.1	72	13.0	81.9
6.46	4.1	72	16.0	77.8
14.61	4.1	72	21.0	70.8
49.35	4.1	72	27.0	62.5
4.5	2.1	80	4.9	93.9
4.1	4.0	80	17.0	78.9
4.9	5.1	80	20.0	67.5
5.1	6.0	80	26.0	67.5
4.3	8.0	80	36.0	55.0
4.7	2.0	29	6.5	77.6
2.9	2.0	58	6.7	88.4
4.6	2.0	90	6.5	92.8
4.3	2.0	150	6.4	95.7

Como puede verse, la eficiencia no solo es función del pH, si no también de la dosis óptima así como de la turbiedad del agua. Analizando los resultados es claro que la eficiencia se incrementa cuando el pH disminuye. La dosis óptima debe ser del orden de 1 a 5 ppm según se concluye de la experimentación realizada; por ejemplo, en la Tabla 7.3 la experimentación a pH de 1.7 muestra que una dosis de 44 ppm da como resultado una eficiencia de 93%, mientras que una dosis de 2.5 ppm nos da eficiencia de 89%; es decir, la función de la dosis respecto a la eficiencia no es importante, por lo que d6-

sis pequeñas (por economía) son más recomendables.

Este polielectrólito fue el que proporcionó los floculos más grandes y rápidos en su formación. A partir de pH igual a 4.0, este último fenómeno es más evidente. Como se indica en la literatura a mayor turbiedad, mayor floculación debido a la mejor interacción entre partículas.

En las gráficas 7.1, 7.2 y 7.3 puede verse el comportamiento del fenómeno según la relación entre turbiedad residual y dosis del polímero añadido, pH y turbiedad inicial respectivamente, según los datos por bloques de la Tabla 7.3. Para mayor precisión referirse a los datos del Anexo II, ya que no se incluyen la totalidad de puntos graficados en la tabla resumen 7.3.

El polímero catiónico proporcionó los siguientes resultados. (Ver Tabla 7.4).

De la Tabla 7.4 se establece que el comportamiento de este polielectrólito es muy similar al aniónico: turbiedad alta, pHs ácidos, dosis pequeñas nos dan los resultados óptimos (la dosis óptima promedio se encontró de 1 a 2 ppm). La dosis requerida es menor que la anterior, y hay un cambio importante en cuanto a eficiencia promedio entre pH de 4.0 y 5.0 (84 y 67%).

TABLA 7.4. RESULTADOS DEL POLIMERO CATIONICO COMERCIAL

Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
1.32	4.0	70	11.0	84.3
2.75	4.0	70	11.0	84.3
14.34	4.0	70	17.0	75.7
28.62	4.0	70	19.0	72.8
60.49	4.0	70	24.0	65.7
1.34	2.1	80	4.8	94.0
1.40	4.0	80	27.0	66.3
1.15	5.1	81	30.0	62.9
1.20	6.0	80	34.0	58.0
1.60	8.0	80	35.0	56.3
1.10	2.0	30	7.0	78.7
1.10	2.0	46	5.0	89.1
1.10	2.0	100	4.2	95.8
1.10	2.0	110	7.6	93.1

Los flóculos que se forman no son tan grandes como con el otro polímero. Nuevamente, los resultados anteriores se muestran en las gráficas 7.1, 7.2 y 7.3, y para amplitud y verificación de los mismos en los Anexos II y III.

El polímero no iónico se comporta muy parecido a los anteriores. La dosis óptima se determinó de 1 a 2 ppm también. A continuación se presentan los resultados obtenidos, también en tres bloques para ejemplificar mejor el efecto de la dosis,

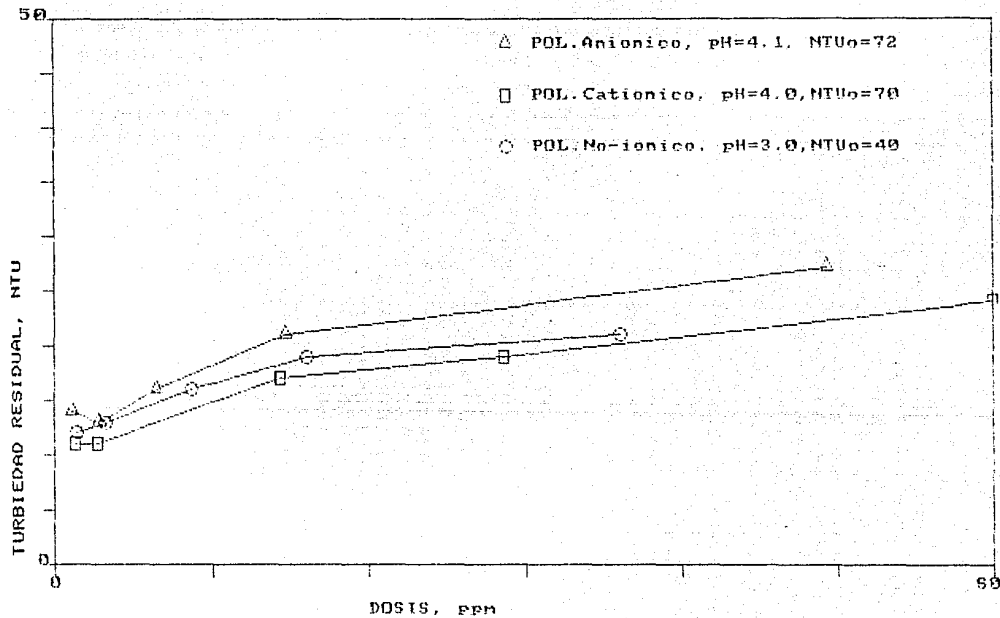
del pH y de la turbiedad; (Ver Tabla 7.5).

TABLA 7.5. RESULTADOS DEL POLIMERO NO IONICO COMERCIAL, EN LAS PRUEBAS DE FLOCULACION

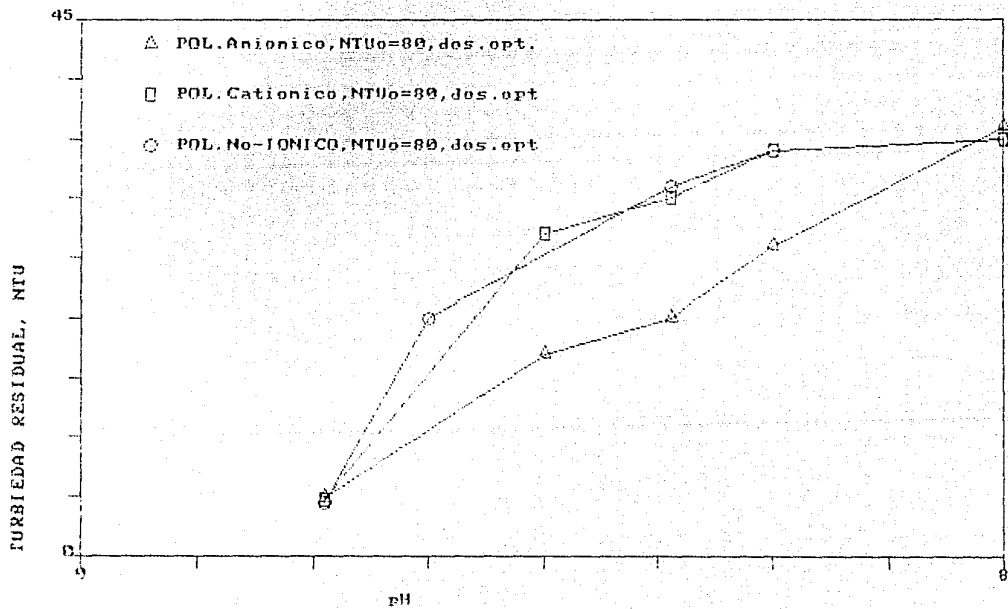
Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
1.40	3.0	40	12.0	70.0
3.27	3.0	40	13.0	67.5
8.75	3.0	40	16.0	60.0
16.08	3.0	40	19.0	52.5
36.08	3.0	40	21.0	47.5
Óptima	2.1	80	4.5	94.37
Óptima	3.0	80	20.0	75.0
Óptima	5.1	81	31.0	61.7
Óptima	6.0	81	34.0	58.0
Óptima	8.0	80	35.0	57.5
Óptima	2.0	16	4.1	74.4
Óptima	2.0	38	4.3	88.7
Óptima	2.0	70	4.3	93.9
Óptima	2.0	100	5.0	95.0

Los flóculos que se forman tampoco son muy grandes. En la gráfica 7.3 se muestra que la turbiedad residual es prácticamente la misma para cualquier turbiedad inicial (ver Tabla 7.5); sin embargo la formación de flóculos es evidentemente más rápida entre mayor sea la turbiedad. Las gráficas 7.1 y 7.2 muestran el comportamiento del polímero de acuerdo a la dosis y al pH.

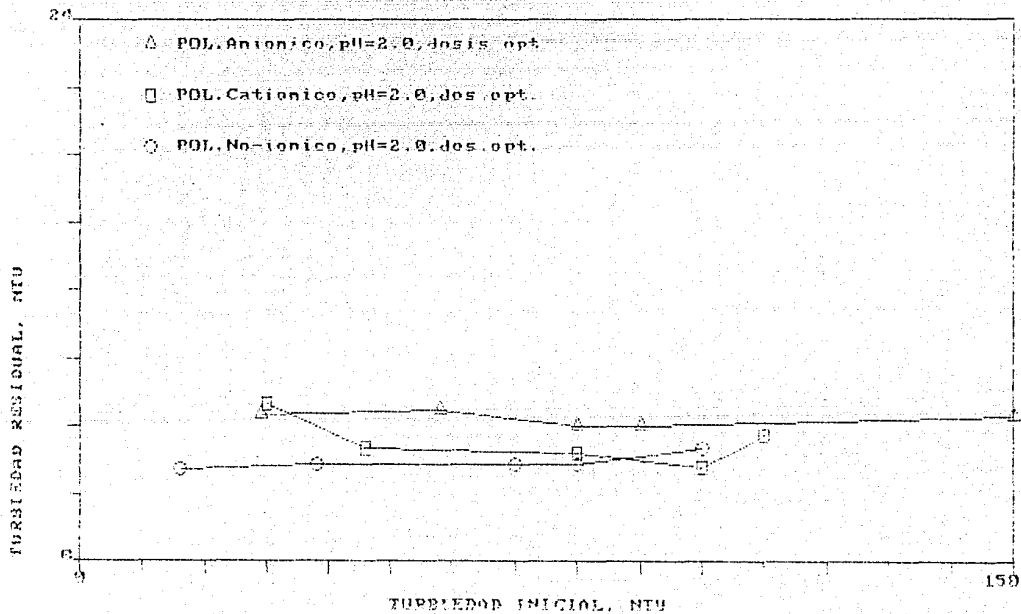
GRAFICA 7.1 POLIMEROS COMERCIALES



GRAFICA 7.2 POLIMEROS COMERCIALES



GRÁFICA 7.3 POLIMEROS COMERCIALES



Por otra parte los tres polímeros Zwitteriónicos resultaron ser tan eficientes o a veces mejores que los polímeros comerciales. El comportamiento respecto al pH ácido, a la turbiedad alta y su remoción, a la dosis pequeñas (1 ppm) confirman su similitud con los comerciales y prueban su efectividad. Las siguientes tablas demuestran lo anterior:

TABLA 7.6. RESULTADOS DE PRUEBAS DE FLOCULACION DEL POLIMERO ZWITTERIONICO 1

Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
1.0	4.0	80	7.4	90.8
2.3	4.0	80	7.8	90.3
10.4	4.0	80	17.0	78.8
22.8	4.0	80	27.0	66.3
42.0	4.0	80	33.0	58.8
Óptima	2.1	80	2.1	97.4
Óptima	4.0	80	7.4	90.8
Óptima	5.1	80	25.0	68.8
Óptima	6.0	81	35.0	56.8
Óptima	8.0	80	37.0	53.8
Óptima	2.0	20	9.8	51.0
Óptima	2.0	62	12.0	80.6
Óptima	2.0	91	3.9	95.7
Óptima	2.0	156	6.2	96.0

Los resultados se muestran en las gráficas 7.4, 7.5 y 7.6.

Los flóculos son en realidad pequeños; la eficiencia varía bruscamente de un pH = 5 a uno de 4 (ver gráfica 7.5). Por conveniencias de oxidación en tuberías, por ejemplo, se recomendaría trabajar a pHs de 4. La eficiencia a turbiedad constante se incrementa notablemente (de 54 a 97%) al disminuir el pH (de 8.0 a 2.1).

TABLA 7.7. RESULTADOS DEL POLIMERO ZWITTERIONICO 2

Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
1	2.0	86	6.0	93.0
3	2.0	86	6.6	92.3
5	2.0	86	14.0	83.7
7	2.0	86	16.0	81.4
9	2.0	86	18.0	79.1
Óptima	2.0	80	2.5	97.12
Óptima	3.0	80	14.0	82.5
Óptima	4.0	80	24.0	70.0
Óptima	5.0	80	34.0	58.02
Óptima	7.0	80	39.0	51.2
Óptima	2.0	38	7.9	79.2
Óptima	2.0	46	7.2	84.3
Óptima	2.0	70	6.8	90.3
Óptima	2.0	96	8.9	90.7
8	1.5	30	18.0	40.0

La tendencia es la misma que las anteriores. De los 3 polímeros Zwitteriónicos fue el más eficiente en la remoción de

turbiedad, a pHs no tan ácidos. Los flóculos también son pequeños. Este polímero en particular presenta un pH óptimo no tan bajo como todos los demás, ya que el óptimo se ubica alrededor de 2 como puede observarse en la gráfica 7.5 (en algunos casos fue 2 ó 4 según la turbiedad). A pHs menores de 2 resultó ser la mayoría de las veces tan inefectivo como a pHs básicos, como ejemplo se tiene el último valor de la tabla.

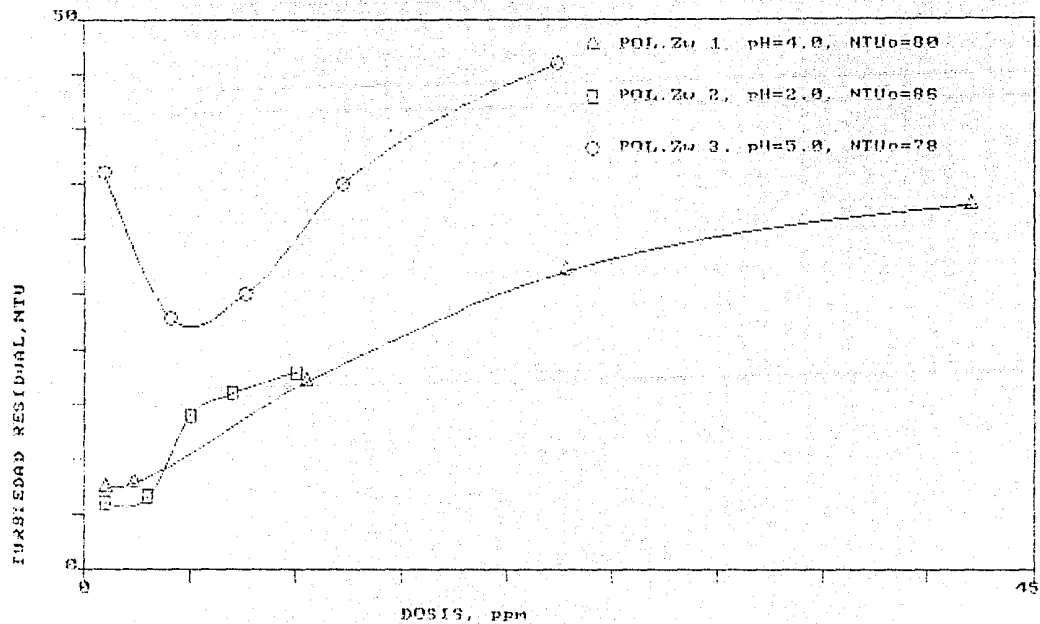
La excepción a esta observación es cuando trabajamos turbiedades sumamente altas (mayores a 120).

Los resultados obtenidos por el polímero Zwitteriónico 3, en resumen se muestran en la Tabla 7.8.

