



## **RESUMEN**

Este estudio fue realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sústag-Etapa, la misma cuenta con las siguientes unidades: Captación, Conducción, Mezcla Rápida y Dosificación de reactivos, Floculación Mecánica-Hidráulica, Sedimentación, Filtración, Almacenamiento y Distribución. Posee un laboratorio para control de calidad, equipado para determinar la calidad del agua cruda y del agua tratada.

Las pruebas que realizamos se basaron en determinar la distribución del caudal a las 4 líneas de tratamiento, el tiempo de retención real, teórico y análisis hidráulico en: Mezcla rápida, Floculación Mecánica e Hidráulica y Sedimentación, tiempo óptimo de lavado de filtros, calibración de bombas tanto de Sulfato de Aluminio como de polímero. Además se determinó la dosis y concentración óptima de Sulfato de Aluminio, pH óptimo, punto óptimo de aplicación de Sulfato de Aluminio y de Polímero, gradientes óptimos de floculación mecánica, Cloro Residual y Análisis Físico-Químicos.

Entre los parámetros analizados se puede destacar que la distribución de caudales a las líneas de operación es uniforme, el agua potable posee un color y turbiedad aceptables dentro de la NTE INEN 1 108:2006, teniéndose que ajustar ligeramente el pH y cloro residual a la salida.

**Palabras Claves:** Potabilización, Floc, Sústag, ETAPA, Agua, Optimización, Turbiedad, Color.



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO 1	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE SÚSTAG	
1.1. Captación Yanuncay.....	10
1.2. Conducción de Agua Cruda.....	14
1.3. Mezcla Rápida.....	17
1.4. Coagulación.....	22
1.5. Floculación.....	27
1.6. Sedimentación.....	29
1.7. Filtración Rápida.....	32
1.8. Desinfección de Agua (Cámara de Contacto de Cloro).....	34
1.9. Depósito de Agua Tratada (Tanques de Almacenamiento).....	37
1.10. Regulación de pH.....	38
1.11. Red de Distribución.....	38
1.12. Tratamiento de Fangos.....	39
1.13. Control de Operación de la Planta.....	42
1.14. Laboratorio de Control de Calidad.....	48
CAPITULO 2	
TEORÍA DE LA PURIFICACIÓN DEL AGUA	
2.1. Conceptos básicos sobre la química del agua.....	49
2.2. Coagulación del agua (teoría).....	59
2.3. Floculación (teoría).....	85
2.4. Sedimentación.....	100
2.5. Filtración.....	107
2.6. Desinfección.....	121
2.7. Hidráulica aplicada a las plantas de tratamiento.....	131
CAPITULO 3	
OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA	
3.1. Ensayo de Trazadores.....	137
3.2. Pruebas de Laboratorio.....	137
CAPITULO 4	
4.1. APLICACIONES EN PLANTA.....	176
Conclusiones y Recomendaciones.....	241
Bibliografía y Referencias.....	247
Anexos.....	249



UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE SÚSTAG-ETAPA”

TESIS PREVIA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORAS: Daniela Alexandra Albuja Arias

Juana Marcela Illescas Criollo

Director: Ing. Patricio Vásquez

CUENCA-ECUADOR

2010



### **Agradecimiento:**

Agradecemos al Ing. Patricio Vásquez por haber dirigido nuestra tesis, brindándonos sus conocimientos a lo largo de todo este estudio.

Al Ing. Paúl Torres Jefe de Planta de Sústag y a todo su personal por habernos permitido realizar las pruebas necesarias en las instalaciones de la Planta.

***DANIELA Y MARCELA***

### **Agradecimiento:**

Agradezco a Dios, por concederme la alegría de vivir, a mis padres, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera estudiantil, a mis hermanas por su guía y consejos y a todos mis maestros a lo largo de esta etapa que concluye.

***DANIELA***



**Agradecimiento:**

Quiero dar gracias en primer lugar a Dios por darme la vida y la fortaleza para seguir día a día, a mis padres que aunque ya no estén conmigo supieron apoyarme siempre, a mis hermanos, a mi esposo, a mis suegros y a toda mi familia por ser como son.

**MARCELA**



**Dedicatoria:**

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Jorge Albuja y Nancy Arias, a mis hermanas, Ximena, Silvia y Fernanda, a mis sobrinos Ma. Paz Abad, Alejandra González, Eduardo Tello y a mi sobrinito que viene en camino.

Quienes han sido mi soporte a lo largo de mi vida.

***DANIELA***



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Dedicatoria:**

Dedico este trabajo a mis hijas Paula y Emilia quienes han sido la razón de mi existir y fuente de inspiración para cada uno de los logros de mi vida.

**MARCELA**



## **INTRODUCCIÓN**

La Planta en estudio fue inaugurada el 10 de julio del 2009, se encuentra ubicada aproximadamente a 15 km de la ciudad de Cuenca a un costado de la carretera San Joaquín Soldados en el sector denominado “Sústag”.

Ha sido creada con el fin de abastecer de agua potable a sectores tales como; Baños, Barabón, corredor del Yanuncay, Medio Ejido, Misicata, Narancay, Huizhil, San Miguel de Putushi, San Joaquín, entre otros. Buscando beneficiar alrededor de 136000 personas.

Esta diseñada para ampliar su suministro de agua, siendo su capacidad inicial de 460 litros/segundo, pudiendo aumentar su producción a 690 litros/segundo en una siguiente etapa, a través de la implementación de unidades adicionales.

El agua a tratarse en la planta de Sústag proviene del río Yanuncay y posee características particulares, debido a su baja turbiedad, baja alcalinidad y alto color, difícil de tratar. La variabilidad del agua nos permite escoger entre diversas líneas de tratamiento, aplicar ácidos o bases para variar el pH.

La planta cuenta con las siguientes unidades: Captación, conducción, Mezcla Rápida y Dosificación de reactivos, Floculación Mecánica-Hidráulica, Sedimentación, Filtración y, Almacenamiento y distribución. Posee un laboratorio para control de calidad, equipado para determinar la calidad del agua cruda y del agua tratada. Además está provista de moderna tecnología puesto que tiene una central inteligente que una vez programada permite el tratamiento de agua con escasa intervención manual.

También la planta tiene implementado el tratamiento de los lodos que se generan, de esta manera colabora con el medio ambiente.





## CAPITULO 1

### PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SÚSTAG.

#### Descripción de los procesos de Potabilización de Agua en la Planta de Sústag.

##### 1.1. Captación Yanuncay

La captación de agua cruda se realiza en el río Yanuncay, ubicada aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de la planta de tratamiento.

El diseño del sistema de captación, esta adaptado para agua en ríos de montaña, es decir de pendiente longitudinal elevada, calados pequeños, y anchos moderados. [1]



Fig. 1-1 Vista frontal de la zona de captación.

FUENTE: AUTOR



Fig. 1-2 Vista posterior de la zona de captación.

FUENTE: AUTOR



### 1.1.1. ELEMENTOS DE CAPTACIÓN.

Entre los elementos de captación tenemos:

- ❖ Un azud transversal al río para posibilitar la captación lateral del agua.
- ❖ Un lecho amortiguador de la energía disipada en el resalto hidráulico a generarse al pié del azud.
- ❖ La reja de captación ubicada en el muro lateral izquierdo.
- ❖ Una cámara desripiadora para retención del material pétreo grueso (áridos de tamaño inferior a 10 cm que ingresen por la reja.
- ❖ La estructura de transición entre la cámara desripiadora y la tubería de salida hacia el desarenador.
- ❖ Vertederos regulables tanto en el vertedero del desripiador como en el vertedero del canal de transición.
- ❖ Una compuerta tipo canal con stop Log (Tablero de mantenimiento) junto al azud para desfogue de materiales retenidos aguas arriba a través del canal, construido para tal fin, sistema que debe operarse inmediatamente después de cada creciente.
- ❖ Una compuerta tipo canal para lavado de desripiador la que debe ser operada cada que se note acumulación de material. En el desripiador se tienen dos vertederos: a) vertedero lateral de exceso de agua captada, con el que se controla el retorno de agua captada al río: y b) vertedero de fondo (ahogado) en el ingreso de agua al canal de transición con el que se regula el calado de fondo del desarenador para reducir el paso de materiales sólidos al canal.



- ❖ Compuerta tipo canal en estructura de transición con la que se debe regular el caudal de entrada de agua al desarenador para evitar enviar un caudal excesivo que retorne al río dejando depósitos de material en el fondo del desarenador.
- ❖ Escaleras, pasamanos y pasarelas para la operación de las compuertas del sistema.
- ❖ Escaleras de limpieza de la rejilla de captación
- ❖ Rejilla metálica a la entrada de la tubería de  $D=700$  mm hacia desarenador.
- ❖ Escala de peces ubicada en el muro lateral derecho.

Los distintos elementos ya indicados fueron dimensionados para captar el caudal máximo de operación (690 l/s, incluyendo la segunda fase), incluso en condiciones de caudal mínimo en el río.

Se evita que se obstruya la rejilla mediante una atagüa de piedras grandes siguiendo la línea de la orilla original, con ello se busca dejar libre la rejilla ante posibles crecientes. [1]

**1.1.2. DESARENADOR:** El desarenador es de tipo convencional, de una sola cámara, de flujo horizontal diseñado para retener partículas de tamaños mayores de 0.18 mm, las cuales durante su limpieza son evacuadas nuevamente al río



Fig.1-3. Desarenador

FUENTE: AUTOR



### 1.1.2.1. ELEMENTOS DEL DESARENADOR

Entre los elementos del desarenador tenemos:

- ❖ Canal de entrada con medidor de caudal hidráulico
- ❖ Canal By-pass para desviar el agua directamente a la línea de conducción.
- ❖ Estructura de transición y canal de recolección de sólidos con compuerta mural, la que se deberá abrir durante el proceso de lavado, de desfogue a través de un canal perpendicular hacia el río.
- ❖ Vertederos hacia la cámara de salida a la línea de conducción y de excesos hacia el canal de desfogue para desviar el excedente de agua.
- ❖ Compuertas tipo canal hacia el desarenador y hacia el By-pass con las cuales se operará el lavado del desarenador debiendo tenerse en cuenta que en ningún caso debe el cajón de carga de la tubería de conducción de agua cruda llegar al nivel de descarga del canal de By-pass.
- ❖ Escaleras, pasamanos y pasarelas para la operación del sistema.
- ❖ Rejilla metálica a la entrada de la tubería de D=600mm hacia Planta que debe ser sistemáticamente limpiada.
- ❖ Sistema de drenaje con evacuación al río.

[1]



## 1.2. CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA.

La conducción de agua cruda comprende dos tramos de corta longitud. El primero de ellos transporta el agua desde la captación al desarenador; el segundo tramo conduce el agua desde el desarenador a la estructura de ingreso de la planta de tratamiento.

*Tabla 1-1. Resumen de tuberías para la conducción de agua cruda.*

Tramo	Longitud (m)	Diámetro Nominal (mm)
Captación-Desarenador	171.94	700
Desarenador-Planta de tratamiento	782.06	600

FUENTE: Manual de operación y mantenimiento de la planta de Agua Potable de la Planta de Sústag



Fig. 4.  
Conducción de agua cruda a la entrada de la mezcla rápida.