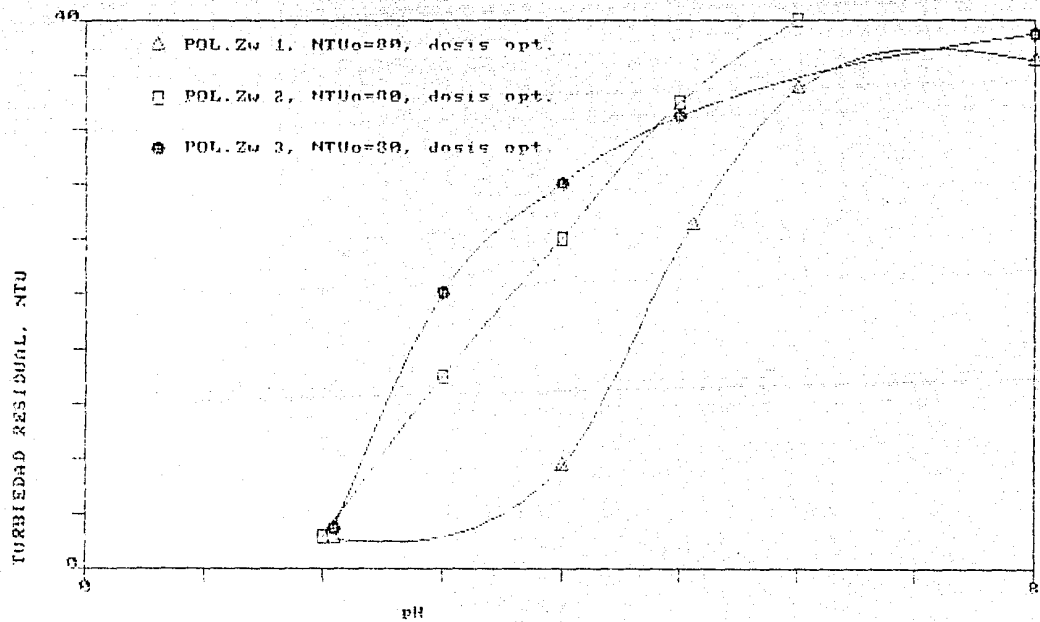
TABLA 7.8. RESULTADOS DE PRUEBAS DE FLOCULACION DEL POLIMERO ZWITTERIONICO 3

Dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
0.9	5.0	78	36.0	53.9
4.0	5.0	78	23.0	70.5
7.6	5.0	78	25.0	67.9
12.2	5.0	78	35.0	55.1
22.4	5.0	78	46.0	41.0
óptima	2.1	80	3.0	96.3
óptima	3.0	80	20.0	75.0
óptima	4.0	80	28.0	65.0
óptima	5.0	80	33.0	59.3
óptima	8.0	80	37.0	53.7
óptima	2.0	10	4.8	52.0
óptima	2.0	41	8.2	80.0
óptima	2.0	62	7.0	85.4
óptima	2.0	96	9.8	89.8

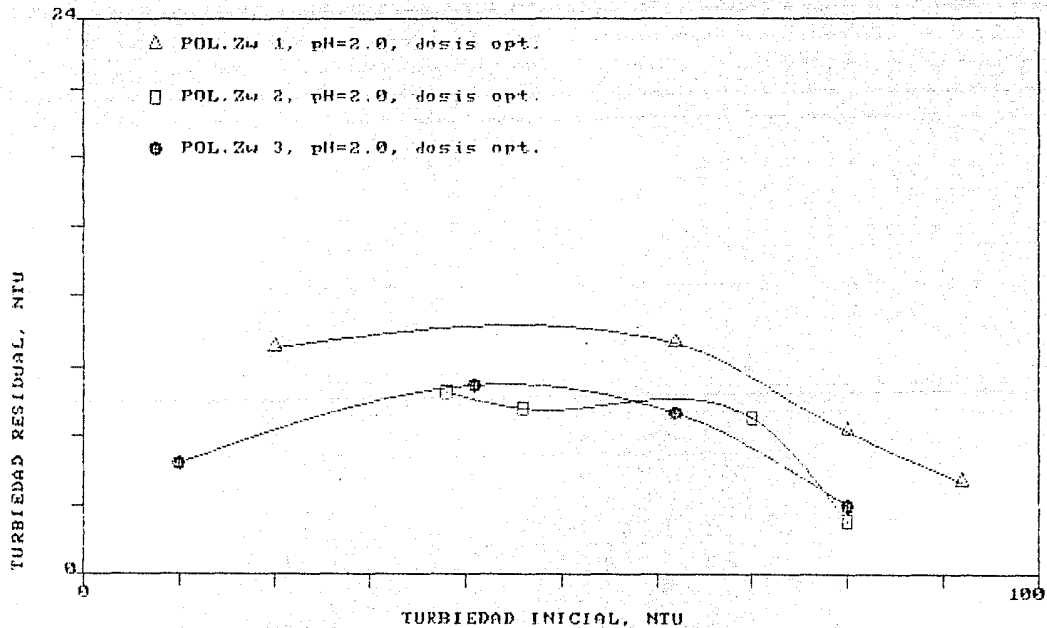
GRAFICA 7.4 POLIMEROS ZWITTERIONICOS



GRAFICA 2.5 POLIMEROS ZWITTERIONICOS



GRAFICA 7.6 POLIMEROS ZWITTERIONICOS



Este polímero también presenta el mismo comportamiento. La eficiencia promedio para cualquier turbiedad a los pHs de 8.0, 6.0, 4.0 y 2.0 son respectivamente: 52%, 58%, 71% y 89%. Nuevamente a partir de pH = 4 los resultados son aceptables. Las gráficas 7.4, 7.5 y 7.6 muestran los datos anteriores.

Probada la eficiencia de los seis polímeros en la remoción de partículas inorgánicas, se procedió a hacer la misma experimentación para aguas residuales orgánicas (de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, México, D.F.), obteniéndose en resumen los siguientes resultados: a pH neutro y turbiedad inicial de 45 NTU las eficiencias encontradas son inferiores al 10%.

Modificado el pH se encuentra que el ácido nuevamente es el conveniente (1.5 a 3).

Eficiencia promedio de los polímeros:

Aniónico	Catiónico	No iónico	Zw1	Zw2	Zw3
38.51	34.81	40.00	40.0	28.89	36.29

Los resultados no son satisfactorios para la remoción de agua residual con alto contenido de materia orgánica. De acuerdo a lo anterior se recomienda generalmente agregar bentonita para mejorar la eficiencia, sin embargo, en nuestro

caso solo se observó una ligera disminución en el color del agua tratada con polielectrólitos.

Las dos Tablas 7.9 y 7.10 resumen lo expuesto con anterioridad. La primera de ellas 7.9, compara un sólo polímero respecto al pH, al agua, la dosis y la turbiedad. El asterisco indica el parámetro que tiene mayor peso en la eficiencia. Al azar se presentan resultados obtenidos con el polímero Zwitteriónico 1.

TABLA 7.9. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL POLIMERO ZWITTERIONICO 1.

Agua a tratar (más bentonita)	dosis (ppm)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
Con cloro	1 *	7.0	90	42.0	53.3
Con cloro	15	7.0	90	44.0	51.1
Con cloro	1 *	3.0*	90	13.0	85.6
Sin cloro*	1 *	3.0*	90	6.2	93.11
Sin cloro*	1 *	1.75*	100*	4.2	95.8
Superficial	1 *	3.9	92	34.0	63.04
Superficial	1 *	1.0*	92	8.4	90.86
Superficial	42	3.9	80	33.0	58.75
residual	1	7.2	45	40.0	11.1
residual	50	1.0*	45	35.0	22.22
residual	2 *	1.0*	45	30.0	33.33
residual+bento- nita	2 *	1.0*	90 *	27.0	40.00 (respecto al inicial)

En la Tabla 7.9 queda asentado la influencia del cloro en la floculación, la dosis pequeña requerida, el pH óptimo, y el efecto conjunto que ejercen sobre la eficiencia.

Las Tablas 7.10 y 7.11 comparan a los seis polímeros conjuntamente en la eficiencia de remoción de bentonita con la turbiedad inicial fija y aplicación de dosis óptima.

TABLA 7.10. RESULTADOS DE LOS POLIMEROS COMERCIALES Y ZWITTERIONICOS CON DOSIS OPTIMA Y TURBIEDAD CONSTANTE.

Polímero	pH	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
aniónico	7.0	18.0	55.0
catiónico	7.0	20.0	50.0
no iónico	7.0	17.0	57.5
Zw1	7.0	18.0	55.3
Zw2	7.0	16.0	60.0
Zw3	7.0	19.0	52.5
aniónico	4.0	8.1	79.75
catiónico	4.0	12.0	70.0
no iónico	4.0	9.8	75.5
Zw1	4.0	5.3	86.75
Zw2	4.0	7.8	80.5
Zw3	4.0	7.5	81.21
aniónico	2.0	8.2	80.0
catiónico	2.0	7.8	80.97
no iónico	2.0	6.6	83.9
Zw1	2.0	7.0	82.92
Zw2	2.0	8.2	80.0
Zw3	2.0	6.4	84.4

Los polímeros Zwitteriónicos forman flóculos más de 40 NTU pequeños pero son más eficientes. El pH de 4 se encontró el más adecuado para la floculación.

TABLA 7.11. COMPARACION DE LOS SEIS POLIMEROS ESTUDIADOS CON TURBIEDAD INICIAL FIJA DE 80 NTU Y DOSIS OPTIMA.

Polímero	pH	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia %
aniónico	7.0	37.0	54.32
catiónico	7.0	40.0	50.61
no iónico	7.0	43.0	46.91
Zw1	7.0	45.0	44.44
Zw2	7.0	42.0	48.14
Zw3	7.0	46.0	43.20
aniónico	4.0	17.0	78.75
catiónico	4.0	27.0	66.25
no iónico	4.0	33.0	58.75
Zw1	4.0	31.0	60.49
Zw2	4.0	24.0	70.0
Zw3	4.0	28.0	65.0
aniónico	2.0	7.9	93.87
catiónico	2.0	4.8	94.0
no iónico	2.0	4.5	94.37
Zw1	2.0	2.1	97.37
Zw2	2.0	2.3	97.12
Zw3	2.0	3.0	96.28

Comparando las últimas dos tablas, notamos que la eficiencia se incrementa al aumentar la turbiedad. Es de mencionar también

que a pHs superiores a 4 los polímeros comerciales parecen ser más eficientes, sobre todo el aniónico.

Además de las pruebas anteriores, se hicieron mediciones de otros parámetros tales como oxígeno disuelto, sólidos en todas sus formas y dureza total. La Tabla 7.12 muestra los resultados obtenidos.

El efecto del tiempo en la sedimentación para los seis polímeros, puede verse en la gráfica 7.7.

Las pruebas de jarras mencionadas en las Tablas 7.13 y 7.14 proporcionaron los resultados contenidos en el Anexo II. Las gráficas más representativas de las mismas pruebas, pueden verse en el Anexo III.

GRAFICA 7.7.

COMPARATIVO, pH=3, NTU inic.=80

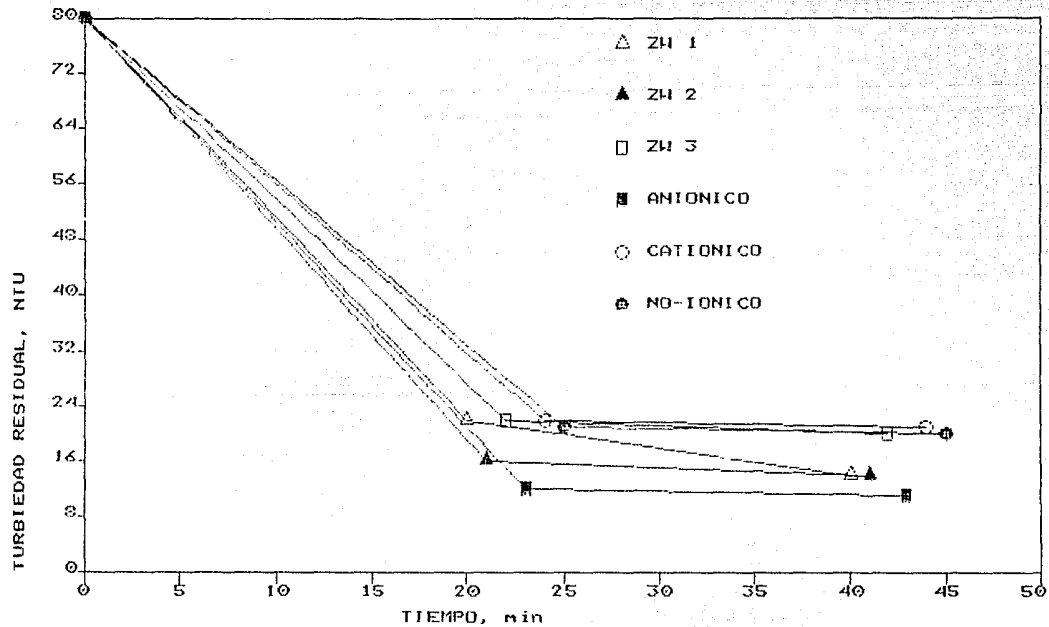


TABLA 7.12. OTROS PARAMETROS

Tipo de agua	Turbiedad (NTU)	pH	O ₂ disuelto (ppm)	Sólidos totales (mg)	Sólidos Suspendedos			Dureza total
					Totales (mg)	Fijos (mg)	Volátiles (mg)	
Agua superficial	3.0		8.5	4.3	3.4	2.6	0.8	0
superficial + bentonita sin tratar	40.0	7	7.6	56.5	39.4	36.0	3.4	0
superficial + bentonita sin tratar	40.0	4	7.8	56.6	41.6	36.5	5.1	0
después de tratar con polímero:								
aniónico	40.0	7	7.0	8.9	4.6	4.0	0.6	0
catiónico	40.0	7	6.8	13.1	12.5	10.5	2.0	0
no iónico	40.0	7	7.0	9.0	8.2	7.4	0.8	0
Zw1	40.0	7	6.8	17.1	12.1	10.7	1.4	0
Zw2	40.0	7	6.8	17.3	13.4	11.5	1.9	0
Zw3	40.0	7	7.0	13.0	10.2	9.2	1.0	0
aniónico	40.0	4	8.4	8.1	6.1	5.5	0.6	0
catiónico	40.0	4	8.1	6.1	2.9	2.2	0.7	0
no iónico	40.0	4	8.5	7.3	5.0	4.4	0.6	0
Zw1	40.0	4	7.0	11.2	8.1	7.2	0.9	0
Zw2	40.0	4	7.2	11.0	8.8	7.9	0.9	0
Zw3	40.0	4	7.4	7.9	6.4	5.6	0.8	0

TABLA 7.13. RESUMEN DE PRUEBAS DE JARRAS CON POLIMEROS COMERCIALES. TEMPERATURA AMBIENTE, VELOCIDAD ENTRE 20 y 40 R.P.M. (TURBIEDAD EN NTU, DOSIS EN mg).

Tipo de Polímero	Parámetro(s) Constante(s)	Parámetro(s) Variable(s)
ANIONICO	Turbiedad: 13,24,30,33,44,46,50,60,70,70,72 pH: 8.5,1.8,4.7,1.7,7.0,5.0,6.0,8.0,8.4,1.7,4.1	Dosis en el rango de 0.66 a 50.6
	Dosis: 20, 45, 25 pH: 8.4, 1.85, 8.1	Turbiedad: 85, 20, 40, 60
CATIONICO	Turbiedad: 21,10,25,30,50,120,25,110,110,70. pH: 8.5,2.3,2.0,1.76,6.6,2.0,3.0,7.5,4.0	Dosis en el rango de 0.2 a 138.0
	Dosis: 30, 1.0, 1.0, 1.0 pH: 8.3, 3.86, 1.35, 1.7	Turbiedad: 60-110 (1,3) 21-82 (4)
NO IONICO	Turbiedad: 10,20,20,10,20,80,50,88,60,26,50,50, 106,45,54,53. pH: 6.0,8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,7.5,1.0,1.8,1.8, 3.0,6.0,8.0,5.0,4.0	Dosis en el rango de 1.0 a 86.7
	Dosis: 1.3, 1.4 pH: 8.5, 1.55.	Turbiedad: 10-60 (1) 16-70 (2)

TABLA 7.14. RESUMEN DE PRUEBAS DE JARRAS CON POLIMEROS ZWITTERIONICOS. TEMPERATURA AMBIENTE. VELOCIDAD ENTRE 20 y 40 R.P.M. (TURBIEDAD EN NTU, DOSIS EN mg).

Tipo de Polímero	Parámetro(s) Constante(s)	Parámetro(s) Variable(s)
ZWITTERIONICO UNO	Turbiedad: 20,80,90,60,25,90,10,50,30, 30,25,11,50,80,90,62,66,80. pH: 8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,8.5,8.7, 8.6,6.0,8.5,8.5,8.6,2.0,2.0,2.0,5.0, 5.0	Dosis en el rango de 1.0 a 60.0
	Dosis: 1.0, 10.0 pH: 1.32, 8.5.	Turbiedad: 13-124 (1) 50-80 (2)
	Dosis: 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 Turbiedad: 78,144,156,100.92,164.	pH: 2.8-8.2 (1,2); 1.76-7.76 (3,4); 0.95-6.0 (5,6).
ZWITTERIONICO DOS	Turbiedad: 20,40,40,85,105,120,37,15, 180,60,180,54,44,52,90,64,40, 86,80,90,70,200,110,110,200, 200,200,48,102,30,29,29,30, 108,62. pH: 8.6,4.0,7.0,9.6,9.9,8.6,8.6,8.6,8.7, 8.7,1.0,1.0,2.8,3.7,1.75,1.65,1.92, 3.0,4.0,4.0,3.0,6.5,6.5,2.0,6.5,10.0, 2.0,2.3,1.0,2.0,1.5,1.8,1.2,5.0.	Dosis en el rango de 1.0 a 300.0
	Dosis: 40.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0. Turbiedad: 120,100,64,70,30,45,75.	pH: 1.0-8.8 (1); 1.56- 2.7 (2); 2.2-7.0(3); 1.5-8.25(4); 1.6- 8.25 (5); 2.0-35.0 (6,7)
	Dosis: 1.0, 10.0 pH: 2.4, 8.5.	Turbiedad 11-128 (1); 50-80 (2)
ZWITTERIONICO TRES	Turbiedad: 120,32,136,26,52,50,78. pH: 2.0,2.0,2.5,2.3,6.0,7.0,5.0.	Dosis en el rango de 1.0 a 52.0
	Dosis: 1.0, 8.0 pH: 1.55, 1.6.	Turbiedad: 20-120 (1) 13-140 (2)
	Dosis: 1.0, 1.0, 1.0. Turbiedad: 19, 67, 80.	pH: 2.0 - 8.40

8. CONCLUSIONES

Los estudios realizados con las pruebas de jarras nos permitieron obtener algunas conclusiones importantes respecto al funcionamiento de los polímeros Zwitteriónicos con respecto a los floculantes comerciales, cuya eficiencia está probada. La más importante conclusión, obviamente, es que los polímeros Zwitteriónicos si funcionan, y en muchos casos mejor aún que los polímeros comerciales.

Analizando cuidadosamente los resultados, concluimos que:

- . Los polímeros Zwitteriónicos tienen un comportamiento similar a los polímeros comerciales con que se trabajó; esto es respecto a pH de trabajo, dosis óptima, remoción de turbiedad orgánica y turbiedad inorgánica.

- . Los polímeros Zwitteriónicos funcionan mejor a pH ácido. El efecto en la floculación es más notable a partir de pH = 4. A pHs básicos, el polímero Zw2 es el más eficiente de los tres.
- . La dosis óptima de los tres polímeros es de 1 ppm; una dosis muy pequeña que es prometedora en cuanto a relación eficiencia-costo.
- . La remoción de turbiedad inorgánica (bentonita) fue doblemente efectiva que la remoción de turbiedad orgánica. Mientras que en el primer caso se obtienen eficiencias de más del 90% en condiciones óptimas, en el segundo caso, no se encontraron condiciones que proporcionaran eficiencias mayores del 45%.
- . Los flóculos que forman los polímeros Zwitteriónicos no son muy grandes, sin embargo la sedimentación al cabo de 5 minutos es total. Esto es un indicio de que los flóculos son compactos, y en relación al Índice de Willcomb se pueden clasificar como flóculos del número 10 (excelentes), ya que el agua queda cristalina.
- . En cuanto al consumo de oxígeno disuelto en agua, los polímeros Zwitteriónicos (y los comerciales) no presentan efectos significativos.

Los sólidos suspendidos que quedan después del tratamiento con los polímeros son muchos, por lo que una filtración de estos pequeños flóculos incrementaría de manera importante la eficiencia del proceso (75%).

Respecto a aspectos físico-químicos se comprobó que la mayor presencia de partículas disueltas en el agua beneficia a la floculación, debido a la mejor interacción entre ellas.

La floculación inducida mecánicamente es más rápida y efectiva que la que se da por el movimiento Browniano solamente. Además de la rapidez, la eficiencia no es la misma, según se vio en la experimentación; por lo que es concluyente que la floculación ortocinética es la única de importancia en el tratamiento de agua.