FUENTE: AUTOR



### 1.2.1. CÁMARA DE MEDICIÓN DE ENTRADA.

Después de la llegada de la tubería de 600 HD a la Planta esta se reduce a 500 HD que es el diámetro con el que entra a la mezcla rápida.

#### ***Elementos de la cámara de medición de agua cruda.***

- ❖ Caudalímetro electromagnético D=500 para lectura en sitio, con lector mural junto al medidor del caudal y conectado también al sistema Scada para monitoreo en oficina de control, Instrumentación en Línea Tablero TCMR. El medidor de caudal está provisto de salida de señal analógica, de 4-20 mA, que se conectará al sistema de control, para indicación en el panel de control de las señales de caudal instantáneo y para el procesamiento de la señal y registro de datos históricos.

Fig. 1-5 Medidor de caudal en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR

Fig. 1-6. Display del medidor de caudal en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR

- ❖ Medidor de turbiedad con display para lectura en sitio y conectado también al sistema Scada para monitoreo en oficina de control, Instrumentación en línea Tablero TCMR. Muestra tomada en entrada a mezcla rápida.



Fig. 1-7. Turbidímetro en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR

Fig. 1-8. Display del Turbidímetro en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR

- ❖ Medidor de pH con display para lectura en sitio y conectado también al sistema Scada para monitoreo en oficina de control, Instrumentación en línea Tablero TCMR. Muestra tomada en entrada a mezcla rápida.

Fig. 1-9. Medidor de pH en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR

Fig. 1-10. Display del medidor de pH en el ingreso de agua cruda



FUENTE: AUTOR



- ❖ Medidor de corriente en carga con display para lectura en sitio. Para monitoreo y ajuste de la dosificación de sulfato de aluminio. La muestra es tomada en la arqueta de reparto de agua coagulada para retroalimentación de información



Fig. 1-11. Medidor de corriente en carga en el ingreso del agua cruda con Display incorporado

FUENTE: AUTOR

[1]

### 1.3. MEZCLA RÁPIDA

#### 1.3.1. ESTRUCTURA DE INGRESO DE AGUA CRUDA, REBOSE Y “BY PASS”.

Aguas abajo del caudalímetro, integrado en la obra de mezcla rápida, se dispone de un dissipador de energía de tipo impacto con el objeto de disipar el exceso de energía del agua para los distintos caudales de operación durante la vida de la Planta.

Lateralmente a la arqueta de reparto se encuentra un reboce de excesos y una compuerta-vertedero que conducen el agua al canal de paso lateral de la planta,





que permite mediante una compuerta, al final del mismo, llevar las aguas de exceso a un tanque amortiguador y al canal de fondo de retorno del agua al río.

El Paso lateral (by pass) tiene además la posibilidad de conducir el agua de la arqueta de reparto directamente a los filtros, sin pasar por ninguna de las etapas de decantación de la Planta, con lo que a través de un segundo vertedero (en la pared interna del canal, a la altura de los filtros) pasará el agua al canal de entrada de los filtros.

Fig.1- 12. Mezcla rápida y by pass.

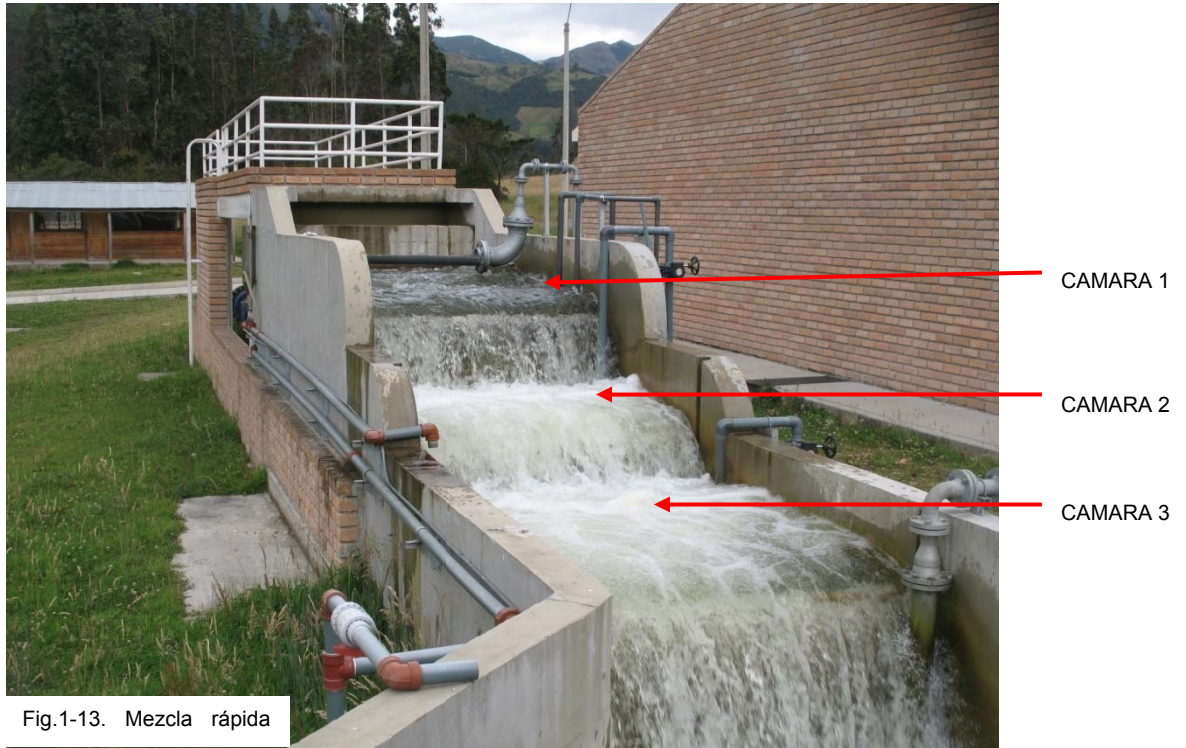


FUENTE: AUTOR

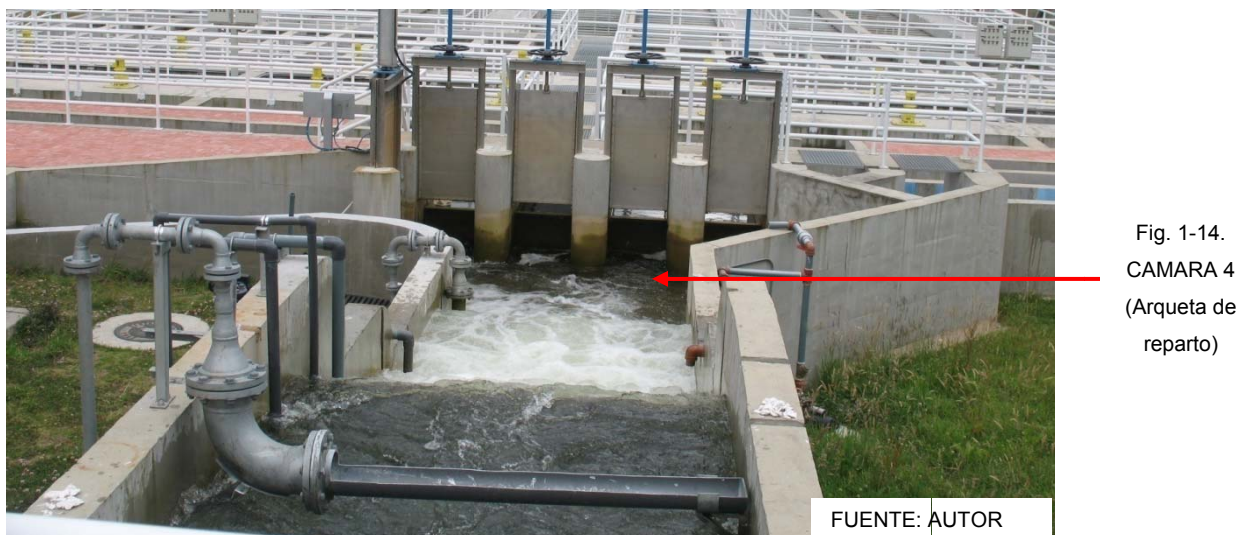


### 1.3.2. MEZCLA RÁPIDA HIDRÁULICA Y ARQUETA DE REPARTO.

La mezcla rápida de reactivos con el agua cruda se realiza en un mezclador de tipo de salto hidráulico, que consta de 4 cámaras:



FUENTE: AUTOR





En la primera cámara, previa al primer salto hidráulico, se dispone los puntos de aplicación para las siguientes soluciones de reactivos químicos:

- ❖ Lechada de cal, mediante difusor superficial construido en media caña de tubería de PVC.
- ❖ Solución de hidróxido sódico, mediante difusor sumergido construido en tubería de acero al carbono perforada y conectada mediante bridas.
- ❖ Solución de ácido clorhídrico mediante difusor sumergido construido en PVC.

En la segunda cámara, previa al segundo salto hidráulico, se dispone los puntos de aplicación para las siguientes soluciones de reactivos químicos:

- ❖ Solución de sulfato de aluminio mediante difusor sumergido construido una tubería de PVC perforada.

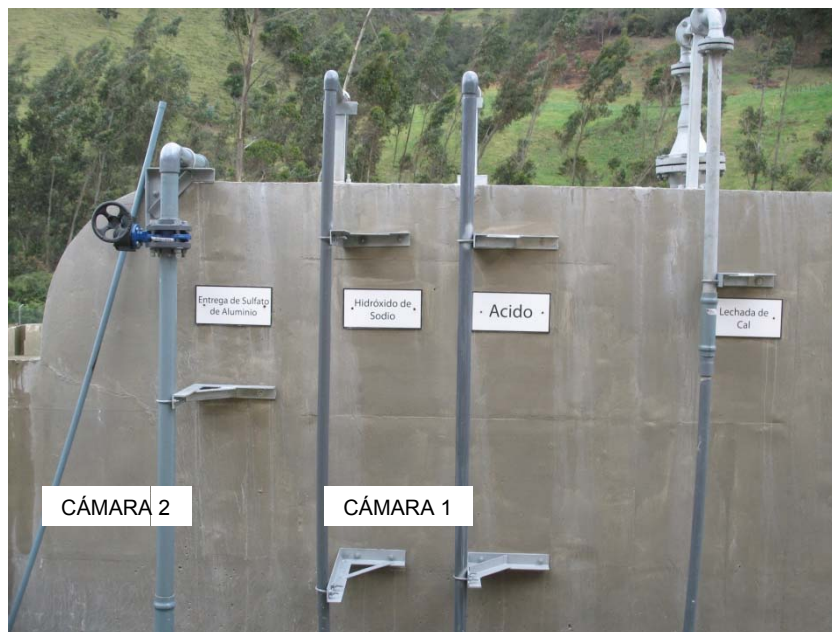


Fig. 1-15. Entrega de reactivos en la cámara

FUENTE: AUTOR



En la tercera cámara, previa al segundo salto hidráulico, se dispone los puntos de aplicación para las siguientes soluciones de reactivos químicos:

- ❖ Solución de sulfato de aluminio mediante difusor sumergido construido una tubería de PVC perforada.

En la cuarta cámara, arqueta de reparto, se dispone los puntos de aplicación para las siguientes soluciones de reactivos químicos:

- ❖ Solución de Poli electrolito mediante difusor sumergido construido en tubería de acero al carbono perforada y conectada mediante bridas.

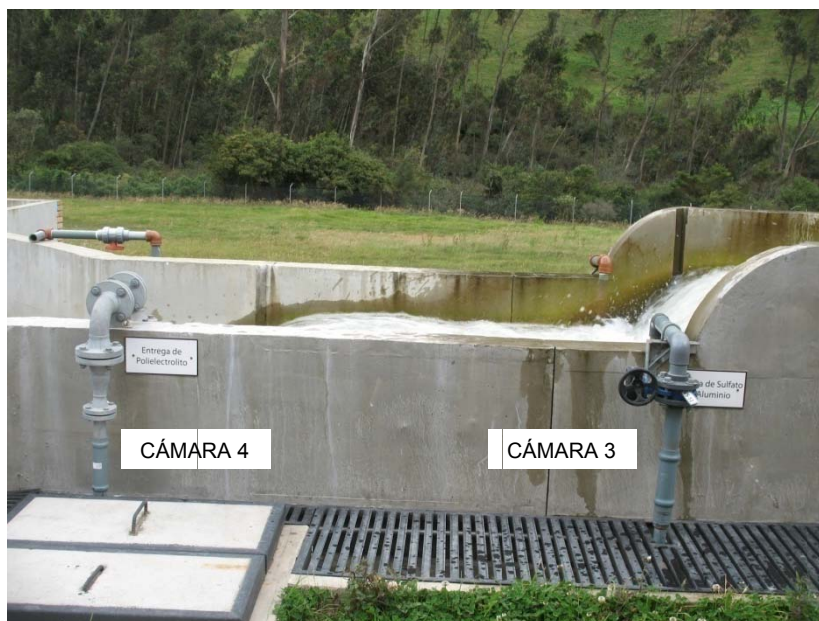


Fig. 1-16. Entrega de reactivos en la cámara 3 y 4.

FUENTE: AUTOR

Es de anotar que existen dos puntos posibles de aplicación del sulfato de aluminio, permitiendo experimentar la aplicación del mismo en cualquiera de los puntos ya mencionados y así determinar cuál es más eficiente.

Al final del canal by-pass está ubicada una compuerta tipo mural accionando manualmente el caudal a descargar en el tanque amortiguador de la Planta y el cual desemboca en un canal de descarga hacia el río. Estas compuertas entran en



operación cuando se decida desviar el caudal de entrada a la Planta abriendo la compuerta neumático y cerrando la tipo mural, y mediante un vertedero longitudinal conectar al canal de agua sedimentada hacia los filtros –los excesos por el vertedero del tanque amortiguador- o abriendo ambas compuertas para descargar directamente en el tanque.

En la entrada hacia los floculadores hidráulicos antes del vertedero se tiene una compuerta tipo canal de acero inoxidable AISI-316 para cada floculador, accionada manualmente, con pasarela de maniobras y que aíslan a cada floculador para cualquier procedimiento de operación o mantenimiento que se requiera.

[1]

## **1.4. COAGULACIÓN**

El reactivo químico seleccionado como coagulante es el sulfato de aluminio, que ha producido resultados suficientemente satisfactorios en las pruebas de jarras y que es un reactivo disponible en el país tanto en forma líquida suministrado en camiones cisterna como en forma sólida suministrado en sacos.

### **1.4.1. COAGULANTE: SULFATO DE ALUMINIO (TIPO B LÍQUIDO)**

#### **Dosificación:**

Se ha previsto el suministro de sulfato de aluminio preferentemente en forma líquida por la mayor facilidad de control de las dosis y preparación de las cubas de alimentación a las bombas dosificadoras. Las cubas de dilución, llamadas así en referencia al uso alternativo de sulfato de aluminio suministrado en sacos, van provistas de sistema de aporte de agua de dilución y agitadores para la preparación de la solución.



Fig. 1-17. Sistema de dosificación de Sulfato de Aluminio  
FUENTE: AUTOR

[1]

#### 1.4.2. AYUDANTE DE COAGULACIÓN: POLÍMERO

Las ayudas de coagulación son generalmente sustancias químicas agregadas para optimizar la coagulación, formar un floc más fuerte y más sedimentable, superar caídas de temperatura que retardan la coagulación, reducir la cantidad de coagulante requerido y disminuir la cantidad de lodo requerido.

En el edificio de dosificación de químicos esta prevista un área en donde se puede almacenar los sacos de polímero. El polímero utilizado es el polímero PRAESTOL 650 TR\*, su presentación es sacos de 25 kilos.

\*Nombre químico: Copolímero de acrilamida con ácidos acrílicos catiónicos derivados. Componente: 1-Propanaminium, N, N, N-trimetil-3-[(1-oxo-2-propenilo) amino] -, cloruro, polímero con 2 - propenamida

#### Dosificación de Polímero:



La solución de polielectrolito se realiza en una cuba de tres compartimentos provistos de agitadores de baja velocidad. El aporte intermitente de agua de dilución y polielectrolito en polvo, esta controlado por dos interruptores de nivel en la cuba, que arrancan el motor del dosificador de poli electrolito y abren la válvula automática de entrada de agua cuando actúa el interruptor de nivel bajo, o hacen lo contrario, es decir, paran el motor del dosificador y cierran la válvula de entrada de agua cuando actúa el interruptor de nivel alto.

Un interruptor de mínimo nivel en la cuba produce encorvamientos para protección de los tres agitadores y las dos bombas dosificadoras.

El punto de aporte del polielectrolito se encuentra ubicado en la cuarta cámara de la mezcla rápida mediante difusor sumergido.



Fig.1-18. Sistema de dosificación de Polímero

FUENTE: AUTOR

[1]



#### **1.4.2.1. pH ÓPTIMO PARA COAGULACIÓN.**

El valor de pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación; de acuerdo con Haney, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5.0 y 6.5.

Debido a las características particulares del agua proveniente del río Yanuncay, la planta cuenta con sistemas de dosificación de hidróxido y de ácido, con el fin de trabajar con un valor de pH que no afecte el proceso de coagulación.

[1]

#### **1.4.2.1.1. PREALCALINIZACIÓN (CON CAL APAGADA O CON HIDRÓXIDO DE SODIO).**

##### **a) Dosificación de cal.**

Se ha previsto el almacenamiento de cal en un silo cilíndrico vertical de 35 metros cúbicos de capacidad, ubicado fuera del edificio de químicos junto a los tanques de sulfato de aluminio. El silo dispone de un filtro de mangas ubicado en la parte superior para filtración de aire hacia el exterior en las maniobras de carga del silo, y de interruptores de nivel de tipo rotativos para indicación de nivel de carga del silo. La formación de bóvedas en el interior del silo se previene mediante un sistema de agitación mecánica a baja velocidad de giro.

El silo descarga la cal en polvo en una cuba de preparación de lechada de cal. El aporte de agua a la cuba de preparación de lechada de cal se realiza a través de un medidor de caudal de flotador, una válvula manual de regulación de caudal y una válvula de apertura y cierre automáticos.

La concentración de operación de la lechada de cal puede estar entre 1 y 10%, a los dos puntos opcionales: a la mezcla rápida o al saturador de cal para la





producción del caudal de solución saturada de cal, requerido para la regulación del pH en el agua tratada.



Fig. 1-19. Sistema de dosificación de Hidróxido de Calcio

Preparación de la lechada

FUENTE: AUTOR

### a) Dosificación de hidróxido sódico:

Para el almacenamiento del hidróxido de sodio se dispone de un tanque de fibra de vidrio con una capacidad de 35m<sup>3</sup>, dentro de una estructura de hormigón la cuál en caso de un derrame contendrá el mismo.

Para evitar la cristalización de la sosa por baja temperatura, el depósito esta controlado mediante revestimiento exterior y dispone de resistencias interiores de caldeo de funcionamiento mediante un termostato.

Tres bombas dosificadoras que aspiran en carga directamente del depósito de almacenamiento, impulsan la sosa a un colector común con dos derivaciones



provistas de válvulas de asilamiento, que conducen la sosa a uno u otro punto de aplicación.

La dosificación de la sosa es controlada a través de la variación del pH, ajustando el caudal aplicado de modo que el valor de consigna del pH sea igual al seleccionado por el operador.

La señal de pH procedente del medidor en campo es procesada en la Unidad Central de Procesamiento (CPU) del Controlador Lógico Programable (PLC) mediante una función controladora de señal, que en función del pH de consigna, el valor medido y de la evolución de la diferencia entre ambos, genera una señal de control de 4-20 mA que es a su vez procesada en la Unidad Central de Procesamiento.

#### **1.4.2.1.2. DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO**

Para el almacenamiento del ácido clorhídrico se dispone de un tanque de fibra de vidrio con una capacidad de 12 m<sup>3</sup>, contenido en una estructura de hormigón el cual en caso de un derrame lo contendrá el tiempo suficiente para actuar sobre él.

El punto de aplicación, luego de la filtración, es antes de la desinfección, a fin de proceder si fuera necesario a realizar un ajuste en pH del agua a fin de mejorar la difusión del cloro en agua y/o favorecer la desinfección, la otra entrega es en la primera cámara de la mezcla rápida. [1]

### **1.5. FLOCULACIÓN**

Los floculadores son de tipo mixto: mecánico-hidráulico, con una primera cámara de floculación de dimensiones 6.1x6.1x3.6 metros, esta cámara se divide, mediante un panel deflector central de paso inferior de agua, en dos cámaras iguales rectangulares de 3.05x6.1x3.6 metros.

Cada floculador tiene mando manual en sitio a través de unos tableros de arranque y paro de los agitadores el cual consta de cuatro agitadores de eje vertical de tipo turbina, con velocidad de giro variable y regulado manualmente.



Los agitadores de tipo turbina están calculados para poder regular el gradiente hidráulico medio entre 20 y 80  $\text{seg}^{-1}$  en las cámaras de floculación mecánica.

Para operación y mantenimiento cada floculador mecánico-hidráulico cuenta con un desagüe de fondo de 100 mm protegido con una rejilla, la operación se realiza con una válvula de compuerta de 100 mm.

### 1.5.1. FLOCULACIÓN MECÁNICA

Los cuatro floculadores mecánicos trabajarán en todo momento en las mismas condiciones dos a dos, de modo que no se deberían de producir problemas en la repartición equitativa de los caudales en los floculadores hidráulicos de tabiques de flujo vertical.



Fig. 1-20. Floculadores mecánicos

FUENTE: AUTOR

Floculación mecánica con gradiente regulable entre 20 y 80  $\text{seg}^{-1}$  y tiempo de retención entre 15 y 18 minutos, y floculación hidráulica con gradientes y tiempos de retención variables en función del caudal y con valores alrededor de 20  $\text{seg}^{-1}$  y entre 5.5 y 7.0 minutos respectivamente.



### 1.5.2. FLOCULACIÓN HIDRÁULICA

La segunda etapa de floculación es de tipo hidráulico: floculadores hidráulicos de tabiques de flujo vertical. Esta tiene lugar en cuatro floculadores dispuestos en paralelo, cada uno de 24 m<sup>3</sup> de volumen útil, para cada una de las cuatro líneas.