Los polímeros comerciales que se utilizaron, ya se habían ocupado en proyectos anteriores como ayudantes de coagulación, resultando ser sumamente efectivos en la remoción de materia orgánica de la planta de Ciudad Universitaria en compañía de Sulfato de Aluminio. La dosis obtenida como óptima fue de 4 a 5 ppm. Dado el comportamiento tan similar de los polímeros Zwitteriónicos con los comerciales, es lógico esperar que también funcionarían adecuadamente como ayudantes de coagulación en dicho tratamiento. No obstante, hay que realizar más expe

rimentos para probarlo.

El alcance que puede tener este estudio, es mucho mayor, por ejemplo, conocer el comportamiento de los polímeros Zwitteriónicos en la remoción de sustancias tóxicas, metales pesados, etc. Sin embargo hemos dado el primer paso en la investigación de sustancias potencialmente superiores en cuanto a funcionamiento que las existentes hasta ahora.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Amy, Barry L. y Paul A. Chadik. "Cationic polyelectrolytes as primary coagulants for removing trihalomethane precursors". Research and Technology. Journal AWWA. October, 1983.
2. Argaman, Y.A. "Pilot-Plant Studies of Flocculation". Journal AWWA. December, 1971.
3. Carns, Keith E. y Judith Dickson Parker. "Using Polymers with Direct Filtration". Management and Operations. Journal AWWA. March, 1985.
4. CEPIS. "Teoría, Diseño y Control de los procesos de clarificación del agua". Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Serie Técnica 13. Centro Panamericana

no de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

1973.

5. Cornwell, David A. y Mark M. Bishop. "Determining Velocity gradients in laboratory and full-scale systems". Research and Technology. Journal AWWA. September, 1983.
6. Degremont. "Manual Técnico del Agua". Parte I y II. Artes Gráficas Grijelmo, S.A., 4a. Edición. España, 1979.
7. Faust, Samuel D. y Osma M. Aly. "Chemistry of Water Treatment". Butterworks Publishers. Boston, U.S.A., 1983.
8. Gutcho, Sidney. "Waste Treatment with Polyelectrolytes". Pollution Control Review No. 8. Noyes Data Corporations. Noyes Building. Park Ridge, New Jersey 07656, USA. 1972.
9. Hudson, Herbert E. Jr. "Physical Aspects of Flocculation". Journal AWWA. New York, N.Y., Jul., 1965.
10. Lagunakar, Ashok L. y Robert S. Gemmill. "A Size-Density Relationship for Flacs". Journal AWWA. September, 1968.

11. Lawler, Desmond F., Edmundo Izurieta y Chein-Ping Kao. "Changes in particle size distributions in batch flocculation". Research and Technology. Journal AWWA. December, 1983.
12. Letterman, Raymond D., J.E. Quon y Robert S. Gemmill. "Influence of Rapid-Mix Parameters on Flocculation". Water Technology/Quality. Journal AWWA. November, 1973.
12. Maskew Fair, Gordon y John Charles Geyer. "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales". Ed. Limusa, 2a. Reimpresión. México, 1976.
14. Mhaisalkar-, V.A., R. Paramasivan y A.G. Bhole. "An Innovative Technique for determining Velocity Gradient in Coagulation-Flocculation Process". Wat. Res. Vol. 20. No. 10. Great Britain, England. November, 1985.
15. MTA. "Manual de Tratamiento de Aguas". Ed. Limusa Wiley, S.A. México, D.F. 1964.
16. Monroy S. y J.C. Galin. "Poly(sulphopropylbetaines): 2. Dilute Solution properties". Polymer. Vol. 25. February, 1984.

17. Olsen, Annette. "Low Technology Water Purification by Bentonite clay and Moringa Oleifera seed Flocculation as performed in Sudanese Villages: Effects on Schistosoma Mansoni Cercariae". Wat. Res. Vol. 21. No. 5. Great Britain, England. March, 1985.
18. Reed, Gregory D. y Patricia C. Mery. "Influence of Floc Size Distribution on Clarification". Research and Technology. Journal AWWA. August, 1986.
19. Rey. P.A. y R.G. Barsanik. "Application and Function of Synthetic Polymeric Flocculents in Wastewater Treatment". American Chemical Society. Calgon Corporation, Pittsburgh. 1986.
20. Sanks, Robert L. "Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer". Ann Arbor Science Publishers Inc. 3rd. Printing. 1980.
21. Shine, Donald K. "Polymers Reduce Cost and Improve Efficiency in Water Treatment Plant". Water and Sewage Works. Wyoming, Michigan. December, 1977.
22. Viessman, Warren Jr. y Mark J. Hammer. "Water Supply and Pollution Control". 4th edition. Hasper y Row, Publishers, New York. 1985.

23. Weber, Walter J. Jr. "Physico-chemical Processes for Water Quality Control". A Wiley-Interscience Publication, 1984.

24. Yusa, M. y C. Igarashi. "Compaction of Flocculated Material". Water Res. Vol. 18. No. 7. Great Britain, In gland, September, 1982.

A N E X O I

La determinación de la turbiedad producida por cierta cantidad de bentonita agregada al agua, arrojó los siguientes resultados:

gr/lt	NTU producidos	
0.0080	2.2	
0.0160	6.2	
0.0280	8.3	
0.0400	14.0	
0.0700	20.0	
0.0800	26.0	
0.1000	30.0	
0.1200	40.0	
0.1525	50.0	
0.1550	52.0	
0.1600	54.0	
0.1800	60.0	
0.2000	64.0	
0.2100	70.0	
0.2200	74.0	
0.2400	76.0	
0.2500	80.0	
0.2600	84.0	
0.2800	86.0	
0.2900	90.0	
0.3000	104.0	
0.3200	106.0	
0.3600	116.0	
0.4000	132.0	No bien disuelto
1.6000	Fuera de escala	
2.0000	Fuera de escala	

A N E X O I I

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero Aniónico Comercial a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (AEREADA).

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.4	13	15	11.0	54	8.4
7.0	13	16	10.0	55	7.8
20.0	13	18	9.4	56	8.0
30.0	13	19	9.0	60	8.1
40.0	13	20	10.0	58	8.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH (min)	θ_1 (min)	NTU ₁
20	85	8.5	26	66
20	55	8.5	23	44

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.9479	70	8.41	20	28	55	24
5.6417	70	8.41	21	36	56	30
10.2450	70	8.41	22	36	57	31
21.0233	70	8.41	23	39	58	33
29.8929	70	8.41	24	40	59	36
49.9844	70	8.41	25	40	60	37

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.6504	60	2.95	25	13.0	50	13.0
5.0860	60	2.35	26	14.0	51	12.0
9.9362	60	6.05	27	34.0	52	30.0
21.8373	60	2.54	28	9.0	53	7.2
30.8304	60	2.16	29	8.2	54	7.5
46.8070	60	1.85	30	4.8	55	4.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.8132	152	2.05	16	13	50	13.0
2.9078	58	1.85	17	14	51	11.0
4.6762	29	1.85	18	8	52	6.5
6.0684	74	1.75	19	13	53	9.0
27.6980	11	1.85	20	6	54	4.7
40.7442	88	1.75	21	11	55	8.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
2.2454	24	1.84	22	5.6	52	4.4
7.1069	24	1.84	23	4.8	53	4.3
10.4527	24	1.84	24	6.0	54	4.0
24.7957	24	1.84	25	4.2	55	3.8
32.0149	24	1.84	26	4.4	56	4.1
49.8047	24	1.84	27	5.4	57	4.2

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
2.5261	70	1.7	17	9.6	62	7.5
7.1462	70	1.7	18	11.0	63	7.3
13.0967	70	1.7	19	10.0	64	6.8
21.8822	70	1.7	20	8.4	65	6.3
32.0766	70	1.7	21	6.2	66	5.1
44.4773	70	1.7	22	6.4	66	4.6

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0834	33	1.7	15	8.2	65	7.5
2.8349	33	1.7	16	7.7	66	6.0
7.7693	33	1.7	17	6.7	67	4.9
15.6902	33	1.7	18	5.8	68	4.5
25.3009	33	1.7	19	5.2	69	3.9
38.5380	33	1.7	20	5.0	70	3.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
45.7123	20	1.85	18	8.0	55	3.4
45.4934	40	1.85	20	5.0	56	4.5
45.5271	60	1.85	22	6.5	57	5.0
40.0200	20	1.85	19	4.5	58	3.5
39.7169	40	1.85	21	4.8	59	4.0
38.9310	60	1.85	22	5.3	60	4.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
22.0618	20	8.10	15	13	50	11
21.9776	40	8.10	16	24	51	20
23.3417	60	8.10	17	34	52	27
28.2818	20	8.10	18	14	53	12
29.7694	40	8.10	19	24	54	21
28.5793	60	8.10	20	24	55	28

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
31.40	44	7.0	20	28	40	26
7.63	44	7.0	21	25	41	23
6.05	44	7.0	22	24	42	22
4.40	44	7.0	23	21	43	19
2.73	44	7.0	24	21	44	18
1.08	44	7.0	25	17	45	14

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
49.78	46	5.03	20	28.0	40	24.0
8.30	46	5.03	21	20.0	41	17.0
5.29	46	5.03	22	16.0	41	15.0
4.49	46	5.03	23	16.0	42	16.0
2.91	46	5.02	24	13.0	43	11.0
1.07	46	5.03	25	9.4	44	8.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
42.38	30	4.72	20	22	40	21
20.52	30	4.72	21	21	41	20
9.37	30	4.72	22	18	41	15
4.86	30	4.72	23	15	42	13
2.43	30	4.72	24	12	43	11
0.66	30	4.72	25	11	43	10

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.16	72	4.1	20	17	41	14
2.80	72	4.1	21	15	42	13
6.46	72	4.1	21	18	43	16
14.61	72	4.1	22	26	44	21
23.44	72	4.1	22	27	45	25
49.35	72	4.1	23	31	46	27

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
0.758	60	3.03	21	13	42	11
2.537	60	3.03	22	13	42	10
5.709	60	3.03	23	15	43	12
13.484	60	3.03	24	20	44	16
23.477	60	3.03	25	24	44	19
38.807	60	3.03	26	30	45	24

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.083	50	6.02	20	19	40	15
2.790	50	6.02	21	20	41	17
6.742	50	6.02	22	21	42	18
12.984	50	6.02	23	24	42	22
26.485	50	6.02	24	26	43	24
50.591	50	6.02	25	29	44	27

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero Catiónico Comercial a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m., y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (SIN AEREAR)

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
0.2176	21	16	16	75	11.0
0.5440	21	17	15	77	10.0
1.0880	21	19	13	80	9.3
2.1761	21	20	13	81	9.4
3.2641	21	21	12	85	8.2
3.9170	21	22	12	86	8.2
nada	21	17	21	70	18.0

- AGUA DE LA RED (AEREADE)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.077	10	2.27	15	7.6	40	6.8
21.282	10	2.27	16	8.2	41	6.8
49.049	10	2.27	17	8.2	42	7.0
1.045	25	2.07	18	15	43	12.0
20.238	25	2.07	19	17	44	14.0
48.995	25	2.07	20	20	45	17.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.088	30	1.76	40	7.4	60	7.0
20.151	30	1.76	41	7.8	61	7.2
49.093	30	1.76	42	11.0	62	8.9

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0770	50	6.63	20	24	50	20
4.7900	50	6.63	21	24	51	22
10.1950	50	6.63	22	25	52	21
20.5970	120	1.96	23	16	53	14
31.0750	120	1.96	24	19	54	15
51.6830	120	1.96	25	22	55	18

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.142	21	1.73	20	6.6	45	5.9
1.099	82	1.73	21	8.3	46	7.2
1.153	34	1.74	22	5.9	47	5.0
1.142	46	1.74	23	5.6	48	5.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
2.219	40	2.45	20	9.2	41	8.6
1.697	40	2.45	21	8.0	42	7.3
1.251	40	2.45	22	8.4	43	7.9
1.088	40	2.50	23	8.2	44	7.9
1.034	40	2.50	24	7.9	45	7.6
0.979	40	2.50	25	7.8	46	6.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.088	60	1.35	20	6.4	45	5.7
1.088	70	1.35	21	8.0	46	7.3
1.088	80	1.35	22	7.8	47	6.4
1.088	90	1.35	23	6.9	48	5.8
1.088	100	1.35	24	5.8	49	4.2
1.088	110	1.35	25	7.9	50	7.6

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.088	60	3.86	23	11.0	49	9.8
1.088	70	3.86	24	8.4	50	7.0
1.088	80	3.86	25	8.9	51	7.6
1.088	90	3.86	26	7.6	52	6.9
1.088	100	3.86	27	7.9	53	6.9
1.088	110	3.86	28	7.9	54	5.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
92.20	25	3.0	20	14	40	13.0
50.19	25	3.0	21	13	41	11.0
12.24	25	3.0	22	12	42	10.0
9.02	25	3.0	23	11	43	9.6
4.78	25	3.0	24	10	44	8.8
2.29	25	3.0	25	9.7	45	8.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
92.310	110	7.0	24	67	43	66
48.390	110	7.0	25	66	44	59
12.088	110	7.0	26	53	45	49
9.020	110	7.0	27	60	46	49
5.360	110	7.0	28	56	47	44
2.662	110	7.0	29	42	48	44

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.251	110	5.0	22	33	40	31
4.407	110	5.0	23	36	41	33
8.704	110	5.0	24	38	42	35
14.939	110	5.0	25	42	43	38
44.327	110	5.0	25	45	44	40
138.42	110	5.0	26	49	45	46

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.317	70	4.01	20	13	40	11
2.753	70	4.01	21	14	41	11
5.603	70	4.01	21	16	42	14
14.341	70	4.01	22	19	43	17
28.616	70	4.01	23	23	43	19
60.485	70	4.01	24	28	44	24

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero No-Iónico Comercial a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (SIN AEREAR).

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁
1.3734	10	80	4
1.3734	20	81	8
1.3734	30	85	14
1.3734	40	86	17
1.3734	50	87	21
1.3734	60	90	26

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	10	5	6.0	44	5.4
2.016	10	6	6.0	45	5.0
4.032	10	7	6.6	45	5.5
6.048	10	8	6.2	46	4.8
8.064	10	9	5.8	46	4.8
10.080	10	10	6.0	47	5.0

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	20	12	17	50	14
2.016	20	13	16	51	13
4.032	20	14	14	52	11
6.048	20	15	13	53	10
8.064	20	16	14	54	10
10.080	20	17	15	54	12

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	20	11	17	42	13
2.016	20	12	16	43	13
4.032	20	13	14	44	12
6.048	20	14	12	45	12
8.064	20	15	14	46	12
10.080	20	16	14	46	13

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	10	11	6.0	51	4.8
2.016	10	12	6.2	52	5.0
4.032	10	13	5.8	53	4.9
6.048	10	14	5.6	54	4.8
8.064	10	15	5.7	55	4.1
10.080	10	16	5.6	56	4.0

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	20	10	15	37	12
2.016	20	11	14	38	12
4.032	20	12	18	39	12
6.048	20	13	12	40	12
8.064	20	14	11	41	11
10.080	20	15	12	42	12

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	80	13	52	45	39
2.016	80	14	51	46	40
4.032	80	15	48	47	42
6.048	80	17	49	48	40
8.064	80	18	52	49	38
10.080	80	20	64	50	40

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.008	50	10	33	44	29
2.016	50	11	32	45	27
4.032	50	12	32	46	28
6.048	50	13	35	47	28
10.080	50	15	29	49	26
28.224	50	14	33	48	28

- AGUA DE LA RED (AEREADE)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
0.879	60	1.05	20	5.1	65	4.9
5.865	60	1.05	21	7.2	66	7.2
13.308	60	1.05	22	8.4	67	6.7
23.623	60	1.05	23	9.0	68	8.2
38.579	60	1.05	24	12.0	69	11.0
51.957	60	1.05	25	14.0	70	14.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.401	16	1.55	17	6.4	55	4.1
1.373	22	1.55	18	5.9	56	4.4
1.346	38	1.55	19	4.8	57	4.3
1.511	46	1.55	20	4.7	58	4.1
1.250	70	1.55	21	4.9	59	4.3
1.442	56	1.55	22	5.4	60	4.7

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.140	26	1.87	25	12	40	9.1
24.406	26	1.87	26	13	41	11.0
51.394	26	1.87	27	13	41	12.0
1.456	50	1.87	28	12	42	10.0
23.843	50	1.87	29	18	43	16.0
51.778	50	1.87	30	22	44	21.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
71.820	40	3.03	18	25	35	22
36.080	40	3.03	19	24	36	21
16.080	40	3.03	20	21	37	19
8.750	40	3.03	21	19	38	16
3.270	40	3.03	22	16	39	13
1.401	40	3.03	23	14	40	12

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.827	106	6.0	20	42	40	35
3.543	106	6.0	21	47	41	40
12.443	106	6.0	22	52	42	43
8.914	106	6.0	23	48	43	43
29.831	106	6.0	24	55	44	51
40.263	106	6.0	25	62	45	53

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.909	45	8.0	19	25	43	20
3.461	45	8.0	20	25	44	22
10.506	45	8.0	21	27	45	24
15.891	45	8.0	22	26	46	24
30.929	45	8.0	23	29	47	26
86.238	45	8.0	24	32	48	27

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.579	54	5.0	23	25	46	21
3.433	54	5.0	24	25	47	23
10.000	54	5.0	25	28	48	25
13.863	54	5.0	26	26	49	22
37.290	54	5.0	27	27	50	24
83.120	54	5.0	28	28	51	26

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.799	53	3.98	20	28	40	20
3.543	53	3.90	21	23	41	20
10.534	53	3.98	22	23	42	21
16.385	53	3.98	23	25	43	23
30.929	53	3.98	24	26	44	24
86.957	53	3.98	25	26	45	25

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero P(Poli N-Ndimetil amino etil metacrilato N oxido) (Zwl) a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (SIN AEREAR).

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	20	19	15	51	12
5.0	20	18	15	52	12
10.0	20	17	14	53	12
15.0	20	15	14	54	12
20.0	20	13	15	55	13
30.0	20	12	15	56	12

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	90	10	56	49	42
5.0	90	11	50	50	42
10.0	90	13	48	51	43
15.0	90	15	51	53	44
20.0	90	16	53	54	42
50.0	90	18	53	56	44

- AGUA DE LA RED (AEREADA).