Fig. 1-21. Floculadores hidráulicos

FUENTE: AUTOR

[1]

### 1.6. SEDIMENTACIÓN

Se realiza mediante cuatro sedimentadores estáticos de placas planas, de flujo ascendente, dos por línea. Cada unidad está dividida en dos secciones de 2.4 m de ancho, con un canal central distribuidor de agua floculada de altura variable, con doble hilera de orificios. En la misma estructura del canal, la parte superior se ha dispuesto para receptor la descarga de agua sedimentada.



Fig. 1-22. Sedimentadores  
FUENTE: AUTOR

Cada sedimentador tiene 250 placas de  $2.4 \times 1.2 \times 0.002$  m de dimensiones unitarias, dispuestas de modo paralelo, con 5 cm de separación, a lo largo de los dos compartimentos de decantación y un ángulo de  $60^\circ$  de inclinación.

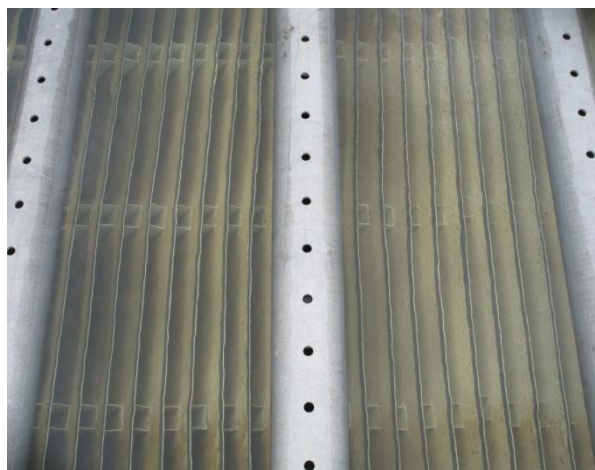


Fig. 1-23. Placas ABS  
FUENTE: AUTOR

El agua floculada se distribuye a ambos compartimentos por debajo de la parte inferior de las placas a través de las ventanas de un conducto de sección rectangular de área decreciente, situado entre los dos compartimentos de decantación, estudiado para minimizar la acumulación de flóculos sedimentados en su interior, y para asegurar una distribución uniforme del caudal de agua de



entrada a lo largo de la zona de sedimentación de los compartimentos y evitar superar un gradiente de  $20 \text{ seg}^{-1}$  que pondría en peligro la estabilidad del flóculo.

En cada sedimentador la recolección de agua sedimentada se realiza por medio de 50 tubos perforados de acero galvanizado de 150 mm de diámetro, que desembocan en un conducto central de recogida, situado encima del conducto de distribución de agua floculada.

El paso de agua al cuerpo del sedimentador se realiza mediante 20 orificios separados 0.88m, estos orificios corresponden a neoprenos de tubería de PVC D=160 mm.

La recogida de fangos de cada sedimentador se realiza a través de los concentradores de sección transversal trapezoidal, ubicados en la parte inferior de cada compartimento de decantación.

En la salida del conducto de recogida de agua sedimentada de cada sedimentador se dispone una compuerta para poder realizar el aislamiento y vaciado de cada línea de floculación – decantación cuando sea requerido para efectuar tareas de mantenimiento.

El vaciado de un sedimentador implica las siguientes operaciones secuenciales:

Cierre de las compuertas de aislamiento situadas a la entrada del floculador y a la salida de cada línea

Extracción de fangos mediante la apertura de las cuatro válvulas automáticas de purga de fangos del sedimentador.

Vaciado parcial del sedimentador a través de la válvula de vaciado del floculador situado en serie con el sedimentador, y conducción del agua, por gravedad. [1]



## 1.7. FILTRACIÓN RÁPIDA

La filtración se realiza mediante seis unidades de filtros abiertos con lecho de arena, control de nivel constante, construidos con hormigón armado, de 36.6 m<sup>2</sup> (12.04x3.04 m), con lecho filtrante de Arena Silíceo de 72 cm de altura sobre bloques Leopold\*.



Fig. 1-24. Filtros con lecho de arena

FUENTE: AUTOR

La alimentación de agua a los filtros se realiza mediante un canal de distribución que tiene derivaciones de paso sumergido, controlado por una compuerta, a un canal individual con un rebosadero.

El agua filtrada es recogida en un canal lateral, situado debajo del canal de recolección de agua de lavado, es conducida por medio de una tubería de 350 mm de diámetro, controlada por una válvula de mariposa de accionamiento neumático

\*Los bloques Leopold están constituidos de ductos paralelos con el objetivo de mejorar las condiciones de distribución de agua para lavado. Cuando el lavado se hace sin la introducción de aire, el bloque es generalmente hecho en cerámica

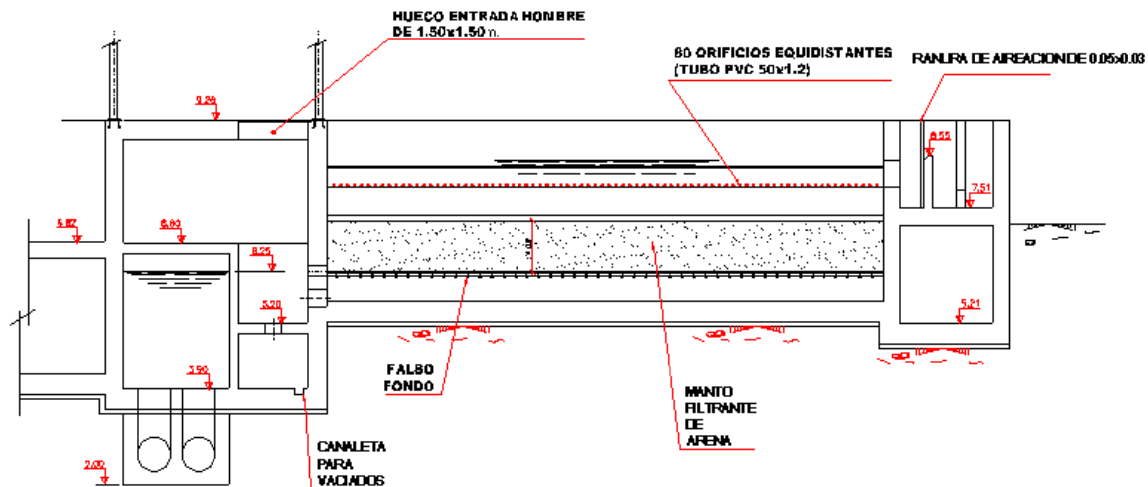


vitrificada, mientras que para la introducción de aire se emplea un bloque especial, hecho en polietileno expandido.

con el nivel de la lámina de agua en el filtro a una cámara, desde ésta, mediante un rebosadero para el canal de recolección de agua filtrada y al depósito de agua filtrada mediante dos tuberías de acero al carbono de DN 700mm en sifón.

La altura de la lámina de agua sobre el lecho de arena está regulada mediante un sensor de nivel tipo flotador, que convierte las oscilaciones del nivel de agua de 0.1 m en señal neumática que posiciona el estado de apertura de la válvula de regulación, produciendo una pérdida de carga adicional, que permita mantener a una altura la lámina de agua tal que reduzca el riesgo de presiones negativas en el interior del lecho filtrante en casos de carreras excesivamente prolongadas, o de excesiva acumulación de partículas en las primeras capas del lecho filtrante. El lavado de los filtros se realiza de dos modos opcionales: en modo automático y en modo manual.

Fig. 1-25. Corte lateral de un filtro (FUENTE: ETAPA).



[1]

FUENTE: ETAPA





## 1.8. DESINFECCIÓN DE AGUA FILTRADA (CAMARA DE CONTACTO DE CLORO).

Luego de la filtración y a través de dos tuberías de acero al carbono, formando un sifón, de diámetro 700 se acceda al tanque de agua filtrada y desde éste, a través de un pasillo a la cámara de contacto de cloro.

Para una mejor mezcla de la dosificación de cloro en el canal antes de la entrada a la cámara de contacto se dispone de un agitador con mando local manual sobre la losa de cubierta de la cámara.

La cámara de contacto se configura en la típica forma de laberinto, donde los tramos rectos tienen un ancho de 0.85 m y los tramos curvos de 1.2 m, la pérdida de carga se puede estimar en pocos centímetros y las velocidades son del orden de 0.49 y 0.33 m/s para los tramos rectos y curvos. Con estos datos, el tiempo de residencia es del orden de 5 minutos.

El tiempo de desagüe del conjunto cámara de contacto y depósito de agua filtrada se estima en el orden de 30 minutos.



Fig. 1-26. Cámara de contacto de cloro

FUENTE: AUTOR

[1]



### 1.8.1. DOSIFICACIÓN DE CLORO

El almacenamiento de cloro se efectúa en contenedores de 1000 kg de capacidad, ubicados en el edificio de cloración.



Fig. 1-27. Edificio de cloración  
FUENTE: AUTOR



Fig.1- 28. Tanques de Almacenamiento de Cloro  
FUENTE: AUTOR



Fig. 1-29. Dosificador de Cloro (Rotámetro)

FUENTE: AUTOR

Dos bombas centrífugas de ejecución horizontal, que aspiran en carga del Depósito de Agua Filtrada, impulsan el agua necesaria a un caudal y una presión adecuados para producir en los eyectores la depresión que opera el sistema. La capacidad de cada eyector es de 10 kg/h.

Se dispone una instalación de absorción de fugas de cloro, de funcionamiento automático, situada en el exterior del edificio para afrontar la posible contingencia de un escape de cloro gas. Se trata de una torre construida en poliéster reforzado con fibra de vidrio, por donde se hace circular el aire contaminado con cloro a través de un relleno de anillos tabicados de polipropileno, para puesta en contacto en contracorriente con una solución absorbente de hidróxido sódico. Cuando el detector de fugas de cloro mide una concentración de cloro superior a la prefijada, entra en funcionamiento automáticamente la bomba de recirculación de sosa y el ventilador que aspira el aire contaminado de la sala de donde se ha producido el escape.

En caso de accidente, cuando se ha detectado una dosis de cloro superior al límite establecido, además de las actuaciones anteriores, se dispondrá de una alarma en



el cuarto de control y la posibilidad de cerrar desde este la puerta principal del Edificio de cloro.

La solución de sosa es recirculada mediante un grupo motobomba, construido en materiales especiales, que aspirarán de un depósito de almacenamiento de sosa provisto de resistencia de caldeo gobernadas por un preostato para impedir la cristalización de la solución de sosa por baja temperatura. [1]

### 1.9. DEPÓSITO DE AGUA TRATADA (TANQUES DE ALMACENAMIENTO)

La planta consta de dos depósitos de 2500 m<sup>3</sup> cada uno al final de la línea de proceso.



Fig. 1-30. Depósito de agua tratada

FUENTE: AUTOR

El tanque es de forma hexagonal y parcialmente enterrado. La altura de la lámina de agua es de 3.5 m.

1]

### 1.10. REGULACION DEL pH.

La planta cuenta con sistemas de dosificación de Hidróxido de Sodio, de una solución saturada de cal, y de ácido clorhídrico con el fin de obtener un pH a la



salida que se encuentre dentro del rango de 6.5-8.5 dada por la norma NTE-INEN 1 108-2010.

El punto de aplicación cloro se encuentra al inicio de la cámara de contacto. En cambio el punto de aplicación del Ácido, NaOH, y de la solución saturada de cal se encuentra a la salida de la cámara de contacto.