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
2.0	60	19	38	62	33
10.0	60	20	37	63	34
20.0	60	21	37	64	31
30.0	60	22	37	65	33
40.0	60	23	36	66	29
50.0	60	24	36	67	29

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.5	25	22	14	40	13
10.0	25	22	12	41	12
20.0	25	21	12	42	12
30.0	25	21	12	43	12
40.0	25	20	12	44	12
60.0	25	19	12	45	12

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	90	19	48	60	40
5.0	90	20	49	60	40
10.0	90	21	50	61	40
20.0	90	22	52	62	42
30.0	90	23	51	63	42
50.0	90	24	50	64	43

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
5.0	10	8.5	15	7.4	61	6.6
10.0	10	8.5	16	7.4	63	6.6
20.0	10	8.5	17	7.4	65	7.0
30.0	10	8.5	18	5.8	69	6.0
40.0	10	8.5	19	6.0	70	5.7

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	50	8.6	25	36	55	34
5.0	50	8.6	26	40	56	34
10.0	50	8.6	27	40	57	32
20.0	50	8.6	28	44	58	32
30.0	50	8.6	29	38	59	21
40.0	50	8.6	30	41	60	33

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	20	2.0	26	13	60	9.8
6.0	20	6.0	27	16	61	14.0
10.0	30	6.0	29	26	62	24.0
20.0	30	6.0	30	25	63	22.0
30.0	30	6.0	31	30	64	25.0
40.0	20	6.0	32	16	65	15.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁		
10.0	80	8.5	24	55		
10.0	50	8.5	21	38		

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	11	12	6.0	37	5.6
5.0	11	13	5.6	38	5.3
7.0	11	14	5.6	39	5.6
13.0	11	15	10.2	40	9.4
17.0	11	16	6.2	41	5.8
20.0	11	17	5.6	42	5.2

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
90.0	38	8.5	25	38	55	33
60.0	42	8.5	24	54	54	42
30.0	38	8.5	23	40	53	32
9.0	38	8.5	22	38	52	33
6.0	56	8.5	21	50	51	38
3.0	56	8.5	20	50	50	39

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
200.0	54	8.6	27	33	51	30
100.0	54	8.6	28	35	52	33
80.0	54	8.6	29	35	53	33
36.0	50	8.6	30	29	54	27
10.0	50	8.6	31	32	55	30
5.0	50	8.6	32	31	56	28

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	78	6.24	27	16.0	60	14.0
1.0	78	3.18	28	5.6	61	5.3
1.0	78	2.62	29	5.2	62	4.8
1.0	144	8.22	30	3.2	63	29.0
1.0	144	5.65	31	4.2	64	3.9
1.0	144	2.85	32	10.0	65	8.6

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	156	7.76	14	41.0	46	29.0
1.0	156	2.64	15	8.0	47	5.9
1.0	156	2.16	15	7.2	48	6.2
1.0	100	7.66	16	46.0	49	35.0
1.0	100	3.20	16	6.9	50	5.7
1.0	100	1.76	17	4.7	51	4.2

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	82	2.0	16	5.4	40	4.9
8.0	82	2.0	17	5.5	41	4.8
5.0	82	2.0	18	5.7	42	4.7
3.0	91	2.0	19	4.5	43	4.6
1.0	91	2.0	20	4.4	44	3.9
0.6	91	2.0	21	4.6	45	3.9

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
5.0	62	1.8	17	24	56	16
7.0	62	1.8	18	23	57	17
15.0	62	1.8	19	38	58	25
7.0	62	2.0	20	17	59	12
7.0	62	2.0	20	19	60	13
15.0	62	2.0	23	34	61	23

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.3	66	5.07	24	25	45	20
5.3	66	5.07	25	22	46	16
12.3	66	5.07	26	31	46	23
21.9	66	5.07	27	40	47	32
37.5	55	5.07	28	41	47	35
52.1	66	5.07	29	44	48	39

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	80	3.96	20	8.6	40	7.4
2.3	80	3.96	21	8.8	41	7.8
6.8	80	3.96	22	17.0	42	13.0
10.4	80	3.96	23	23.0	42	17.0
22.8	80	3.96	24	38.0	43	27.0
42.0	80	3.96	25	41.0	44	33.0

- AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	50	17	34	63	28
5.0	50	18	34	61	27
10.0	50	19	34	59	27
20.0	50	20	34	58	28
40.0	50	21	34	56	29
50.0	50	22	35	56	30

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	44	7.0	21	34	57	33
20.0	44	7.0	22	34	58	33
10.0	44	8.6	23	36	59	35
20.0	44	8.6	25	36	60	34
10.0	44	10.0	26	38	61	38
20.0	44	10.0	27	38	62	37
10.0	28	4.5	20	28	59	27
20.0	28	4.5	21	28	61	27

Dosis (mg)	NTU ₀	θ_1 (min)	NTU ₁
1.0	25	30	24
5.0	25	30	24
10.0	25	31	24
15.0	25	32	24
25.0	25	32	24
45.0	25	33	24

- AGUA SUPERFICIAL (DINAMOS)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	164	6.04	15	100.0	60	78.0
1.0	164	3.06	16	90.0	61	70.0
1.0	164	0.95	17	8.8	62	7.8
1.0	92	3.90	18	42.0	63	34.0
1.0	92	0.97	19	9.0	64	8.4
1.0	92	2.44	20	21.0	65	18.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	88	1.35	20	8.3	70	7.2
1.0	124	1.32	21	6.7	71	5.3
1.0	48	1.32	22	7.8	72	7.2
1.0	24	1.32	23	6.6	73	6.0
1.0	13	1.32	24	4.8	74	4.1
1.0	33	1.32	25	5.3	75	5.1

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero P(2 vinilpiridina N oxido) (Zw2) a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (AEREADE)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁
1.0	20	8.6	29	10
5.0	20	8.6	28	11
40.0	20	8.6	27	11
10.0	30	8.6	26	17
20.0	30	8.6	25	19
30.0	30	8.6	24	21

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
20	40	4.0	36	21	42	18
10	40	4.0	35	24	43	23
20	40	7.0	34	22	44	19
10	40	7.0	33	22	45	20
20	40	8.5	32	25	48	24
10	40	8.5	31	31	50	26

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁
10	80	8.5	25	51
10	50	8.5	22	38

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	85	9.6	19	56	48	43
5.0	85	9.6	20	59	49	47
7.0	105	9.6	21	69	50	57
10.0	105	9.6	22	69	51	57
50.0	105	9.6	23	77	52	62
70.0	105	9.6	24	75	53	59

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	108	9.9	15	58	45	44
5.0	114	9.9	16	63	46	44
7.0	124	9.9	17	59	47	47
10.0	128	9.9	18	60	48	51
50.0	144	9.9	19	116	49	98
70.0	144	9.9	20	116	50	90

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
3.0	37	8.6	16	36	50	28
7.0	37	8.6	17	38	51	26
10.0	37	8.6	18	40	52	31
30.0	37	8.6	19	36	53	29
50.0	37	8.6	20	38	54	31
70.0	37	8.6	21	36	55	33

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
200.0	160	8.4	15	86	45	90
100.0	160	8.4	16	98	46	90
80.0	160	8.4	17	77	47	81
30.0	112	9.5	18	62	48	66
10.0	112	9.4	19	63	49	58
6.0	176	9.7	20	56	50	52

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	30	8.25	24	13.0	70	8.8
1.0	30	6.75	23	14.0	69	8.5
1.0	30	4.95	22	12.0	68	7.8
1.0	30	3.00	21	7.2	67	5.2
1.0	30	2.01	20	8.6	66	6.5
1.0	30	1.65	19	6.2	65	5.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	70	8.25	22	27.0	72	20.0
1.0	70	7.82	21	25.0	71	19.0
1.0	70	5.84	20	23.0	70	18.0
1.0	70	3.75	19	8.8	69	7.2
1.0	70	1.87	18	7.8	68	6.8
1.0	70	1.55	17	5.6	67	4.9

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	100	2.70	18	8.6	58	4.8
1.0	100	2.02	19	8.6	59	5.6
1.0	100	1.56	20	4.4	60	3.0
1.0	64	7.00	21	28.0	61	19.0
1.0	64	4.05	22	16.0	62	13.0
1.0	64	2.33	23	9.2	63	7.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
20.0	60	8.7	29	43	82	43
50.0	60	8.7	28	41	81	40
300.0	60	8.7	27	41	80	42
20.0	180	8.7	26	60	64	59
50.0	180	8.7	25	79	63	58
300.0	180	8.7	24	84	62	65

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
40.0	120	8.8	27	76	78	66
40.0	120	3.5	26	84	77	68
40.0	120	3.0	25	64	76	64
40.0	120	1.0	21	24	58	12
40.0	120	2.5	22	82	59	69
40.0	120	3.5	23	88	56	70

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁
10.0	54	1.0	18	30
20.0	54	1.0	19	25
40.0	54	1.0	20	20
10.0	44	1.0	21	29
20.0	44	1.0	22	28
40.0	44	1.0	23	20

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	52	2.82	25	40	36.0	
9.0	52	2.82	24	35	60	30.0
7.0	52	2.82	23	33	59	24.0
5.0	52	2.4	22	15	58	11.0
3.0	52	2.4	21	13	57	11.0
1.0	52	2.4	20	11	56	8.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
7.0	90	3.79	25	25	59	18.0
3.0	90	3.79	24	27	58	19.0
1.0	90	3.79	23	26	57	22.0
7.0	100	2.00	22	9	62	6.6
3.0	100	4.66	21	39	61	26.0
1.0	100	4.66	20	48	60	33.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
7.0	64	1.75	20	27	60	18.0
3.0	64	1.75	21	20	61	8.3
1.0	64	1.75	22	15	62	8.2
7.0	40	1.65	23	28	63	20.0
3.0	40	1.65	24	15	64	10.0
1.0	40	1.65	25	13	65	7.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
9.0	86	1.92	25	25.0	47	18.0
7.0	86	1.92	26	20.0	48	16.0
5.0	86	1.92	27	20.0	49	14.0
3.0	86	1.92	28	9.5	50	6.6
1.0	86	1.92	29	7.4	51	6.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
0.0	90	3.0	27	58	60	50
1.0	90	3.0	26	13	59	10
3.0	90	3.0	25	15	58	13
6.0	90	3.0	24	26	57	22
9.0	90	3.0	23	34	56	27
10.0	90	3.0	22	45	55	36

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	80	4	22	15	61	12.0
3.0	80	4	21	13	60	9.9
4.0	80	4	20	14	59	11.0
6.0	70	4	18	24	58	17.0
8.0	70	4	17	26	57	20.0
10.0	70	4	16	31	56	24.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	>200	3	28	10.0	72	5.8
3.0	>200	3	27	6.9	71	3.6
4.0	>200	3	26	9.0	70	4.8
6.0	>200	3	25	13.0	70	6.3
8.0	>200	3	24	13.0	69	6.0
10.0	>200	3	23	16.0	68	8.6

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	110	6.5	29	52.0	61	40.0
3.0	110	6.5	28	48.0	60	38.0
5.0	110	6.5	27	50.0	59	42.0
7.0	>200	2.0	26	4.6	58	3.8
9.0	>200	2.0	25	5.6	65	4.5
10.0	>200	2.0	24	11.0	64	7.8

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	>200	6.5	27	96	66	98
3.0	>200	6.5	26	74	65	66
5.0	>200	6.5	25	68	64	57
7.0	>200	6.5	24	83	63	69
9.0	>200	6.5	23	87	62	71
10.0	>200	6.5	22	88	61	74

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	48	2.0	16	38	47	31
9.0	48	2.0	17	35	49	29
7.0	48	2.0	18	30	49	24
5.0	48	2.0	19	25	50	19
3.0	48	2.0	19	17	50	14
1.0	48	2.0	20	13	51	11

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	>200	10	26	109	59	93
5.0	>200	10	25	92	57	75
9.0	>200	10	23	106	55	90

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	102	2.3	24	35.0	58	26.0
9.0	102	2.3	25	32.0	59	22.0
7.0	102	2.3	26	27.0	60	20.0
5.0	102	2.3	27	15.0	60	13.0
3.0	102	2.3	28	11.0	61	9.2
1.0	102	2.3	29	7.6	62	6.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
8.0	30	1.0	17	20	59	14
10.0	30	1.0	18	23	60	16
20.0	30	1.0	19	23	61	18
40.0	30	1.0	20	25	62	19
60.0	30	1.0	21	26	63	21
80.0	30	1.0	22	28	64	21

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
9.0	29	2.0	30	19	61	14
40.0	29	2.0	31	25	62	22
70.0	29	2.0	32	28	63	22
9.0	29	1.5	33	21	64	15
40.0	29	1.5	34	25	65	21
70.0	29	1.5	35	28	66	21

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
10.0	30	1.8	20	25	59	18
40.0	30	1.8	21	26	60	19
70.0	30	1.8	22	24	61	19
10.0	28	1.8	23	20	62	18
40.0	28	1.8	24	22	63	20
70.0	28	1.8	26	23	64	20

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	108	1.2	16	5.0	31	4.4
3.0	108	1.2	17	5.7	32	4.5
5.0	108	1.2	18	4.5	33	4.5
7.0	108	2.1	19	33.0	34	29.0
9.0	108	2.1	20	26.0	35	23.0
10.0	108	2.1	21	39.0	36	26.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	62	5.01	20	20	40	18
2.5	62	5.01	21	23	41	20
7.4	62	5.01	21	28	42	24
11.1	62	5.01	22	28	43	24
24.6	62	5.01	23	30	44	24
40.4	62	5.01	24	30	45	25

- AGUA SUPERFICIAL (DINAMOS)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	45	3.46	20	24	55	19.0
1.0	45	2.71	21	19	56	15.0
1.0	45	2.20	22	12	57	9.2
1.0	75	3.41	23	34	58	26.0
1.0	75	2.41	24	15	59	14.0
1.0	75	2.00	25	14	60	13.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	11	2.41	22	3.8	51	3.0
1.0	20	2.42	23	9.4	52	8.6
1.0	38	2.40	24	13.0	53	12.0
1.0	68	2.40	24	16.0	54	14.0
1.0	92	2.40	25	17.0	55	16.0
1.0	128	2.42	25	21.0	55	19.0

- AGUA DE LA RED (SIN AEREAR)

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	80	1.90	30	8.2	52	7.4
3.0	>200	10.0	25	80.0	58	71.0
7.0	>200	10.0	24	83.0	56	67.50
10.0	>200	10.0	22	92.0	55	57.50

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con el Polímero P(4 vinil piridina N óxido) (Zw3) a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (AEREADE).

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	11.0	8.0	17	8.6	30	8.6
4.0	18.0	8.0	18	17.0	31	16.0
8.0	70.0	8.0	19	36.0	32	36.0
1.0	100.0	8.0	20	43.0	33	38.0
12.0	55.0	8.0	21	38.0	34	30.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	38	2.57	22	28	55	23
2.0	38	2.05	23	27	56	22
3.0	38	1.66	24	31	57	23
1.0	148	2.70	25	98	58	84
2.0	148	3.04	26	106	59	86
3.0	148	1.76	27	86	60	61

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
8.0	64	1.66	21	43	65	36.0
8.0	13	1.66	20	9	64	7.6
8.0	20	1.61	19	14	63	12.0
8.0	43	1.56	18	36	62	27.0
8.0	90	1.57	17	74	61	49.0
8.0	140	1.56	16	74	60	60.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	19	8.35	17	12.0	56	8.7
1.0	19	5.7	18	11.0	57	7.5
1.0	19	2.0	19	8.5	58	5.7
1.0	67	8.35	20	40.0	59	28.0
1.0	67	2.91	20	14.0	60	10.0
1.0	67	2.15	21	12.0	60	9.4

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	80	8.40	15	55.0	55	38.0
1.0	80	5.95	16	53.0	56	37.0
1.0	80	3.95	17	31.0	57	20.0
1.0	80	2.85	18	20.0	58	15.0
1.0	80	2.40	18	15.0	59	11.0
1.0	80	1.95	19	7.7	60	6.2

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	120	2.05	20	7.4	50	6.2
3.0	120	2.05	21	7.4	51	5.9
6.0	120	2.05	22	8.0	52	7.2
1.0	32	2.00	23	6.1	53	4.5
3.0	32	2.00	24	4.8	54	3.7

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	136	2.5	15	14.0	45	0.2
3.0	136	2.5	16	13.0	46	9.0
5.0	136	2.5	17	13.0	47	9.6
1.0	26	2.3	18	8.4	48	6.8
3.0	26	2.3	19	9.8	49	7.3
5.0	26	2.3	20	12.0	50	8.0

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.0	20	1.55	20	4.6	45	3.8
1.0	30	1.55	21	5.1	46	4.6
1.0	42	1.55	22	5.2	47	4.8
1.0	60	1.55	23	4.8	48	4.4
1.0	92	1.55	24	4.9	49	4.4
1.0	120	1.55	25	4.6	50	4.1

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.1	52	6.0	22	28	43	27
5.1	52	6.0	23	28	44	24
10.8	52	6.0	24	28	45	26
20.7	52	6.0	25	32	46	27
31.7	52	6.0	26	30	47	27
52.2	52	6.0	27	29	48	27

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
1.1	50	6.96	21	36	40	32
3.4	50	6.96	22	37	41	32
6.0	50	6.96	22	37	42	33
10.8	50	6.96	23	39	42	33
20.1	50	6.96	24	42	43	36
41.8	50	6.96	25	42	43	36

Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
0.9	78	5.01	20	48	40	36
4.0	78	5.01	21	31	41	23
7.6	78	5.01	22	34	42	25
12.2	78	5.01	23	42	42	35
22.4	78	5.01	24	58	43	46
42.2	78	5.01	25	60	44	52

Resultados de las Pruebas de Jarras realizadas con los tres Polímeros Comerciales (aniónico, catiónico, no iónico) y los tres Polímeros Zwitteriónicos a temperatura ambiente, un minuto de agitación a 130 r.p.m. y 25 minutos a 30 r.p.m., con turbiedad lograda con la adición de bentonita.

- AGUA DE LA RED (AEREADA)

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0014	100	1.04	21	4.8	40	4.6
Zw2	0.0015	100	1.04	22	4.9	41	4.5
Zw3	0.0013	100	1.04	23	4.2	42	3.9
aniónico	4.7772	100	1.04	24	9.2	43	7.6
catiónico	1.9585	100	1.04	25	7.2	44	6.6
no iónico	2.4172	100	1.04	26	6.8	45	5.9

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
no iónico	1.4558	46	2.37	23	10.0	50	8.3
catiónico	1.2512	46	2.37	24	10.0	51	8.5
aniónico	0.2694	46	2.37	25	9.6	52	7.6
Zw3	0.0012	46	2.37	26	8.7	53	7.0
Zw2	0.0012	46	2.37	27	8.8	54	7.2
Zw1	0.0010	46	2.37	28	8.1	55	7.0

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
aniónico	6.7139	33	0.85	19	6.2	41	4.8
catiónico	1.4035	33	0.85	20	6.0	41	5.0
no iónico	1.6481	33	0.85	20	6.7	42	4.9
Zw1	0.0011	33	0.85	21	5.9	42	4.8
Zw2	0.0009	33	0.85	21	5.9	43	4.9
Zw3	0.0009	33	0.85	22	5.4	44	4.1

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
aniónico	5.1758	82	0.95	19	7.0	40	6.2
catiónico	1.8932	82	0.95	20	6.5	41	5.6
no iónico	1.6756	82	0.95	21	5.7	42	5.6
Zw1	0.0011	82	0.95	22	4.0	43	3.3
Zw2	0.0009	82	0.95	23	3.1	44	2.7
Zw3	0.0010	82	0.95	24	3.6	45	2.9

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
aniónico	6.1750	38	1.95	22	8.0		
catiónico	1.4144	38	1.95	23	10.0		
no iónico	1.5932	38	1.95	24	9.9		
Zw1	0.0010	38	1.95	25	9.0		
Zw2	0.0010	38	1.95	26	7.9		
Zw3	0.0010	38	1.95	27	8.3		

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
aniónico	0.0020	46	8.26	21	33	42	27
catiónico	0.0025	46	8.26	22	34	43	27
no iónico	0.0022	46	8.26	23	33	44	29
Zw1	10.9860	46	8.26	24	31	45	28
Zw2	48.5272	46	8.26	25	33	46	31
Zw3	64.4140	46	8.26	26	32	47	27

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0019	62	2.66	22	14	40	13.0
Zw2	0.0018	62	2.66	23	16	41	12.0
Zw3	0.0017	62	2.66	24	16	42	9.4
aniónico	4.7604	62	2.66	25	16	42	12.0
catiónico	1.6864	62	2.66	26	12	43	11.0
no iónico	1.5657	62	2.66	27	11	44	9.8

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0012	34	3.07	20	9.6	40	6.2
Zw2	0.0012	34	3.07	21	10.0	41	7.5
Zw3	0.0009	34	3.07	22	11.0	42	8.4
aniónico	5.5070	34	3.07	23	16.0	43	13.0
catiónico	1.8170	34	3.07	24	19.0	49	17.0
no iónico	1.5932	34	3.07	25	14.0	45	11.0

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0012	40	6.96	21	23	43	18
Zw2	0.0012	40	6.96	22	18	44	16
Zw3	0.0010	40	6.96	23	23	45	19
aniónico	5.1926	40	6.96	24	24	46	18
catiónico	4.6133	40	6.96	25	25	47	20
no iónico	1.4970	40	6.96	26	28	48	17

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0012	41	3.03	20	11.0	41	9.0
Zw2	0.0013	41	3.03	21	9.9	42	9.1
Zw3	0.0008	41	3.03	22	10.2	43	9.2
aniónico	5.1084	41	2.99	23	13.0	44	11.0
catiónico	5.0594	41	2.99	24	17.0	45	15.0
no iónico	1.6759	41	2.99	25	13.0	46	11.0

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0014	41	2.01	20	9.1	42	7.0
Zw2	0.0011	41	2.01	21	10.3	43	8.2
Zw3	0.0008	41	2.01	22	8.3	44	6.4
aniónico	0.2133	41	2.01	23	11.4	45	8.2
catiónico	5.1138	41	2.01	24	10.6	46	7.8
no iónico	1.8404	41	2.01	25	9.3	47	6.6

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0011	40	4.01	23	7.2	46	5.3
Zw2	0.0012	40	4.01	24	9.3	47	7.8
Zw3	0.0009	40	4.01	25	9.0	48	7.5
aniónico	5.0579	40	4.01	26	9.3	49	8.1
catiónico	5.2009	40	4.01	27	12.6	50	12.0
no iónico	1.8953	40	4.01	28	10.5	51	9.8

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0011	40	6.0	22	29	41	25
Zw2	0.0012	40	6.0	23	25	42	23
Zw3	0.0012	40	6.0	24	22	41	19
aniónico	5.3891	40	6.0	25	23	43	19
catiónico	5.0703	40	6.0	26	29	44	24
no iónico	1.9091	40	6.0	27	30	40	25

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0012	41	5.02	20	13	40	11
Zw2	0.0012	41	5.02	21	24	41	20
Zw3	0.0012	41	5.02	22	15	42	14
aniónico	0.0994	41	5.02	22	19	42	15
catiónico	0.0459	41	5.02	23	21	43	18
no iónico	0.0130	41	5.02	24	21	44	17

- AGUA SUPERFICIAL (DINAMOS)

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.001	79	0.94	15	3.3	40	2.2
Zw2	0.0010	79	0.94	16	2.2	41	2.0
Zw3	0.0011	79	0.94	17	2.6	42	2.0
aniónico	4.8895	79	0.94	18	3.5	44	3.1
catiónico	1.2730	79	0.94	19	3.2	42	3.0
no iónico	1.6069	79	0.94	20	2.5	43	2.3

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0009	80	2.05	19	3.4	40	2.1
Zw2	0.0009	80	2.05	20	3.0	41	2.3
Zw3	0.0012	80	2.05	21	3.8	41	3.0
aniónico	4.5190	80	2.05	22	5.0	42	4.9
catiónico	1.3383	80	2.05	23	4.7	43	4.8
no iónico	1.3459	80	2.05	23	5.0	44	4.5

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0010	80	3.02	20	22	40	14
Zw2	0.0011	80	3.02	21	16	41	14
Zw3	0.0012	80	3.02	22	22	42	20
aniónico	0.0789	80	3.02	23	12	43	11
catiónico	0.0112	80	3.02	24	22	44	21
no iónico	0.0104	80	3.02	25	21	45	20

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0010	40	7.20	22	27	43	21
Zw2	0.0010	40	7.20	23	26	44	23
Zw3	0.0010	40	7.20	24	27	45	22
aniónico	5.3105	40	7.20	25	25	46	24
catiónico	4.9832	40	7.20	26	25	47	22
no iónico	2.4585	40	7.20	27	24	48	21

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁	θ_2 (min)	NTU ₂
Zw1	0.0010	40	4.07	20	21	42	15
Zw2	0.0010	40	4.07	21	22	43	17
Zw3	0.0010	40	4.07	22	22	44	18
aniónico	5.1756	40	4.07	23	21	45	20
catiónico	5.0050	40	4.07	24	22	46	21
no iónico	2.2662	40	4.07	25	24	47	21

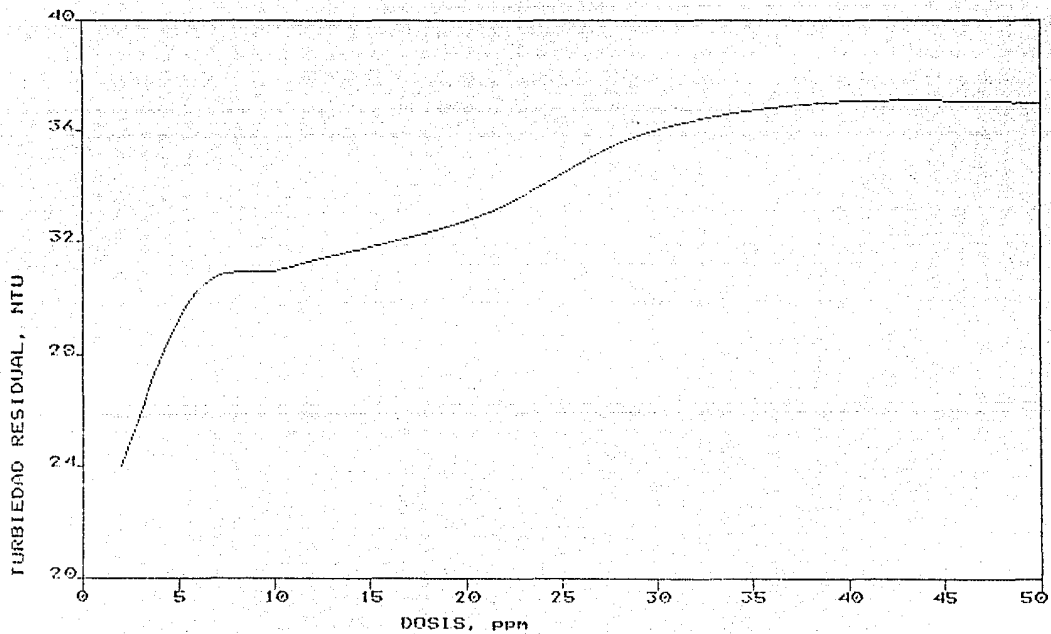
- AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁
Zw1	0.0010	45	1.9	45	24
Zw2	0.0061	45	1.9	46	26
Zw3	0.0030	45	1.9	47	24
aniónico	43.1918	45	1.9	48	25
catiónico	22.7947	45	1.9	49	26
no iónico	1.8953	45	1.9	50	24

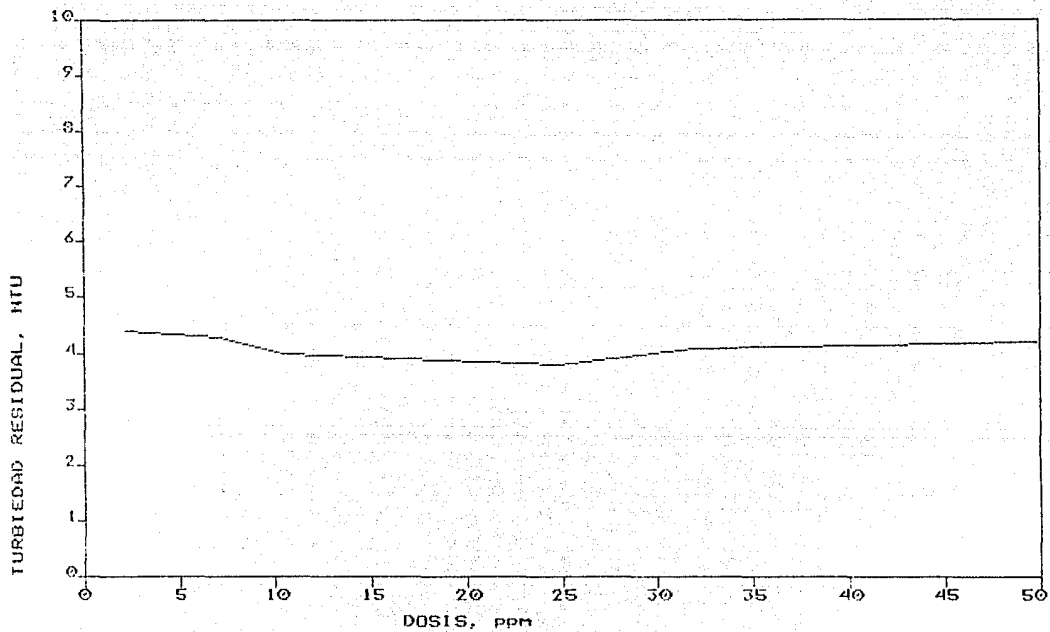
Polímero	Dosis (mg)	NTU ₀	pH	θ_1 (min)	NTU ₁
Zw1	0.0598	45	1.35	45	30
Zw2	0.0117	45	1.35	46	30
Zw3	0.0054	45	1.35	47	29
aniónico	2.1668	45	1.35	48	33
catiónico	303.5457	45	1.35	49	32
no iónico	29.1031	45	1.35	50	31