Se debe tener especial cuidado en la dosificación de la solución de cal, ya que un exceso en la misma significaría tener un pH sobre los 8.5 y por lo tanto la formación de incrustaciones.

### 1.11. RED DE DISTRIBUCIÓN.

El agua potabilizada, se distribuye hacia los tanques ubicados en los siguientes sectores. *Tabla 1-2.*

SECTOR	CAPACIDAD
Narancay	5000 m <sup>3</sup>
Huizhil	4500 m <sup>3</sup>
San Joaquín Alto	1500 m <sup>3</sup>
San Miguel de Putuzhí	2500 m <sup>3</sup>

FUENTE: Manual de operación y mantenimiento de la planta de Agua Potable de la Planta de Sústag

Finalmente desde estos tanques se repartirá el agua potable hacia las instalaciones domiciliarias. [1]

### 1.12. TRATAMIENTO DE FANGOS

Para evitar el impacto en las aguas del Río Yanuncay del vertido de los fangos producidos en los sedimentadores y los que se producen en el Depósito de Recuperación provenientes de las aguas de lavado de filtros, se ha previsto el



tratamiento de los fangos mediante un proceso de espesamiento, acondicionamiento, deshidratación en filtro banda y transporte del fango deshidratado al relleno sanitario municipal.

### 1.12.1. RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADO DE FILTROS

El agua procedente del lavado de los filtros se recoge en una tubería de acero DN 350, y se conduce por gravedad hasta el Depósito de Recuperación de Agua de Lavado.



Fig. 1-31. Depósito de Recuperación de agua de lavado de filtros

FUENTE: AUTOR

En éste depósito que es de planta cuadrada 10x10 y de 225 m<sup>3</sup> de capacidad está diseñado con una fosa tronco piramidal donde se produce la sedimentación de las partículas en suspensión del agua procedente del lavado de los filtros. El volumen correspondiente a la fosa es de 45 m<sup>3</sup>.

Dos bombas sumergibles de funcionamiento controlado por interruptores de nivel efectúan la impulsión del agua de lavado clarificada a la cabecera de planta.



### 1.12.2. ESPESADOR DE FANGOS

Los fangos procedentes de las purgas de los sedimentadores se conducen por gravedad a través de un colector de 200 mm de diámetro hasta un espesador de gravedad, que consiste en un depósito circular, de 9 m de diámetro, provisto de un canal periférico de recogida de agua sobrenadante de modo que el tirante hidráulico en la conducción de fangos de purga de los sedimentadores es de 1.58 m.



Fig. 1-32. Espesador de Fangos.

FUENTE: AUTOR

El colector de fangos de purga de los sedimentadores introduce estos en la zona central del espesador que dispone de un deflector circular, construido en chapa de acero, también en esta zona se introducen los fangos impulsados por las bombas de purga de fondo del Depósito de Recuperación de Agua de Lavado.

El espesador dispone un sistema de arrastre de los fangos sedimentados, consiste en una estructura metálica con rasquetas barredoras del fondo accionadas por un moto reductor central. [1]



### 1.12.3. FLOCULACIÓN DE FANGOS

Los fangos espesados serán bombeados desde el espesador hasta el floculador del filtro banda, donde recibirán una solución de polielectrolíto en dosis adecuada para el acondicionamiento del fango.



Fig. 1-33. Sistema de dosificación del polielectrolíto para floculación del fango.

FUENTE: AUTOR

[1]

### 1.12.4. PRENSADO DE FANGOS

El fango espesado y floculado es vertido en el filtro banda y mediante el prensado que tiene lugar entre las telas filtrantes del filtro banda, se reduce el contenido de agua del fango, que en forma sólida es descargado por el filtro banda y mediante un sistema de cintas transportadoras es depositado en un contenedor para su retirada al relleno sanitario mediante camión porta-contenedores.





Fig.1- 34. Filtro banda

[1]

FUENTE: AUTOR

### 1.13. CONTROL DE OPERACIÓN DE LA PLANTA.

El control de operación de la Planta está a cargo de los operadores, quienes deben llevar un registro diario de los valores de turbiedad, pH, cloro residual, nivel de caudales, etc. Los cuales son obtenidos a través de los equipos de instrumentación en línea y control descritos más adelante, estos datos le servirán a la empresa para formar un historial, el cuál les permitirá conocer de mejor manera el funcionamiento de la planta y la calidad del agua a tratarse y del agua tratada.

A continuación en la siguiente sección se detallan los equipos necesarios para el mantenimiento de la planta, es decir las bombas y los mecanismos empleados para limpieza de filtros y para servicios generales de la planta.

[1]



### 1.13.1. CASA DE MÁQUINAS



Fig. 1-35. Bombas para agua de arrastre de cloro

FUENTE: AUTOR

Todos los requerimientos de agua y aire se encuentran atendidos desde este sector de la Planta en el que mediante bombas y compresores se atiende con:

- Agua filtrada para Saturador de Cal, arrastre de Cloro, y lavado de Filtro Banda de tratamiento de desechos de potabilización.



Fig. 1-36. Bombas para agua de arrastre de cloro



Fig. 1-37. Bombas para lavado de Filtro Banda

- Agua filtrada para lavado de filtros de cloro y para servicios generales de la planta a través de un sistema hidroneumático.



- Aire a baja presión y gran caudal para lavado de filtros con sistema de soplantes.
  - Aire a gran presión para la operación de los sistemas de neumocontrol, con válvulas de compuerta, mariposa y de manguito.
1. Desinfección del agua filtrada, con aplicación de solución de cloro.
  2. Estabilización final del agua, mediante adición de hidróxido de sodio o de hidróxido de calcio
  3. Salida de agua tratada y alimentación a dos depósitos de reserva y distribución.
  4. Tratamiento y disposición final de efluentes:
    - a. Recirculación de agua de vaciado y lavado de filtros rápidos
    - b. Tratamiento de fangos procedentes de sedimentación y de floculación, mediante espesamiento, acondicionamiento y deshidratación en filtro banda y, disposición al relleno sanitario.
    - c. Tratamiento y disposición final de agua residual.

[1]

### **1.13.2. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.**

Los equipos de instrumentación en línea y control previstos en la planta se detallan a continuación:

- Un equipo de medida de caudal de agua cruda en la conducción de llegada de agua al canal de mezcla rápida.
- Un analizador de turbiedad del agua cruda situado junto a la primera cámara del canal de mezcla rápida.
- Un analizador de carga iónica del agua coagulada situado junto a la cámara de distribución de agua a floculadores.
- Un equipo de medida de pH de floculación situado junto a la cámara de distribución de agua a floculadores.



- Un analizador de turbiedad del agua sedimentada situado junto al primer canal de recogida de agua sedimentada.
- Un analizador de turbiedad del agua filtrada.
- Un equipo de medida de pH, un analizador de turbiedad y un analizador de contenido en cloro residual del agua tratada situado junto a la salida de la Cámara de Contacto.
- Un equipo de medida de caudal de agua de lavado en la tubería de impulsión de agua de lavado.
- Un equipo de medida de caudal de aire de lavado en la tubería de aire de lavado.
- Un equipo de medida del caudal de aporte de agua al saturador de cal en la tubería de impulsión de las bombas de aporte de agua al saturador de cal.
- Un equipo de medida de caudal de fangos en la conducción de fangos de los Sedimentadores al espesador.
- Un equipo de medida de caudal de fangos del depósito de recuperación en la conducción de fangos del depósito de recuperación al espesador.
- Un equipo de medida de caudal de fangos espesados en la tubería de impulsión de fangos espesados al filtro banda.
- Un medidor ultrasónico de nivel en el depósito de almacenamiento de ácido clorhídrico, en el depósito de agua filtrada, en el depósito de almacenamiento de hidróxido sódico, y en el depósito de agua tratada.
- Dos medidores hidrostáticos de nivel en los depósitos de preparación de sulfato de aluminio.
- Dos sensores de nivel en los depósitos de preparación de sulfato de aluminio.
- Un interruptor de nivel alto y nivel bajo de medida de carga del silo de cal.

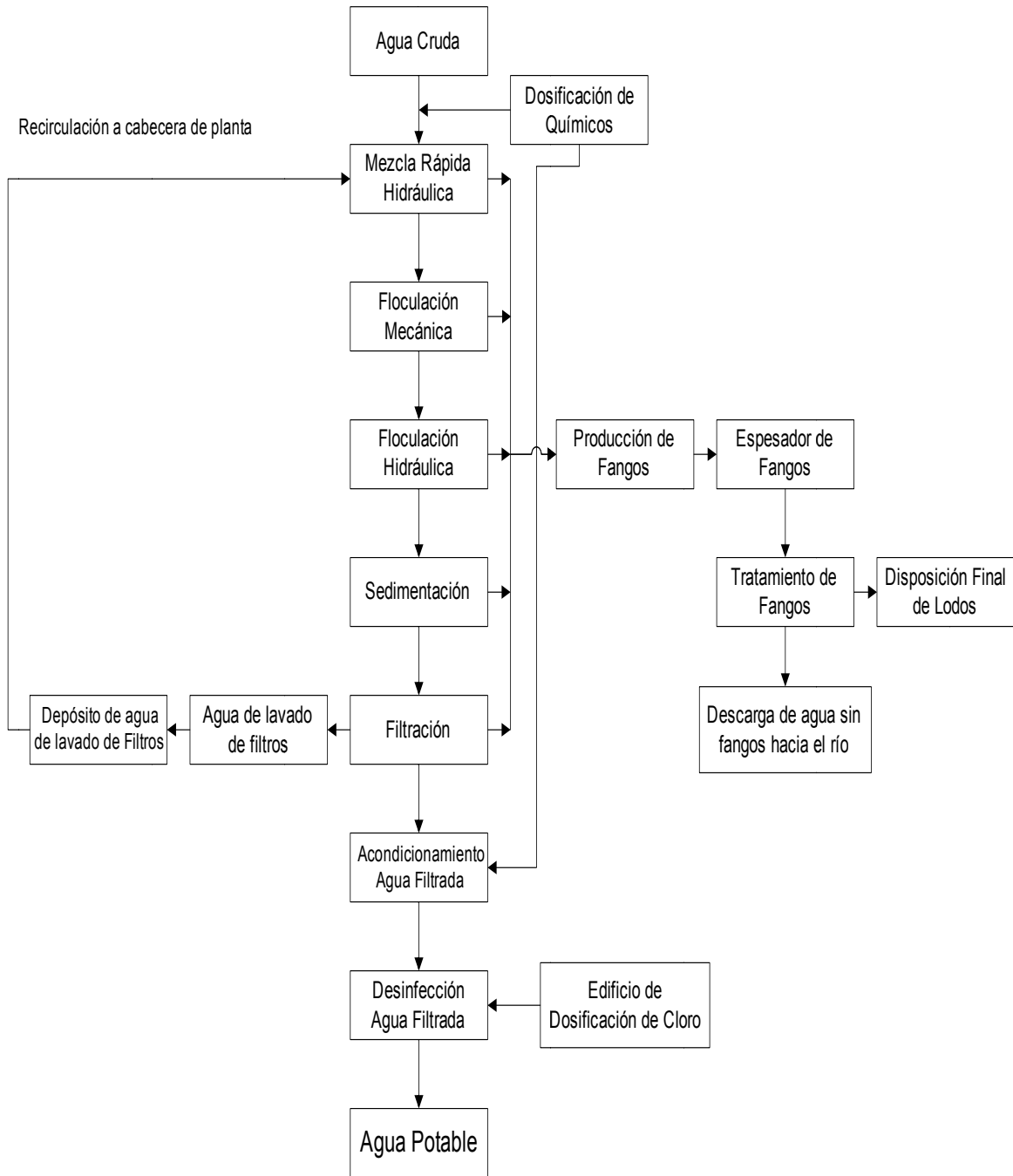


- Tres detectores de fugas de cloro en el edificio de cloración.
- Un equipo de medida de caudal de agua tratada a la salida del tanque de reserva.
- Un equipo de medida de caudal de agua a la comunidad.