A N E X O I I I

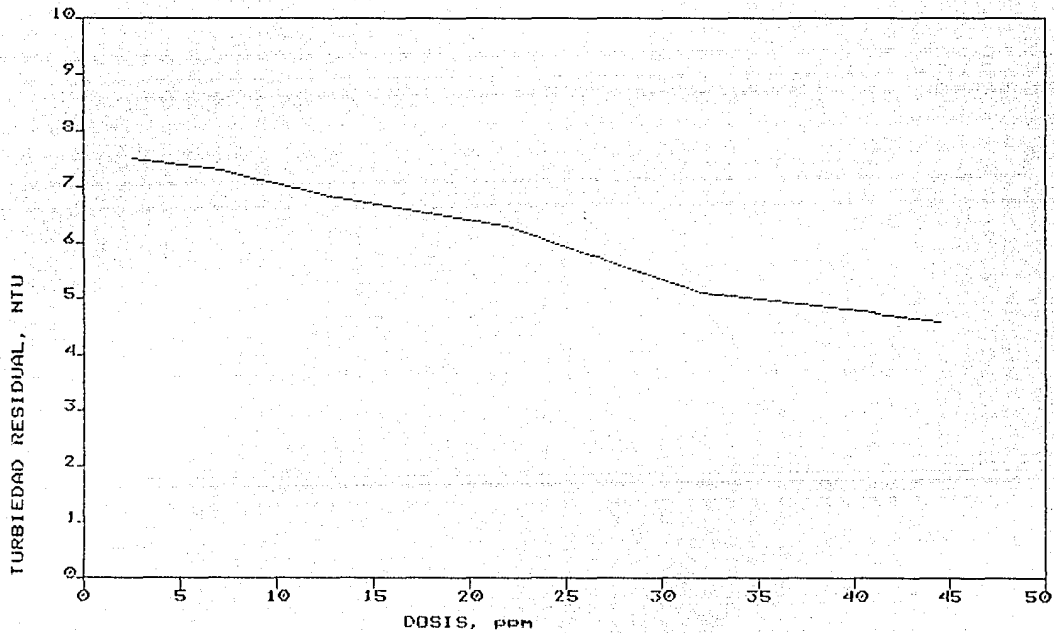
POLIMERO ANIONICO



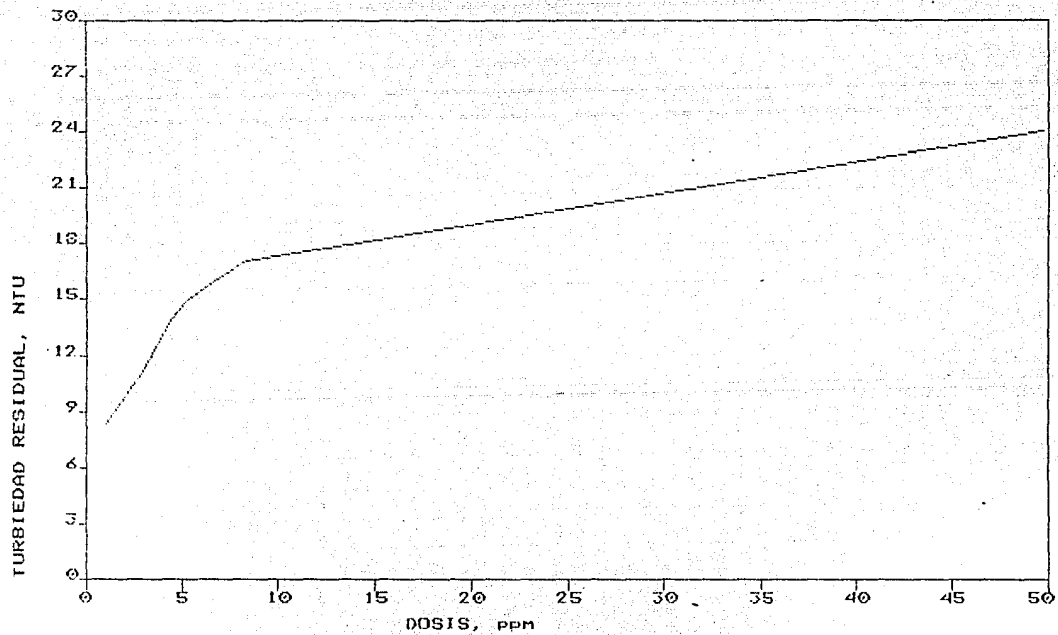
POLIMERO ANIONICO



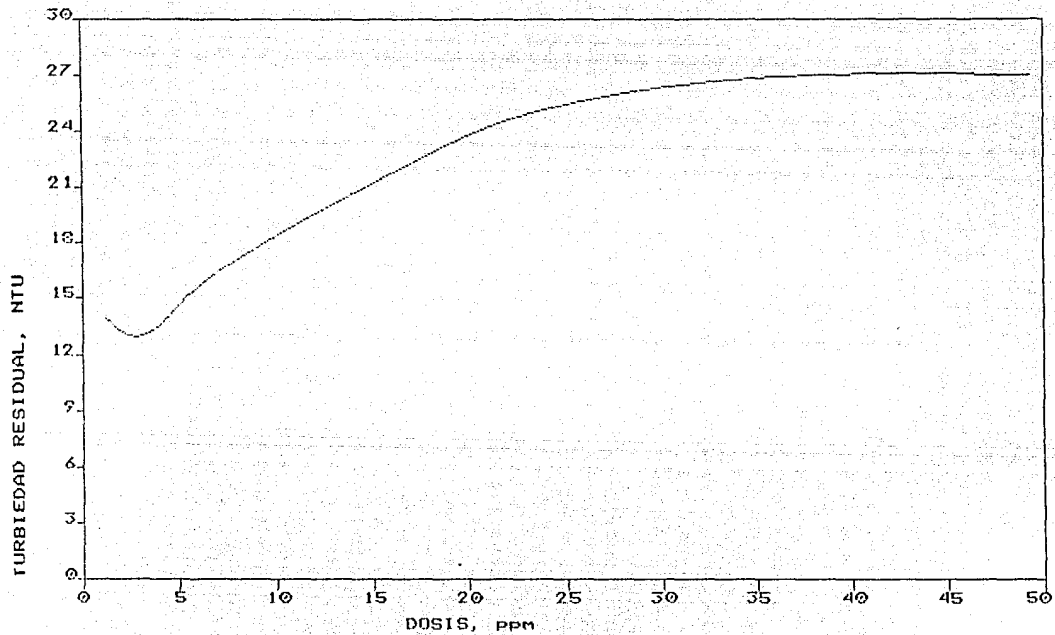
POLIMERO ANIONICO



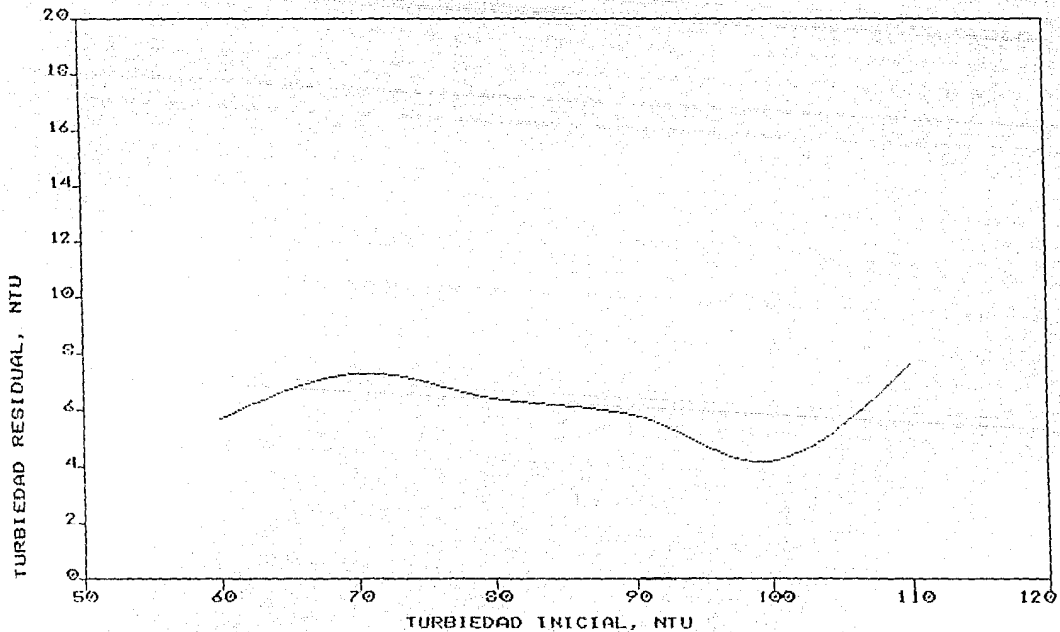
POLIMERO ANIONICO



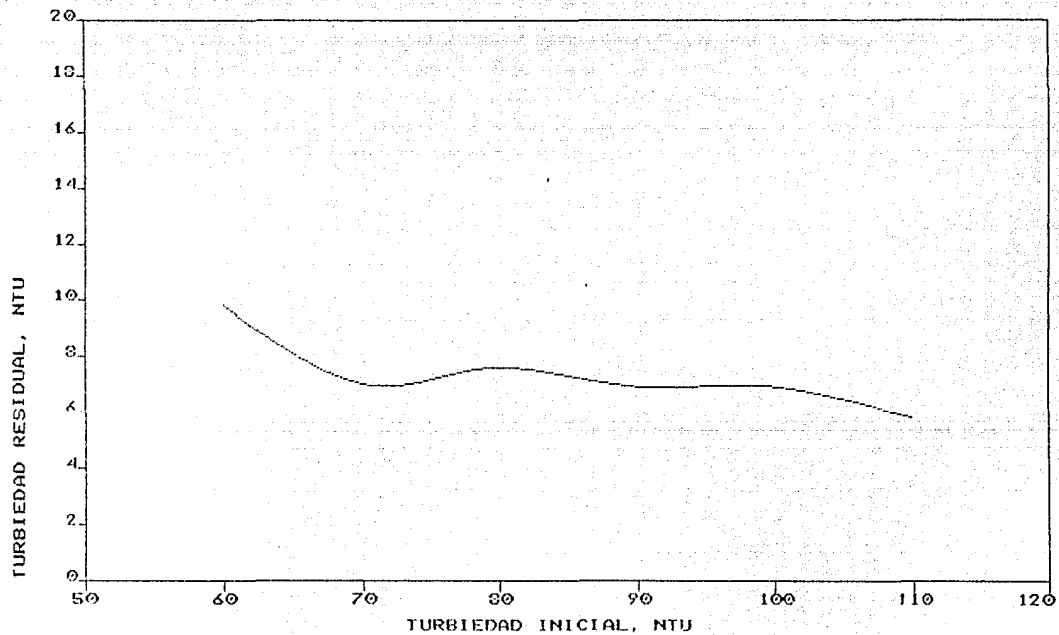
POLIMERO ANIONICO



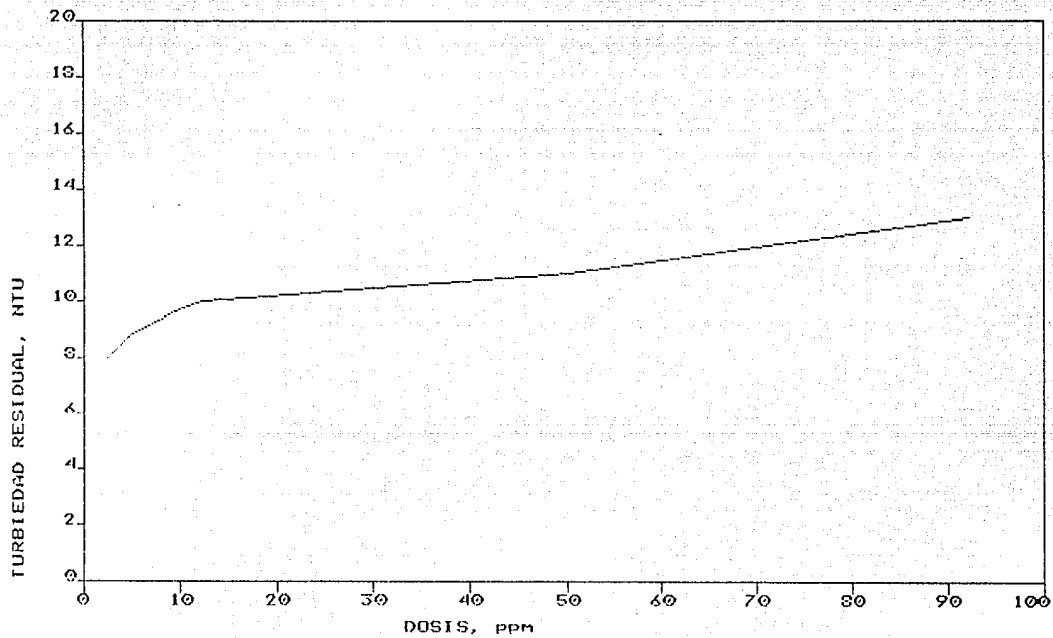
POLIMERO CATIONICO



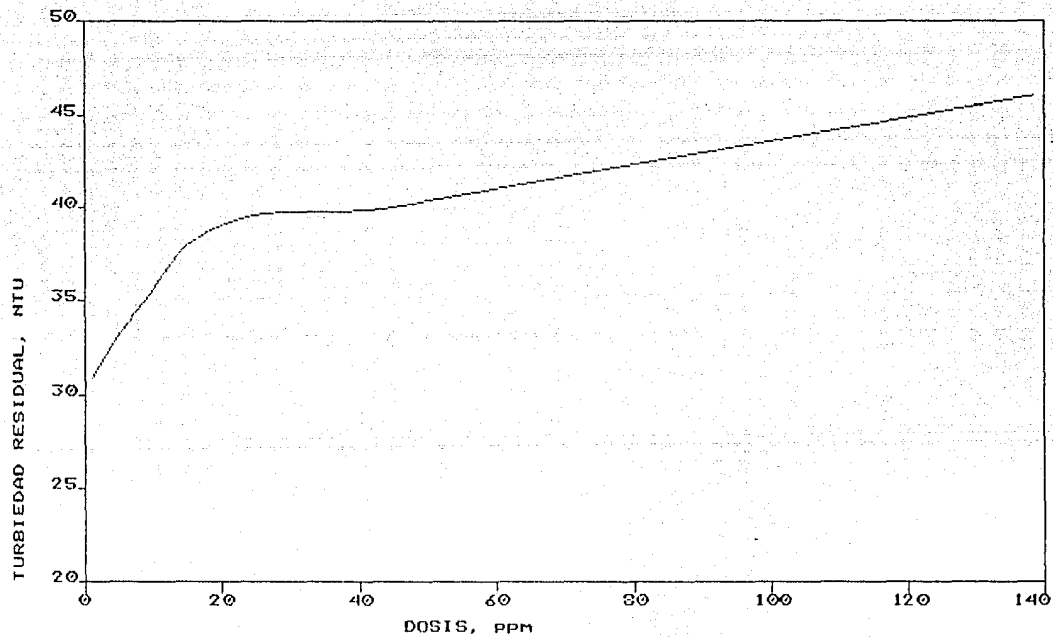
POLIMERO CATIONICO



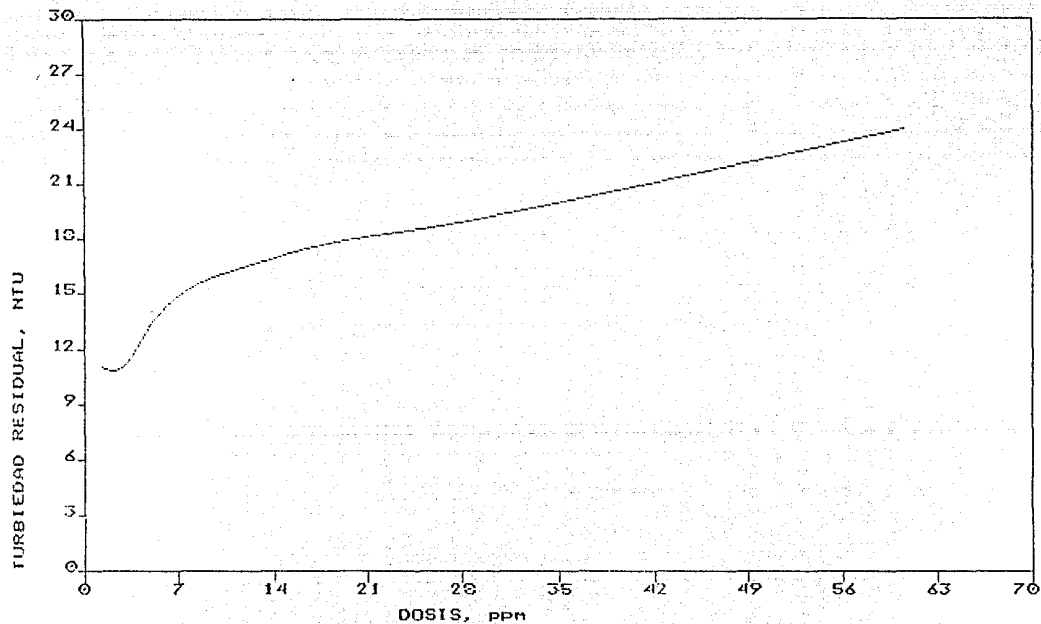
POLIMERO CATIONICO



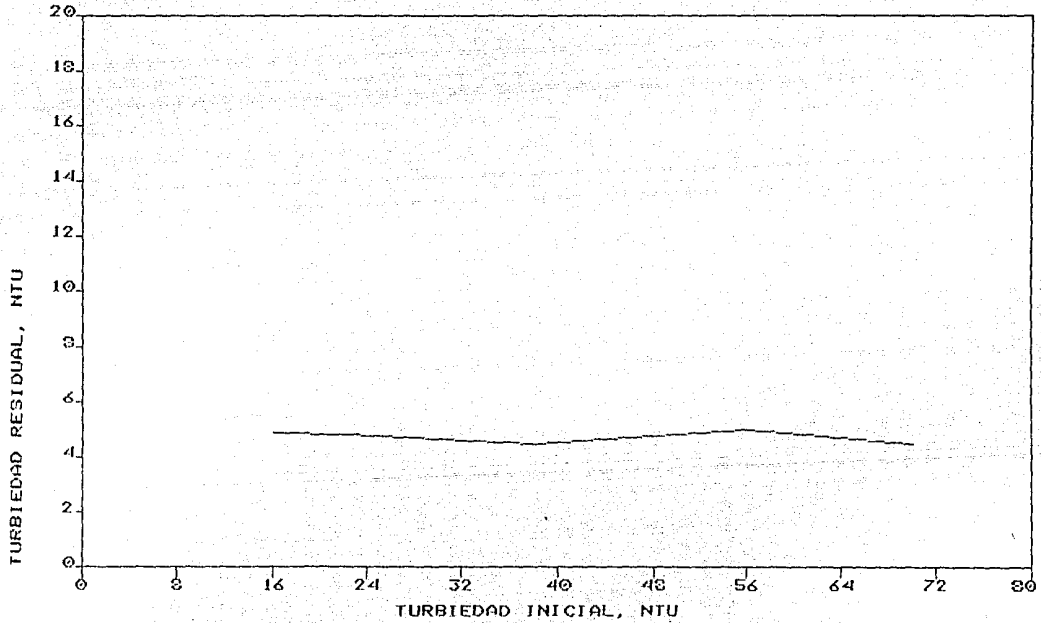
POLIMERO CATIONICO



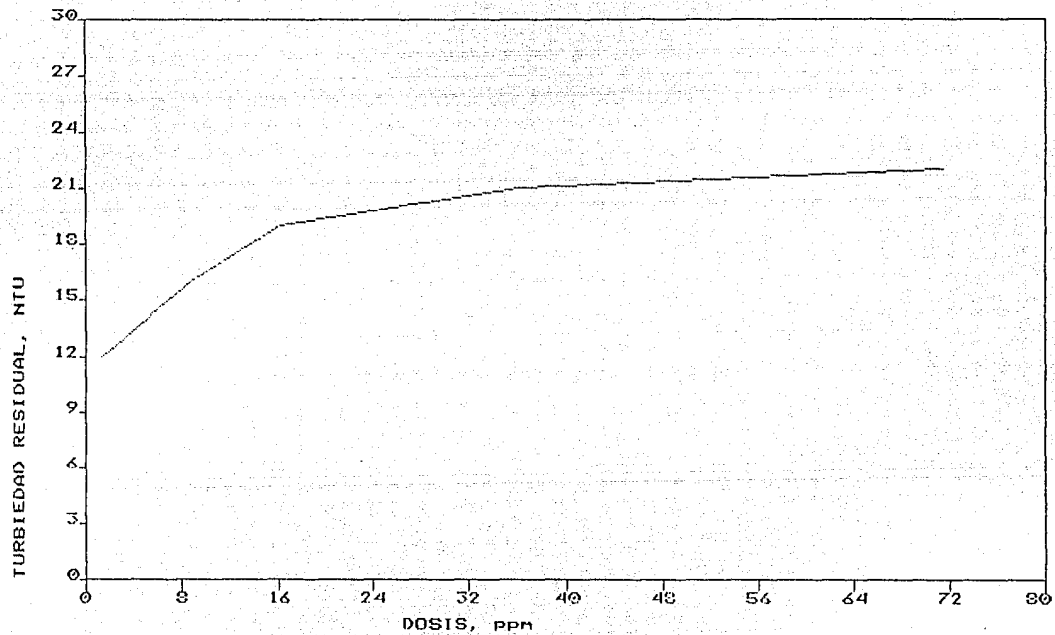
POLIMERO CATIONICO



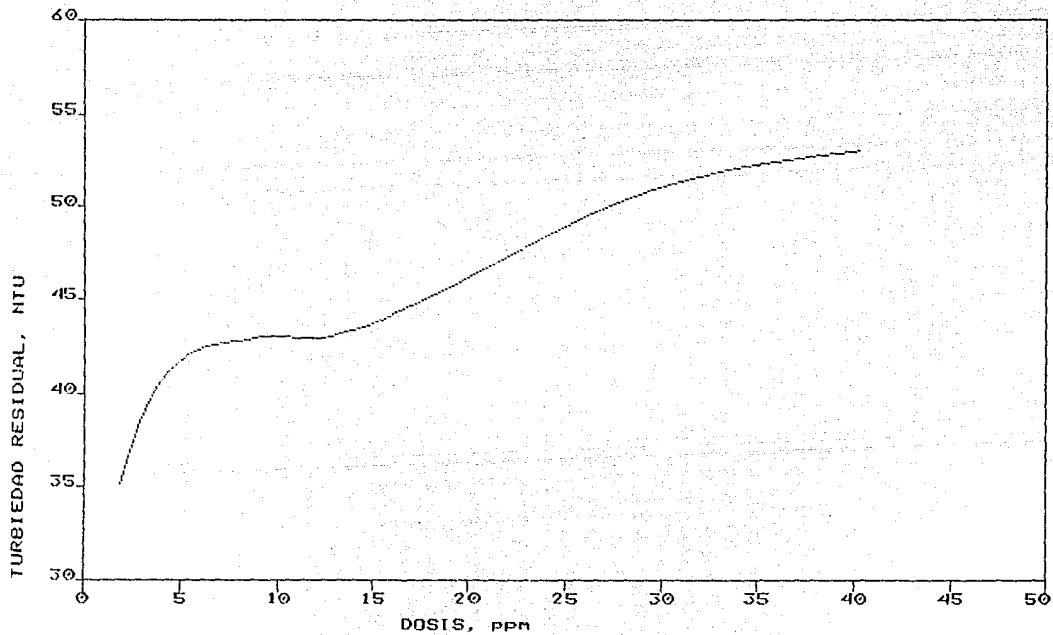
POLIMERO NO-IONICO



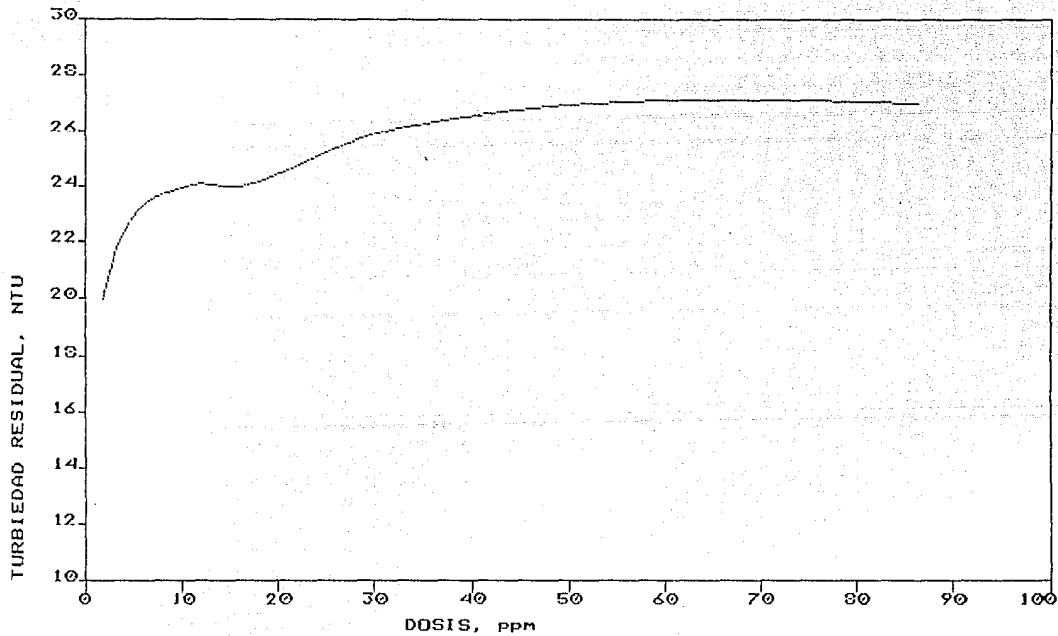
POLIMERO NO-IONICO



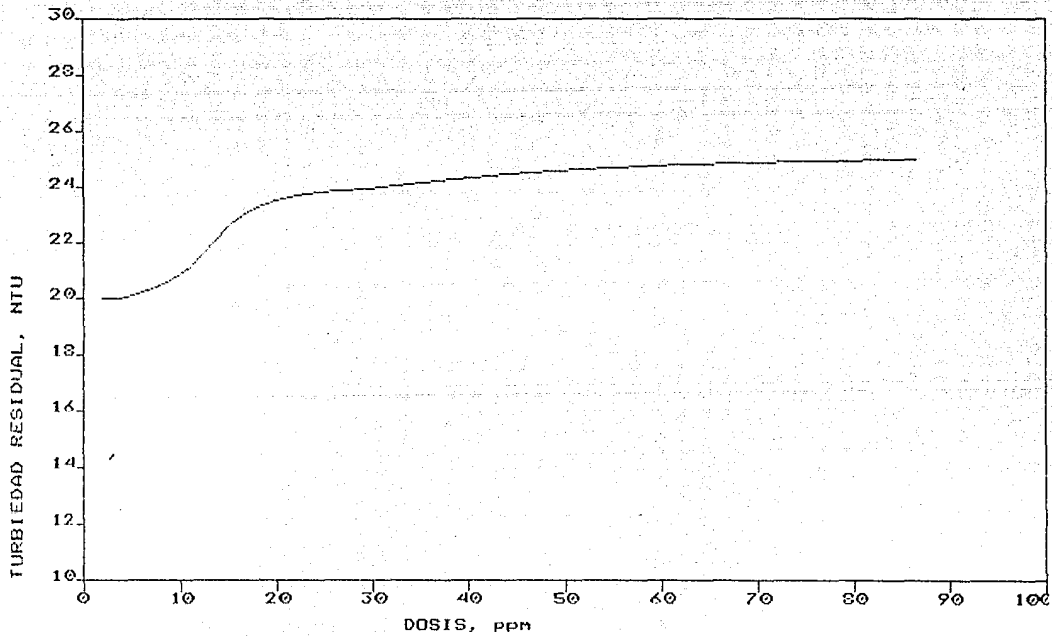
POLIMERO NO-IONICO



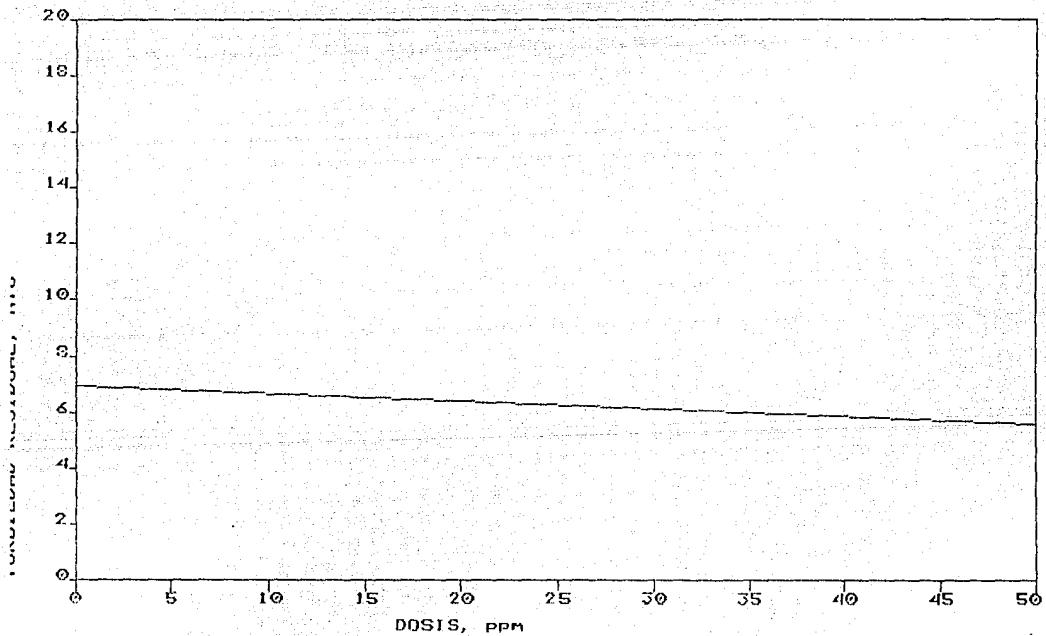
POLIMERO NO-IONICO



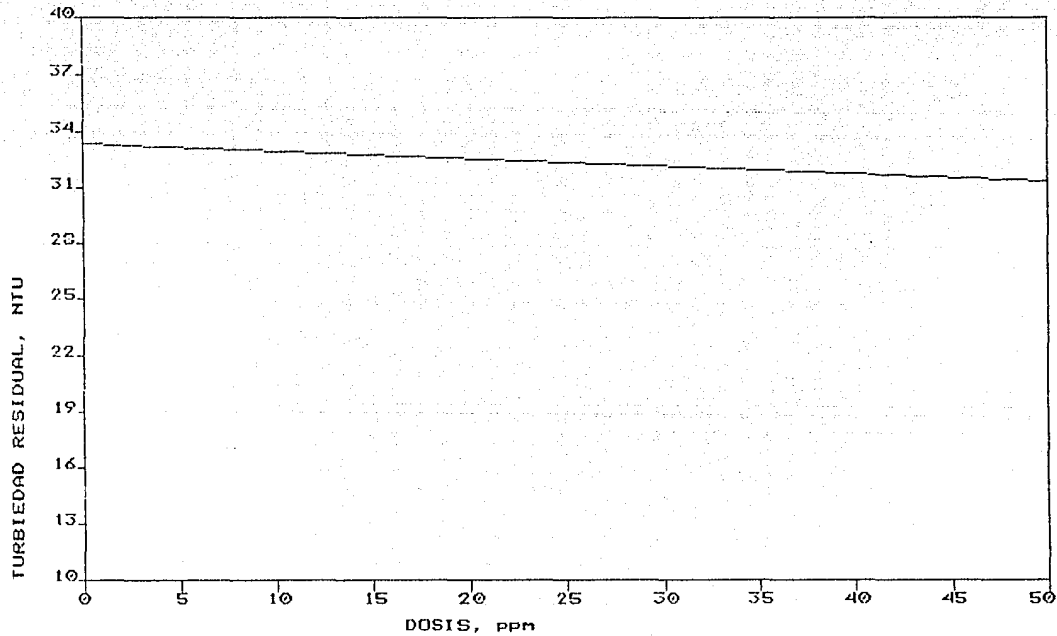
POLIMERO NO-IONICO



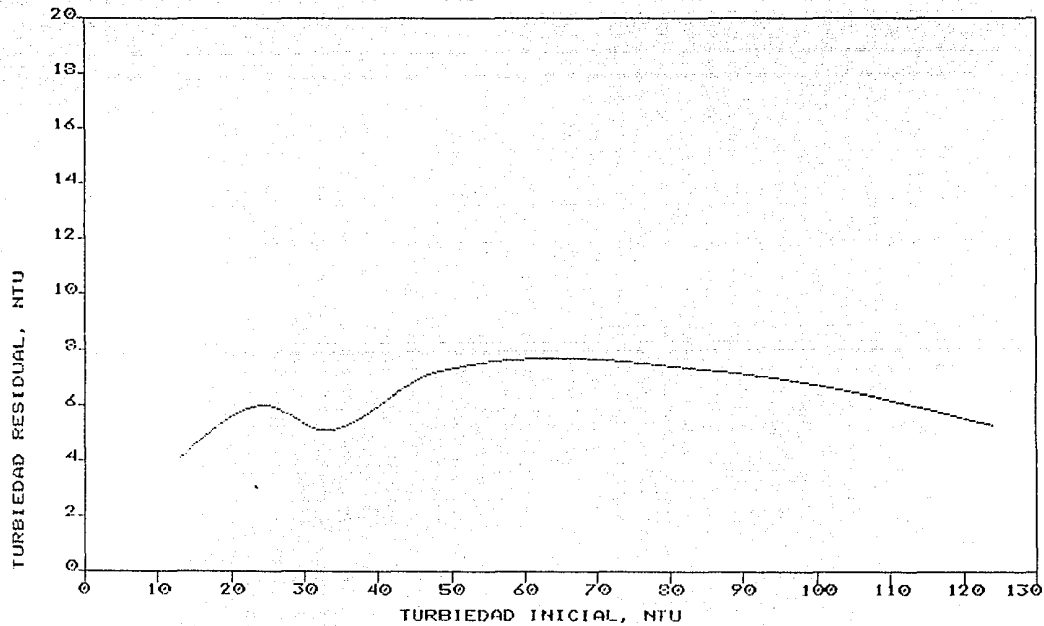
POLIMERO Zwitterionico I



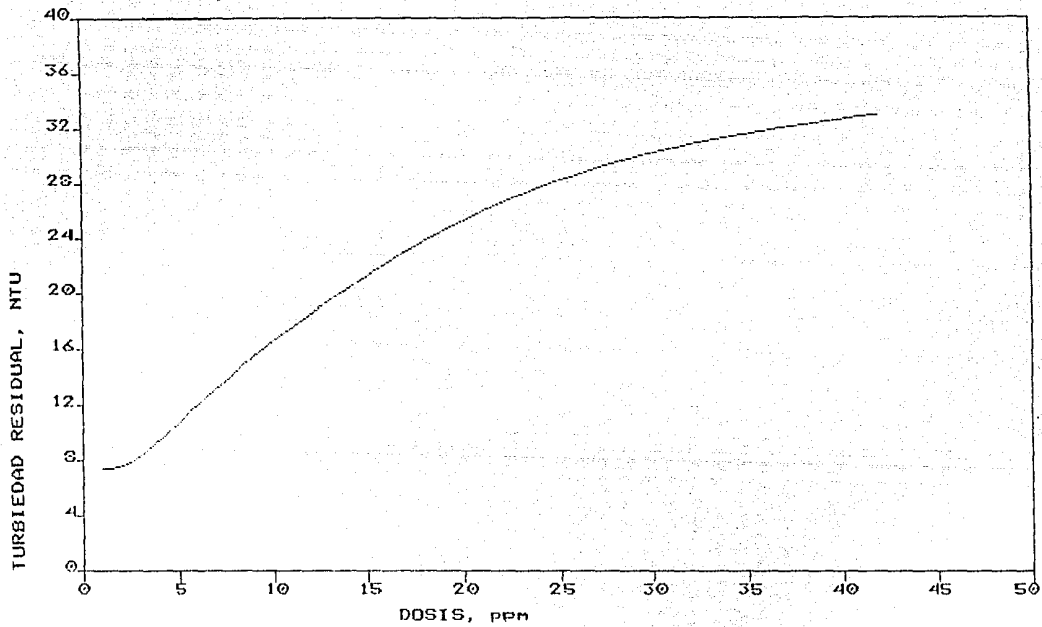
POLIMERO ZHITTERIONICO I



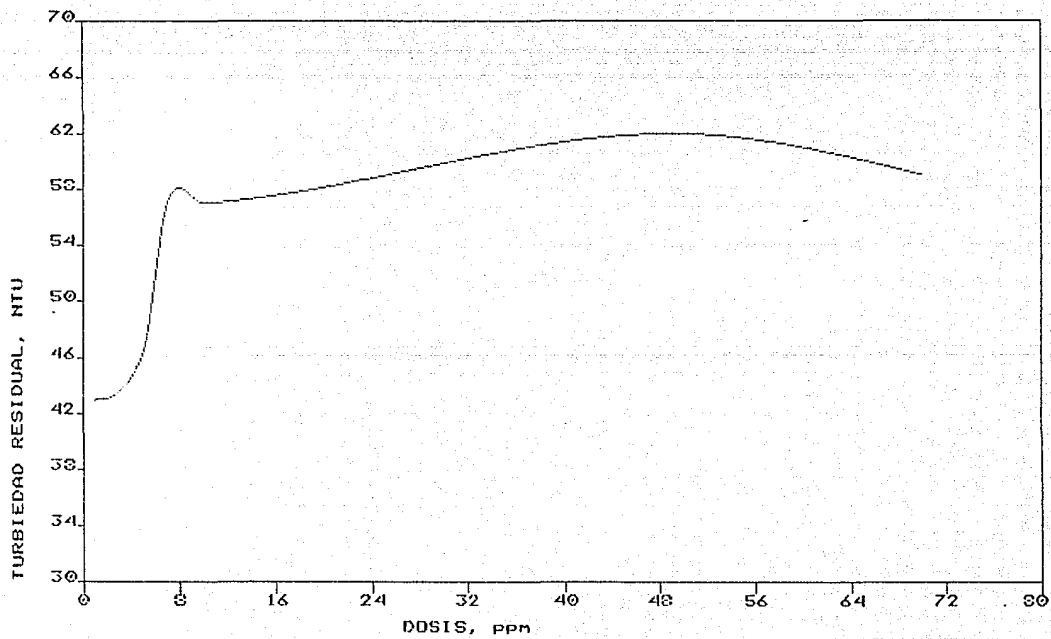
POLIMERO ZHITTERIONICO 1



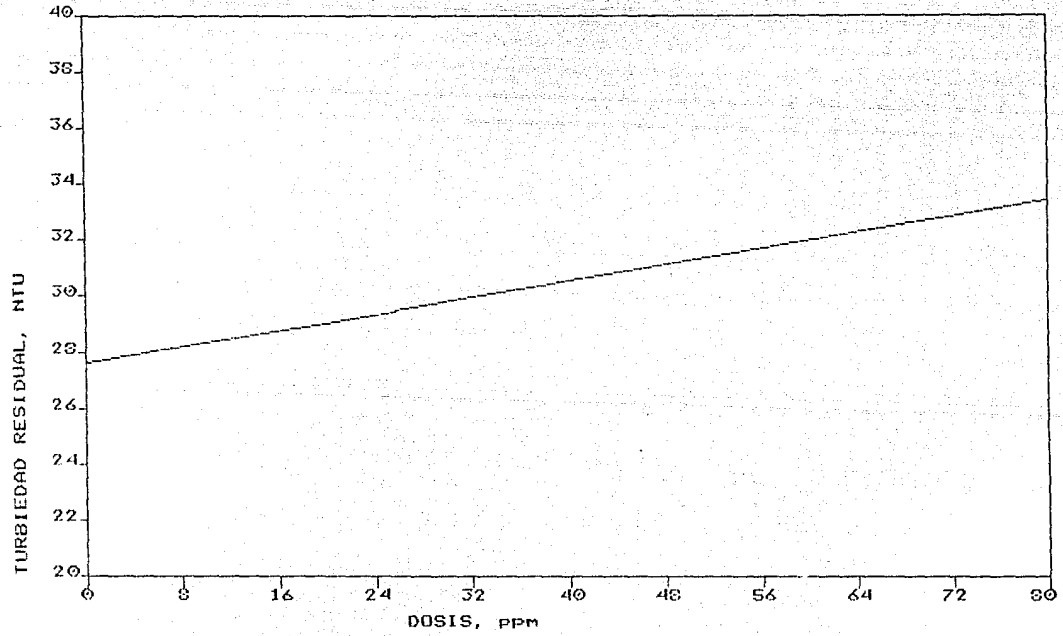
POLÍMERO ZWITTERIÓNICO I



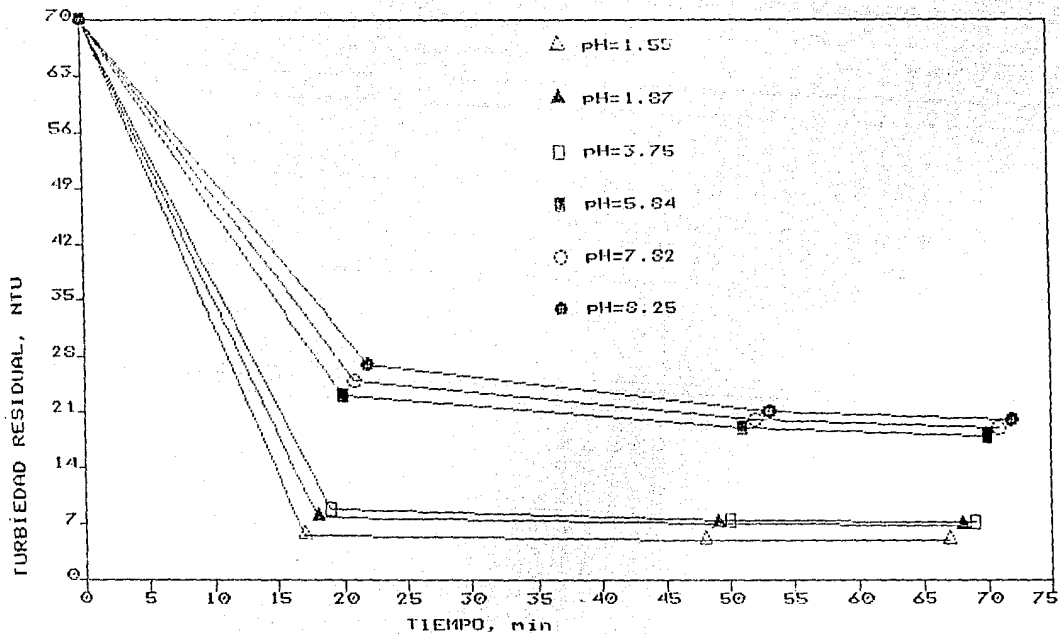
POLIMERO ZHITTERIONICO 2



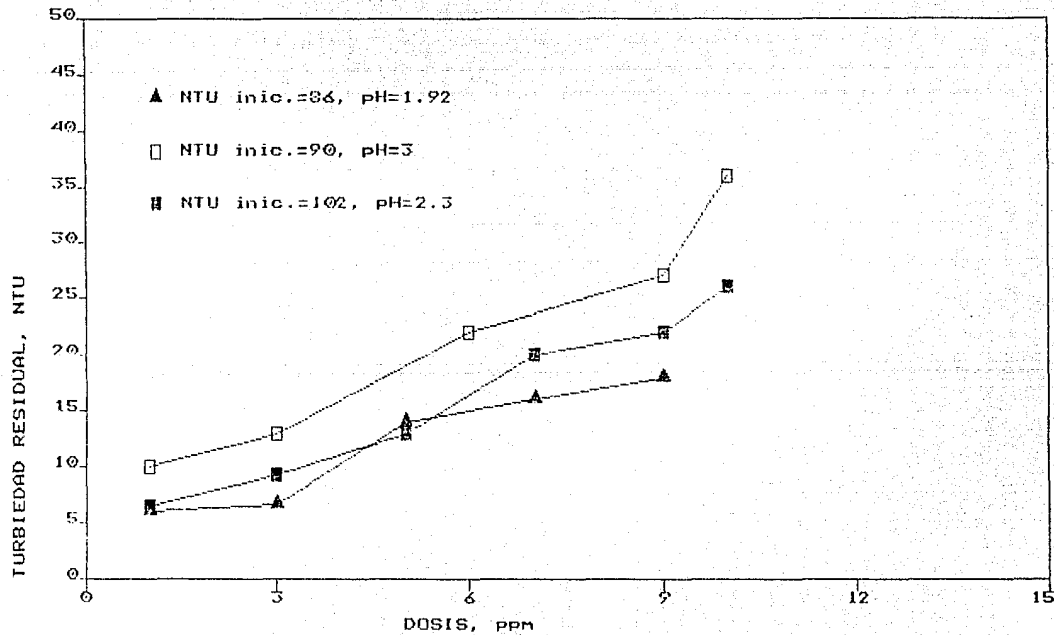