Todos los dispositivos antes mencionados son de indicación local y cuentan con un registro de evolución de señal en el panel de control. [1]



## DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO



\*FUENTE: RUBIO, Ramirez, Ricardo; Determinación Experimental de las Propiedades Hidráulicas de los Floculadores Mecánicos de la Planta de Tratamiento de Agua Sústag-Etapa.



#### **1.14. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.**

Los servicios analíticos del laboratorio están dirigidos al control de:

- Calidad del agua cruda.
- Operaciones y procesos componentes del sistema, eficiencia, optimización.
- Pruebas de tratabilidad, optimización de procesos.
- Dosificación de químicos.
- Calidad del agua tratada.
- Agua distribuida (cloro residual, pruebas bacteriológicas).
- Efluentes líquidos de procesos y sanitarios.
- Efluentes de los sistemas de tratamiento y disposición final.

El laboratorio esta dimensionado y equipado para cubrir las acciones y componentes de un control de rutina y optimización. Análisis especiales como: biológicos, pesticidad, trihalometanos, control de calidad de insumos químicos y reactivos. Medios granulares deben ser realizados en el laboratorio de la Subgerencia Ambiental.

[1]



## CAPITULO 2

### TEORÍA DE LA PURIFICACIÓN DEL AGUA

#### 2.1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA QUÍMICA DEL AGUA

El agua o dihidruro de oxígeno es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal. En la práctica, llamamos agua a las soluciones y suspensiones acuosas de sustancias orgánicas e inorgánicas como las que constituyen la lluvia, el mar, los lagos y los ríos.

##### 2.1.1. Estructura Química del Agua

La estructura de la molécula del agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno los cuales se unen a través de un enlace covalente polar, dando como resultado una molécula de geometría angular, es decir, los átomos de hidrógeno están separados por un ángulo de  $105^\circ$  (fig. 2-1).

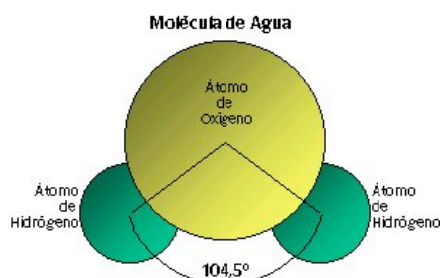
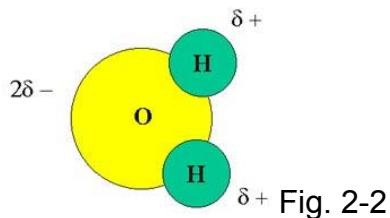


Fig. 2-1.

FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

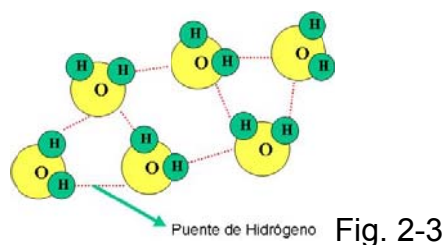
Por otra parte, como sabemos, su fórmula química es  $H_2O$ , que nos indica que la proporción de hidrógeno y oxígeno en la molécula de agua es 2: 1. Si comparamos los átomos de H y O, veremos que este último es un átomo de mayor tamaño, y por lo mismo, tiene más electrones o densidad electrónica que el átomo de hidrógeno. Esta característica determina que la molécula de agua sea polar, es decir, que tiene carga positiva hacia el extremo donde se encuentran los átomos de hidrógeno y carga negativa hacia el extremo contrario donde se ubica el átomo de oxígeno. Fig. 2-2.





FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

Del mismo modo que existen las uniones interatómicas, hay otras: las uniones intermoleculares, que permiten mantener unidas las moléculas de un compuesto. Dadas las características de polaridad de la molécula de agua, la unión se establece por medio de una fuerza de atracción intermolecular llamada enlace por puente de hidrógeno. Fig. 2-3



FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

Dicho de otro modo, el extremo positivo de una molécula de agua resulta fuertemente atraído por el extremo negativo de otra molécula de agua cercana de forma que con las moléculas del entorno próximo se forman redes de moléculas unidas entre sí a través de un tipo de enlace especial llamado enlace por puente de hidrógeno. Fig. 2-4. [15]

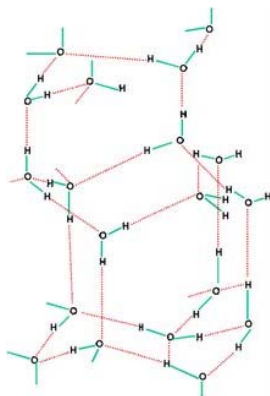


Fig. 2-4

FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

### 2.1.2. Propiedades Físicas y Químicas

Entre las propiedades del agua se destacan:

- 1) Estado físico: sólida, líquida y gaseosa
- 2) Color: incolora
- 3) Sabor: insípida
- 4) Olor: inodoro
- 5) Densidad: 1 g./c.c. a 4°C
- 6) Punto de congelación: 0°C
- 7) Punto de ebullición: 100°C
- 8) Presión crítica: 217,5 atmósferas.
- 9) Temperatura crítica: 374°C

- Masa molecular o mol=18 g. Como existen tres isótopos de hidrógeno y tres de oxígeno, se pueden tener dieciocho diferentes masas moleculares para el agua.

Entre otras propiedades que se detallan a continuación.

#### 2.1.2.1. Ionización y Solvatación



## **Ionización.- Constante de Ionización**

De acuerdo con la teoría de Arrhenius, todos los ácidos, bases y sales se disocian en iones cuando se ponen en solución en el agua. La ionización o disociación se puede definir como la separación de un compuesto en iones de un elemento o de radicales, con las correspondientes cargas eléctricas.

Los principios de la teoría de ionización de Arrhenius son los siguientes:

- Una molécula puede disociarse dando iones positivos y negativos, y la suma de las cargas eléctricas en los iones positivos es igual a la suma de las cargas eléctricas en los iones negativos.
- Una solución que contenga iones es eléctricamente conductora. Por lo tanto, aquellos compuestos cuyas soluciones no son conductoras de la electricidad no se ionizan. Los electrolitos son sustancias cuyas soluciones acuosas conducen la electricidad. Dependiendo del grado de ionización, los electrolitos se clasifican como fuertes o débiles. Los fuertes se consideran 100% ionizados. Ejemplos de electrolitos fuertes son  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $KOH$ ,  $NaOH$  y  $Ca(OH)_2$ .

Como la ionización es un fenómeno que se traduce en la forma de una reacción reversible, en la cuál se establece un equilibrio entre las moléculas ionizadas y las no ionizadas, es posible, por consiguiente, aplicar el principio de la constante de equilibrio a las ecuaciones de ionización. [2]

## **Solvatación.**

La solvatación es el proceso de atracción y asociación de moléculas de un solvente con moléculas o iones de un soluto. Al disolverse los iones en un solvente, se dispersan y son rodeados por moléculas de solvente. A mayor

tamaño del ion, más moléculas de solvente son capaces de rodearlo, y más solvatado se encuentra el ion .

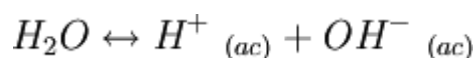
Cuando el solvente es el agua, al proceso se le llama hidratación. El agua disuelve



con facilidad a muchos compuestos iónicos debido a la hidratación de los iones. Un ion hidratado es un agregado formado por un ion y una o más moléculas de agua. [2]

### 2.1.2.2. Disociación del Agua

Las propiedades de las disoluciones dependen del equilibrio del solvente, las disoluciones acuosas dependen del equilibrio de la disociación del agua. El agua, tanto en el estado puro como en el estado de disolvente es disociada en iones llamados hidronio:  $H^+$  e hidroxilo:  $OH^-$



Donde *ac* significa acuoso. Esta disociación, en dirección a la derecha ocurre únicamente hasta que el equilibrio se alcanza, después ocurre en ambas direcciones a la misma velocidad. Aproximadamente una de cada 500 millones de moléculas de agua se disocia. La ecuación se puede escribir igual que la de cualquier disociación:

$$K_c = \frac{([H^+] \cdot [OH^-])}{[H_2O]}$$

Siendo  $K_c$  la constante de disociación del agua, debido a que la disociación es prácticamente siempre la misma, se puede combinar con una nueva constante  $K_w$ :

$$K_c \cdot [H_2O] = K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-14}$$

[2]

### 2.1.2.3. Conductividad

El agua pura es un buen conductor de la electricidad. Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones.



Conductividad en distintos tipos de aguas:

Agua Ultra Pura  $5.5 \cdot 10^{-6}$  S/m

Agua potable 0.005 – 0.05 S/m

Agua del mar 5 S/m

[3]

**2.1.2.4. Densidad:** La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad a los 100 °C, donde tiene 0,958 kg/L. Mientras baja la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/L) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/L. A esa temperatura (3,8 °C) alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente, hasta que a los 0 °C disminuye hasta 0,9999 kg/L. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/L a 0,917 kg/L. [3]

**2.1.2.5. Viscosidad:** Es la propiedad que tiene un líquido de oponer resistencia a todo movimiento, ya sea interno o global como el flujo.

Es un factor fundamental de las pérdidas de carga y, por lo tanto, desempeña un importante papel en el tratamiento del agua. Disminuye cuando aumenta la temperatura. Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Variaciones de la viscosidad dinámica en función de la temperatura:

°C	0	5	10	15	20	25	30	35
mPa·s	1.797	1.523	1.301	1.138	1.007	0.895	0.800	0.723



FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

Por el contrario, aumenta con el contenido en sales disueltas, por lo que el agua de mar es mucho más viscosa que el agua de río (Tabla 2-2):

Tabla 2-2. Viscosidad con variación en el contenido de sales disueltas:

Salinidad en iones Cl	0	4	8	12	16	20
Coefficiente de viscosidad a 20°C en mPa.s	1.007	1.021	1.035	1,052	1.068	1.08

FUENTE: DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua

[15]

#### 2.1.2.6. Calor Específico

Propiedad relacionada con los puentes de hidrógeno que se crean entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de calor que utiliza para romper los puentes de hidrógeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. El calor específico del agua se define como la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura en un grado centígrado a un gramo de agua en condiciones estándar y es de  $1 \text{ cal/}^\circ\text{C}\cdot\text{g}$ , que es igual a  $4,1840 \text{ J/K}\cdot\text{g}$ .