POLIMERO ZHITTERIONICO 2



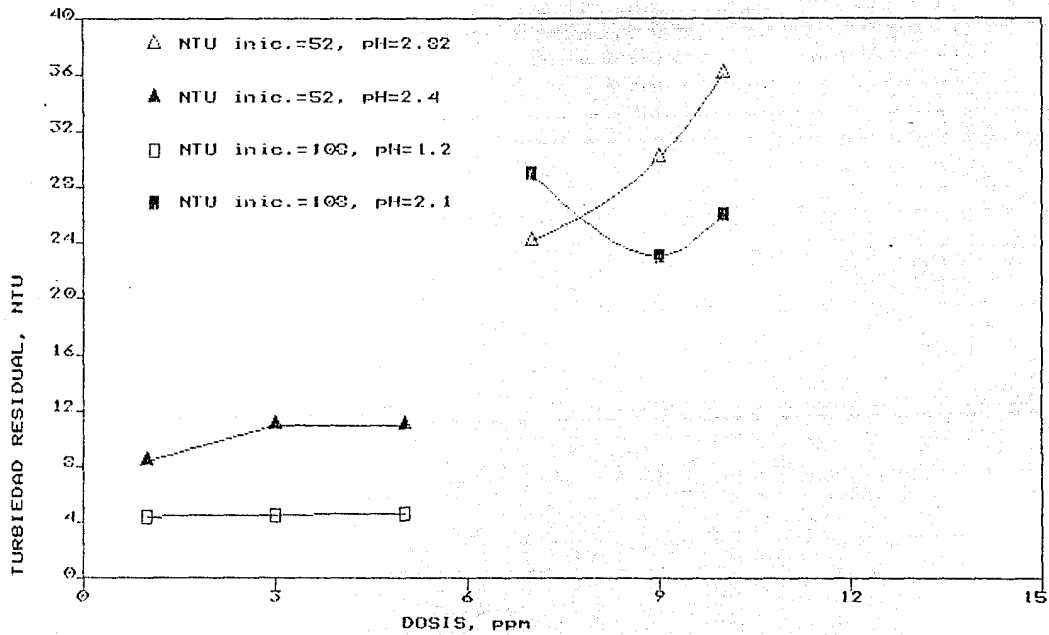
POLIMERO ZITTERIONICO 2



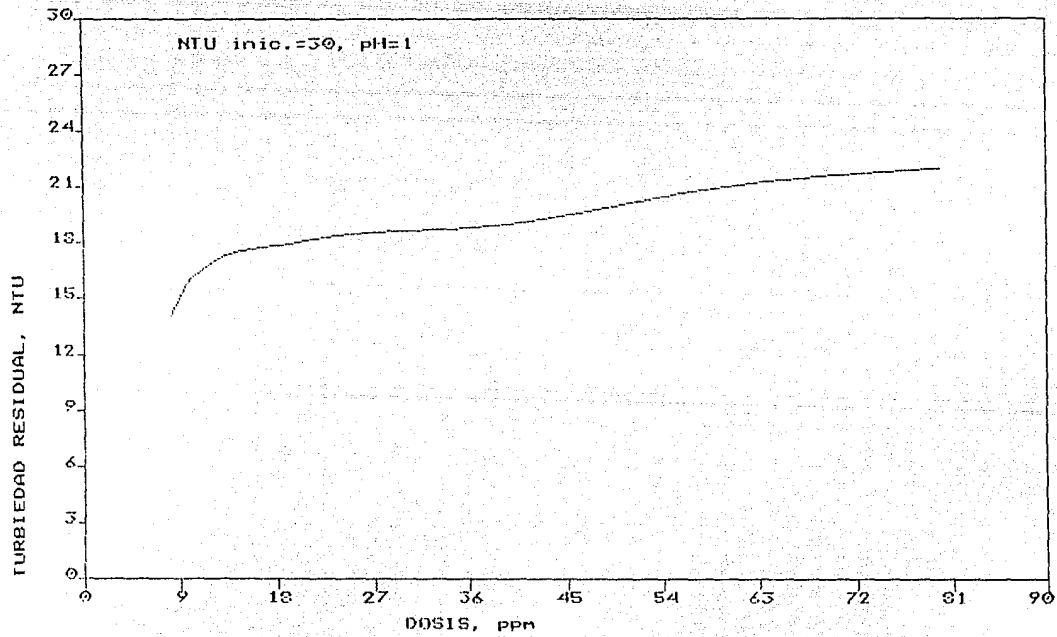
POLIMERO ZWITTERIONICO 2



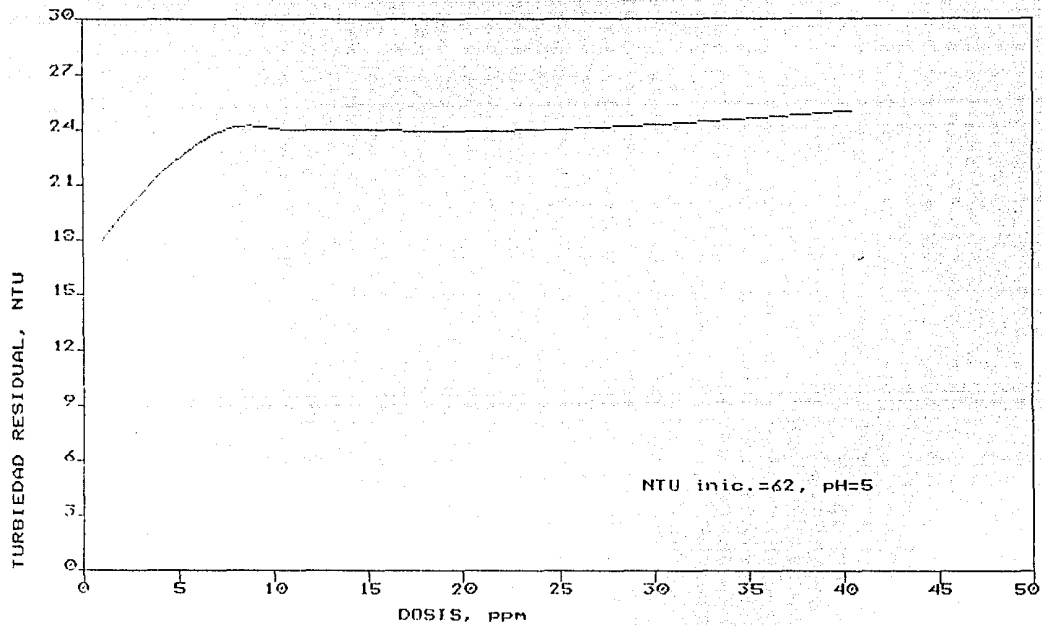
POLIMERO ZWITTERIONICO 2



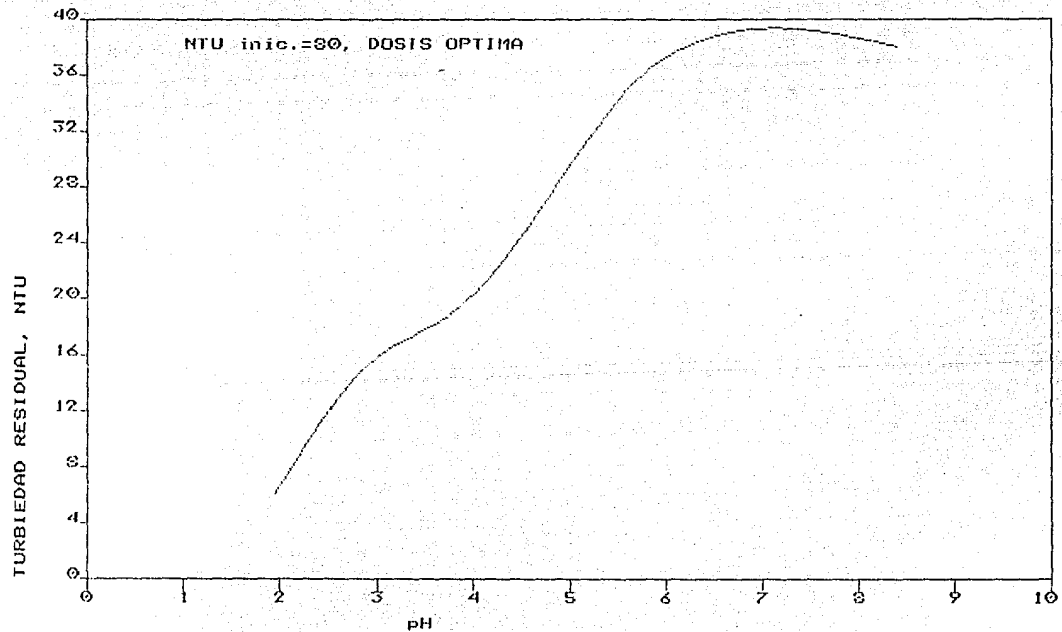
POLIMERO ZWITTERIONICO 2



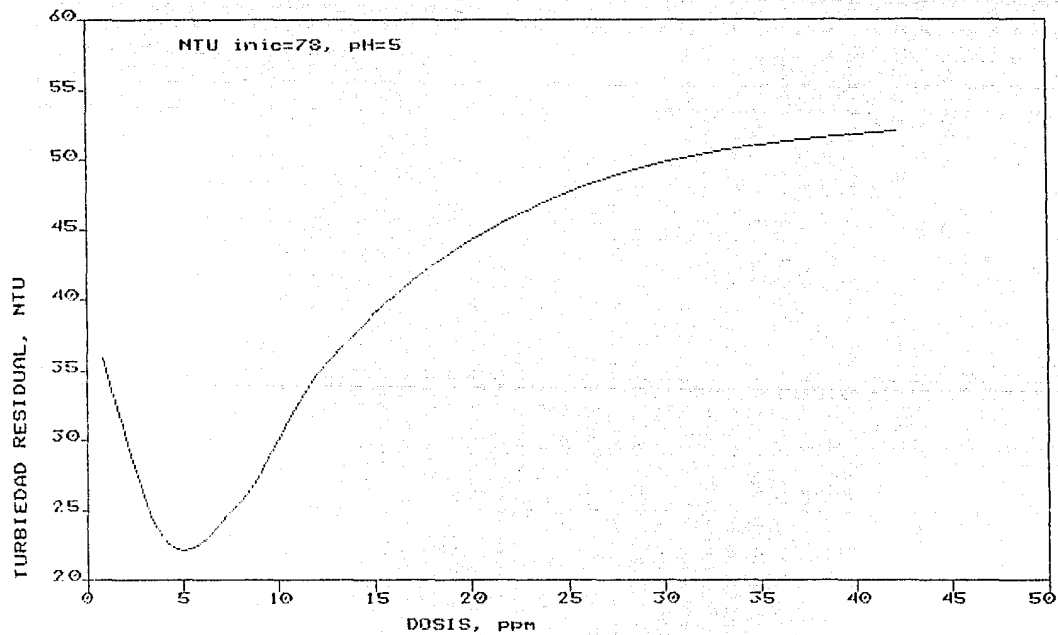
POLIMERO ZWITTERIONICO 2



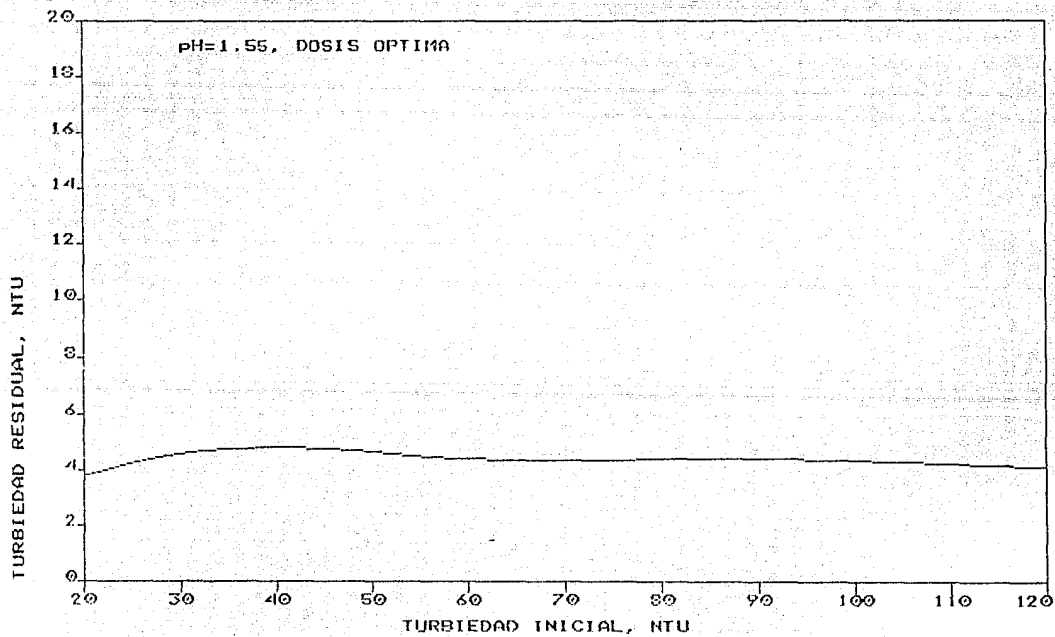
POLIMERO ZWITTERIONICO 3



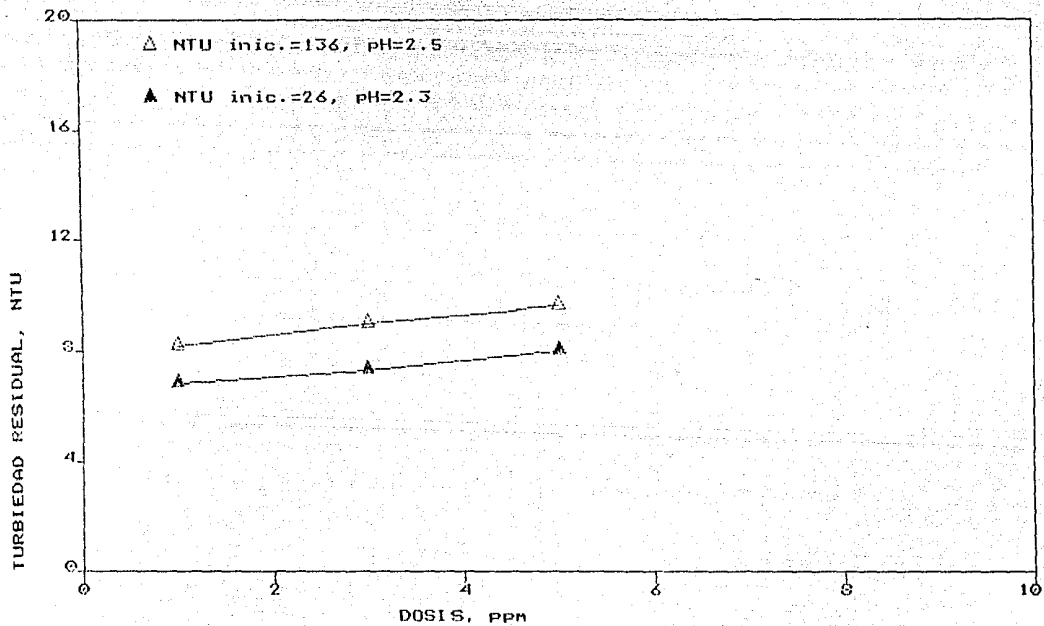
POLIMERO ZWITTERIONICO 3



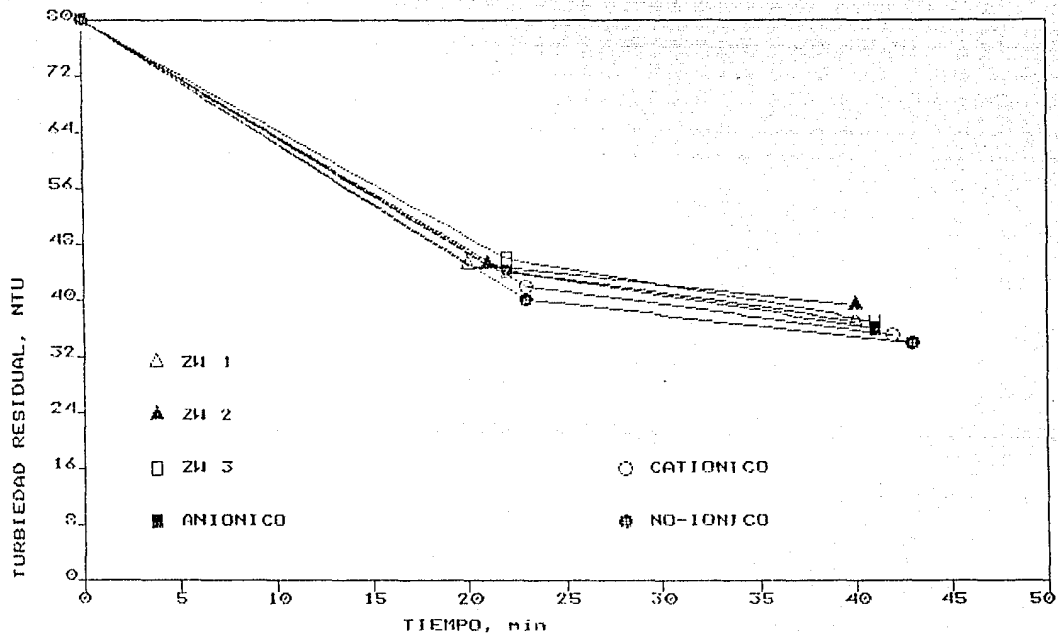
POLIMERO ZITTERIONICO 5



POLIMERO ZHITTERIONICO 3



COMPARATIVO, pH=8, NTU inic.=80



COMPARATIVO, NTU inic.=80, DOSIS OPTIMAS