Esta propiedad es fundamental para los seres vivos (y la Biosfera en general) ya que gracias a esto, el agua reduce los cambios bruscos de temperatura, siendo un regulador térmico muy bueno. [15]

#### 2.1.2.7. Tensión Superficial

Caracteriza una propiedad de las superficies que limitan dos fases. Se define como una fuerza de tracción que se ejerce en la superficie del líquido y tiende siempre a reducir lo más posible la extensión de dicha superficie. La tensión superficial y del agua es de  $73 \times 10^{-3} \text{ N/m}$  ( $73 \text{ dyn/cm}$ ) a  $18^\circ\text{C}$ , y de  $52,5 \times 10^{-3}$



N/m (52,5 dyn/cm) a 100°C. Es tal que provoca una ascensión capilar de 15 cm a 18°C en un tubo de 0,1 mm de diámetro.

La adición de sales disueltas aumenta generalmente la tensión superficial ( $\gamma=74,6 \times 10^{-3}$  N/m o 74,6 dyn/cm para una solución acuosa de NaCl a 1 mol/l, a 18°C). La presencia en el agua de algunos cuerpos (denominados tensoactivos) disminuye la tensión superficial. [15]

#### 2.1.2.8. Constante Dieléctrica

La estructura y la polaridad de la molécula de agua hacen que esta sea un disolvente capaz de reducir las fuerzas de atracción que existen entre partículas de cargas opuestas (o de reducir la repulsión entre partículas de cargas iguales). La constante dieléctrica no tiene unidades, pero es una medida de esa reducción y se define como:

$$K_{te} \text{ dieléctrica} = \frac{\text{Fuerza entre dos cargas en el vacío}}{\text{Fuerza entre dos cargas en el medio}}$$

La constante dieléctrica es mayor de 1, si el medio reduce la fuerza entre las cargas comparada con el vacío. En el agua, la constante dieléctrica es 78.5, una de las más elevadas de todas las sustancias puras. Esa capacidad del agua pura para reducir las fuerzas entre partículas cargadas es un factor primordial como solvente de muchos compuestos iónicos. [15]

#### 2.1.2.9. Sustancias dispersas en el Agua.

Una sustancia puede estar dentro de otra de varios modos diferentes:

*Primero:* La molécula de una sustancia A puede estar disgregada dentro de una sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A está disuelta dentro de la B.



*Segundo:* Partículas o gotitas muy pequeñas de la sustancia A puede estar dispersas dentro de la sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A está en estado coloidal dentro de la sustancia B.

*Tercero:* Partículas relativamente grandes de la sustancia A están flotando dentro de la sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A está en suspensión en la sustancia B. Como se ve, según el tamaño de las partículas del sólido o líquido disgregado dentro de otro, hay un cambio en la clasificación del fenómeno y en las características que éste reviste. Cuando hay verdadera solución, el soluto tiene dimensiones aproximadamente iguales o inferiores a  $1 \mu\mu$ ; cuando hay estado coloidal, el coloide tiene dimensiones que varían entre  $1 \mu\mu$  y  $1000 \mu\mu$ . Y cuando hay suspensión gruesa las partículas o gotas suspendidas tienen tamaños iguales o mayores de  $1000 \mu\mu$ . El esquema de la figura 2-5.

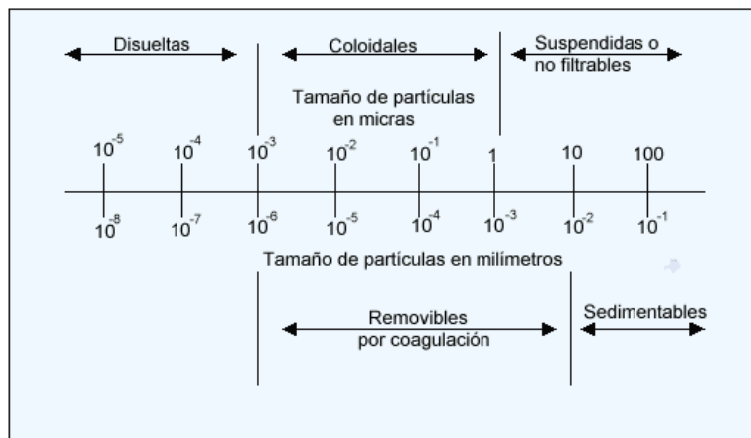


Figura 2-5. Tamaño de las partículas suspendidas.

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

Debe notarse que los límites fijados en este esquema son aproximados y, por tanto, suelen a veces confundirse o intercalarse, en especial en los puntos de contacto.





Los coloides propiamente dichos tienen propiedades muy características que los distinguen en forma precisa. Los químicos suelen referirse a la sustancia dispersa como fase dispersa y a la sustancia dispersante como fase dispersante.

Tabla 2-3.

<b>Fase dispersa</b>	<b>Fase dispersante</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ejemplo</b>
1. Líquido	Líquido	Emulsión	Aceite en agua
2. Sólido	Líquido	Sol	Turbiedad en agua
3. Gas	Líquido	Espuma	Crema batida
4. Líquido	Gas	Aerosol	Niebla, neblina
5. Sólido	Gas	Aerosol	Humo, polvo
6. Líquido	Sólido	Gel	Jalea
7. Sólido	Sólido		Vidrio coloreado
8. Gas	Sólido		Piedra pómez

Tabla 2-3. Clases de disoluciones coloidales

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

[3]



## 2.2. COAGULACIÓN DEL AGUA

La Coagulación es un proceso dentro de la etapa de clarificación del agua, y se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles.

La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo. [2]

### 2.2.1. Coloides, Clasificación y Propiedades

Los coloides han sido definidos como partículas cuyo diámetro varía entre 1-100 nm. Son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. [2]

**Clasificación de los coloides:** Los coloides se clasifican en; moleculares y no moleculares (micelares); liofílicos y liofóbicos, diurnos y caducos, orgánicos e inorgánicos.

**Los coloides moleculares**, están constituidos por sustancias polímeras, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes (15000-100000) y tamaños entre  $10^2$  y  $5 \times 10^2$  m $\mu$  de longitud por 0.2 y 1 m $\mu$  de grosor. Estos polímeros, como la gelatina, las proteínas, el almidón, etc., no obstante estar dispersados molecularmente, no constituyen verdaderos solutos, sino coloides. El término coloide significa originalmente "*gelatinoso*".

**Los coloides de asociación o micelares** pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales (ejemplo: oro) o compuestos orgánicos (ejemplo: jabones, detergentes), que espontáneamente se aglutinan en presencia de un dispersante en partículas de tamaño coloidal.



**Los coloides liofílicos** (hidrofílicos cuando se refieren al agua) están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte atracción por el solvente, y reaccionan químicamente con el agua, en la cual están dispersados (Ejemplo; jabones, materia orgánica encontrada en el agua negra). Su estabilidad depende de la capa de hidratación que los rodea en la cual hay moléculas de agua adheridas que actúan como barrera que impide el contacto entre partículas.

**Los coloides liofóbicos** están, en cambio, formados por sustancias insolubles en el dispersante (ejemplo: arcillas, metales) y por lo mismo son mucho más inestables que los liofílicos. Son el tipo de dispersiones que más interesa en el tratamiento de aguas potables.

**Los coloides diuturnos** (de larga duración) son aquellos que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo comparado con el período de observación.

**Los coloides caducos** son, al contrario, los transitorios que se aglutinan o cambian rápidamente.

Los coloides, además, pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas, o inorgánicos como el oro o las arcillas minerales.

### **Forma de los coloides**

La forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades. No se ha hecho, sin embargo, una clasificación adecuada de los coloides. Algunos los clasifican en isométricas y anisométricas. Las primeras son las que tienen una dimensión igual en todas direcciones (esferas, poliedros); las segundas son las que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones tales como cilindros, láminas, cintas, etc.

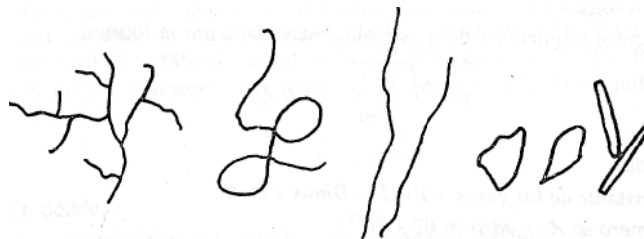


Figura 2-6. Formas más comunes de coloides.

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

[3]

**Propiedades de los coloides:** Los coloides pueden estudiarse bajo una serie de propiedades. Las principales se presentan a continuación:

1) Propiedades cinéticas:

a) Movimiento Browniano: Una de las propiedades que más distingue a las dispersiones coloidales, es el que no pueden sedimentarse, aun cuando las partículas sean más densas que el líquido que las rodea. Si una suspensión de dichas partículas es observada en un ultramicroscopio, se puede notar entre ellas un movimiento constante y desordenado.

La velocidad promedio  $v$  de la partícula viene dada por la fórmula:

$$v = \sqrt{(RT) / Nm}$$

En donde:

R= constante de los gases= PV/T= Dinaxcm/K

N=número de Avogadro ( $6.02 \times 10^{23}$ )

T= temperatura absoluta en Kelvin

m= masa de partícula en dinas/g.



El valor  $R/N = K$  se suele llamar constante de Boltzman y representa el valor de la constante de los gases por molécula.

b) Difusión: dispersión por alta energía cinética. Responde a la ley de Fick.

$$dm/dt = -AD*(dc/dx) \quad \text{donde:}$$

*A: área; D: coeficiente de difusión; m: masa; t: tiempo; c: concentración; x: dirección de difusión*

c) Presión Osmótica: Presión hidrostática que iguala dos medios (agua y sistema coloidal). El paso de agua iguala las concentraciones en ambos medios separados por una membrana semipermeable.

2) Propiedades ópticas:

a) Dispersión de la luz (efecto de Tyndall – Faraday): Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. El tamaño de los coloides es mayor que la longitud de onda promedio de la luz blanca y por esto interfiere en su paso y la refleja. Esta propiedad se usa como base para medir la turbiedad en el agua, o la concentración de partículas coloidales en un líquido

b) Opalescencia: Las soluciones coloidales son incoloras generalmente. Sin embargo algunas pueden ser coloreadas. Esto depende de la diseminación de la luz y a la adsorción selectiva bajo cierta longitud de onda.

3) Propiedades de Superficie:

La superficie específica de los coloides en general es muy alta ya que las partículas son muy pequeñas. Esto permite que tengan una gran capacidad de adsorción de sustancias.

4) Propiedades electrocinéticas:

En este sentido se dice que los coloides en general tienen carga eléctrica y por tanto pueden ser afectados por campos eléctricos. Estas cargas pueden



explicarse por la presencia de imperfecciones en la superficie de la estructura reticular. Puede también existir ionización y por tanto la superficie de los coloides puede ionizarse (los grupos funcionales probables de sufrir ionización son: -OH, -COOH, -OPO<sub>3</sub>H<sub>2</sub> y -SH) y por último puede haber adsorción preferencial de iones en la superficie de los coloides o bien haber ligados de coordinación. A bajos pH una carga positiva superficial prevalece. A altos pH prevalece la negativa y a pH intermedios podría haber un valor cero.

#### 5) Estabilidad de los coloides:

Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes por sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos que generan repulsión entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan. Entre ellas la gravedad, el movimiento Browniano y las fuerzas de Van der Waals. Obviamente algunos fenómenos afectan el sistema mucho más que otros. Por ejemplo la influencia de la gravedad es despreciable. [3]

#### 2.2.1.1. Potenciales de Coloides

En un coloide deben tenerse en cuenta, los siguientes potenciales (fig. 2-7):

- 1.- El potencial  $\psi$  que existe en la superficie del coloide, o potencial de Nernst.
- 2.- El potencial  $\psi_0$  que existe en la superficie interior de la doble capa, donde empieza la parte difusa.
- 3.- El potencial  $\zeta$  que existe en el plano de cizalla.

El plano de cizalla es el que separa del resto de la dispersión la sección de la capa que se mueve con la partícula formando parte integral de ella; y está situado en algún punto, entre la superficie interior y la superficie exterior de la doble capa.



Como no se puede separar el coloide de los contraiones que lo rodean, la única potencia que se puede determinar con más o menos precisión es el potencial zeta, o sea el potencial en la superficie del plano de cizalla.

### Potencial Zeta.

Helmholtz asimila la doble capa a un condensador de dos cargas iguales y opuestas, separadas por el espesor  $\delta$ . Si las cargas son iguales a  $q$ , el potencial de dicho condensador es el potencial  $\zeta$ . De acuerdo con la electrostática, este potencial varía con la constante dieléctrica  $D_c$  y viene expresado por la fórmula:

$$\zeta = 4 \pi q \frac{\delta}{D_c} \quad \text{de donde} \quad q \delta = \frac{\zeta D_c}{4 \pi}$$

El producto  $q \delta$ , o sea la carga de la partícula por la distancia hasta la cual se le considera efectiva, es llamado el momento eléctrico del coloide, y ha sido determinado experimentalmente partiendo del valor de la constante dieléctrica

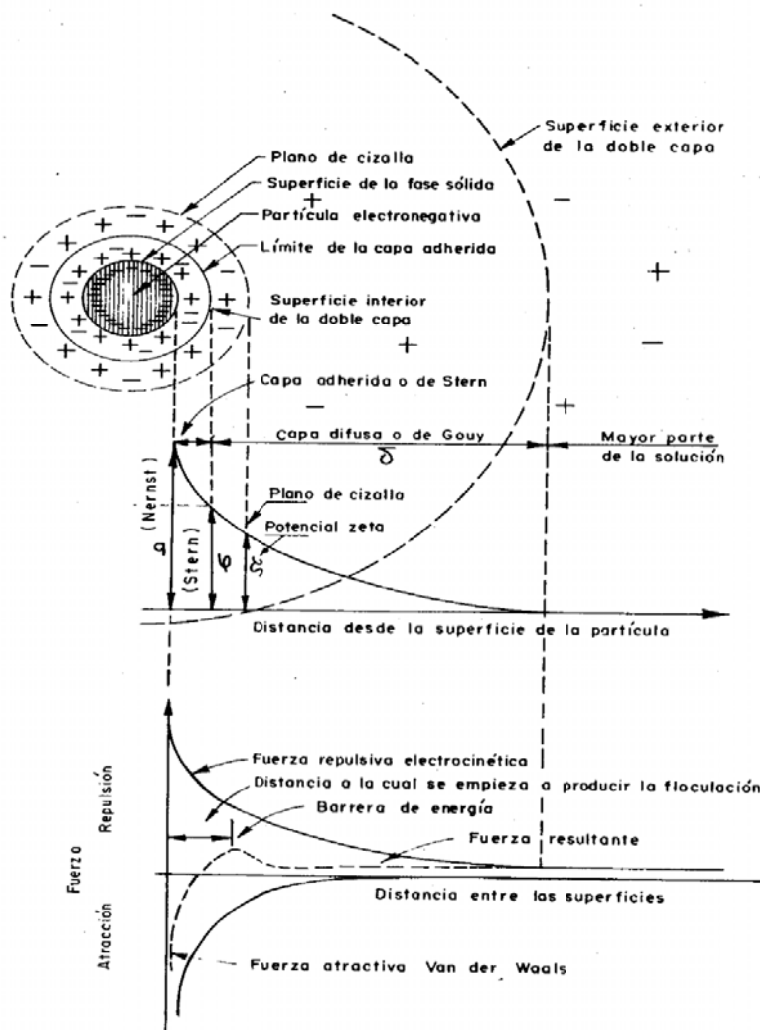


Fig. 2-7. Potenciales de coloides.

FUENTE: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/002320/002320-02b.pdf>

[4]

### 2.2.2. Tipos de Coagulación

Dentro de los tipos de coagulación constan:





### **2.2.2.1. Coagulación por Neutralización de Carga**

La desestabilización por neutralización de la carga superficial implica reducir la carga neta superficial de partículas en suspensión. A medida que la carga neta superficial disminuye, el espesor de la capa difusa que rodea las partículas, se reduce y la energía requerida para mover las partículas en contacto se minimiza.

Dos procesos se usan para cumplir la neutralización de la carga superficial. Los coagulantes usados para cumplir esto tienen una fuerte tendencia a adsorberse (o agregarse) a superficies. Los ejemplos incluyen los polielectrolitos orgánicos sintéticos y naturales y algunos de los productos de hidrólisis, formados a partir de las sales metálicas coagulantes hidrolizantes. La tendencia de estos compuestos para adsorber es usualmente atribuible a 2 causas. La pobre disolución del coagulante y la afinidad química del coagulante. La mayoría de los coagulantes que se usa para la neutralización de carga pueden adsorberse sobre la superficie hasta el punto que la carga neta superficial está invertida y, en algunos casos incrementada hasta que la suspensión este reestabilizada.

El ajuste de la química de la solución puede utilizarse para desestabilizar algunos tipos comunes de suspensión, reduciendo la carga neta superficial de las superficies de las partículas. [2]

### **2.2.2.2. Coagulación por Compresión de la Doble Capa**

El método clásico de desestabilización de coloides es la compresión de doble capa. Los iones que son signo opuesto a la carga neta de la superficie de las partículas entran en la capa difusa que rodea las partículas. Si se añaden suficientes de estos contra-iones, la capa difusa se comprime, reduciendo la energía requerida para mover dos partículas de parecida carga superficial en estrecho contacto. La desestabilización por compresión de doble capa no es un método práctico para el tratamiento de agua, porque las concentraciones de sal requeridas para la desestabilización pueden aproximarse a las del agua de mar y, en todo caso, la tasa de agregación de partículas será todavía relativamente lenta



en todas, excepto en las más concentradas suspensiones. La compresión de doble capa, sin embargo, es un importante mecanismo de desestabilización, en ciertos sistemas naturales. [2]

### 2.2.2.3. Coagulación por Incorporación o de Barrido.

Se produce cuando se agrega una concentración de coagulante tan alta que excede el límite de la solubilidad de ese compuesto en el agua. En ese momento se precipitan los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua con los coagulantes, induciendo la formación de una masa esponjosa (floc de barrido) que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas, las cuales se ven forzadas a decantar incorporadas dentro del precipitado que desciende. Esto no es una verdadera coagulación, pero es la que mas frecuentemente se produce debido a que en la práctica las dosis de coagulante que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o hierro en el agua, a pH y temperatura de trabajo normal. [2]

**2.2.2.4. Diagrama de Coagulación-Turbiedad.** El diagrama de la figura 2-8 fue desarrollado por Amirthajah y Mills a partir del diagrama de solubilidad de aluminio y de las condiciones de coagulación–dosis de coagulante  $[Al_2(SO_4)_3 \times 14,3 H_2O]$  y el pH de la mezcla, en el tratamiento de diferentes tipos de aguas naturales y sintéticas, con turbiedad relativamente comparada a color verdadero. Evidentemente, el diagrama corresponde a una situación particular que ilustra el uso del diagrama de solubilidad del sulfato de aluminio, pues las líneas que limitan las diferentes regiones se alteran con las características del agua. Con respecto a la parte inferior del diagrama, son fundamentales algunas aclaraciones. El *punto isoeléctrico* (PIZ) para el hidróxido de aluminio se encuentra en la fase de pH comprendida entre 7 y 9, lo que depende de los iones presentes en el agua (principalmente los aniones). En esa figura fue admitido un valor de pH mayor de 8 para el PIZ del hidróxido de aluminio. Se nota la existencia de cuatro regiones distintas, caracterizadas para valores de dosis de coagulante–dosis de la mezcla.



Se distinguen los diferentes mecanismos de coagulación y reestabilización de las partículas coloidales.

*Región 1.* Ocurre la neutralización de la carga de las partículas coloidales para las especies hidrolizadas positivas, de aluminio, que son adsorbidas en la superficie de los coloides. De la interacción entre tales especies del coagulante, *positivas*, y los coloides, *negativos*, resulta una curva en la que el PZ (negativo) se aproxima de cero a un valor de pH del orden de 4,8, que caracteriza el PIZ de los coloides recubiertos con especies de coagulante. Es evidente que si el pH de 4,8 es mantenido constante, la dosis de coagulante podrá variar, aproximadamente, de 10 a 70 mg/L.

*Región 2.* Sea, por ejemplo, la dosis de sulfato de aluminio en la fase arriba mencionada y pH 4,8. Si el pH disminuyese, las partículas recubiertas presentarían PZ negativo, y permanecería estabilizada la dispersión coloidal. Pero, con el aumento de pH (mayor de 4,8), el PZ se torna positivo y también los coloides, lo que caracteriza el fenómeno de la reestabilización. Para un valor de pH fijo igual a 6, por ejemplo, existe una relación estequiométrica entre la concentración de la dispersión coloidal y la dosis de coagulante, que hace surgir las líneas (A, B, C, etc.) que delimitan la parte inferior de la zona de reestabilización, con consecuente aumento de la concentración de la dispersión coloidal. La desestabilización que causa la aparición de la delimitación superior de la región de reestabilización ha sido atribuida a la presencia de iones sulfato y al aprisionamiento de los coloides reestabilizados en complejos de sulfato de tipo  $Al(H_2O)SO_4^+$ .

*Región 3.* Considerando una dosis de coagulante igual a 10 mg/L, se nota que a partir del pH 4,8, la curva resultante de la interacción entre las especies hidrolizadas positivas de aluminio y las partículas coloidales asigna un valor de PZ máximo (reestabilización) y disminuye con el aumento de pH, hasta que el PIZ es nuevamente logrado, en un valor de pH alrededor de 6,8 (para aquella dispersión coloidal considerada) y una dosis de coagulante igual a 10 mg/L. Esto se debe a la



presencia del hidróxido de aluminio con carga positiva. Para varias dosis de coagulante comprendidas entre 3 y cerca de 30 mg/L, existe una región conocida como “corona” en la cual el mecanismo de coagulación se debe a la neutralización de carga para el hidróxido de aluminio positivo. Esa región es considerada ideal para la coagulación cuando se tiene la filtración directa, ascendente o descendente.

*Región 4.* Generalmente, para valores de pH de 6 a 8 con dosis de coagulante superiores a un valor próximo de 30 mg/L, tiende a ocurrir la formación excesiva de los precipitados de hidróxido de aluminio, de forma que las partículas coloidales son aprisionadas en los mismos, lo que caracteriza el mecanismo de barrido, cuya región, delimitada por el par de valores dosis de coagulante–pH de coagulación, es relativamente amplia. La coagulación realizada en ese mecanismo es la recomendada cuando se tiene tratamiento completo con coagulación, floculación y decantación antes de la filtración, pues los floculos obtenidos son fácilmente removidos en los decantadores.

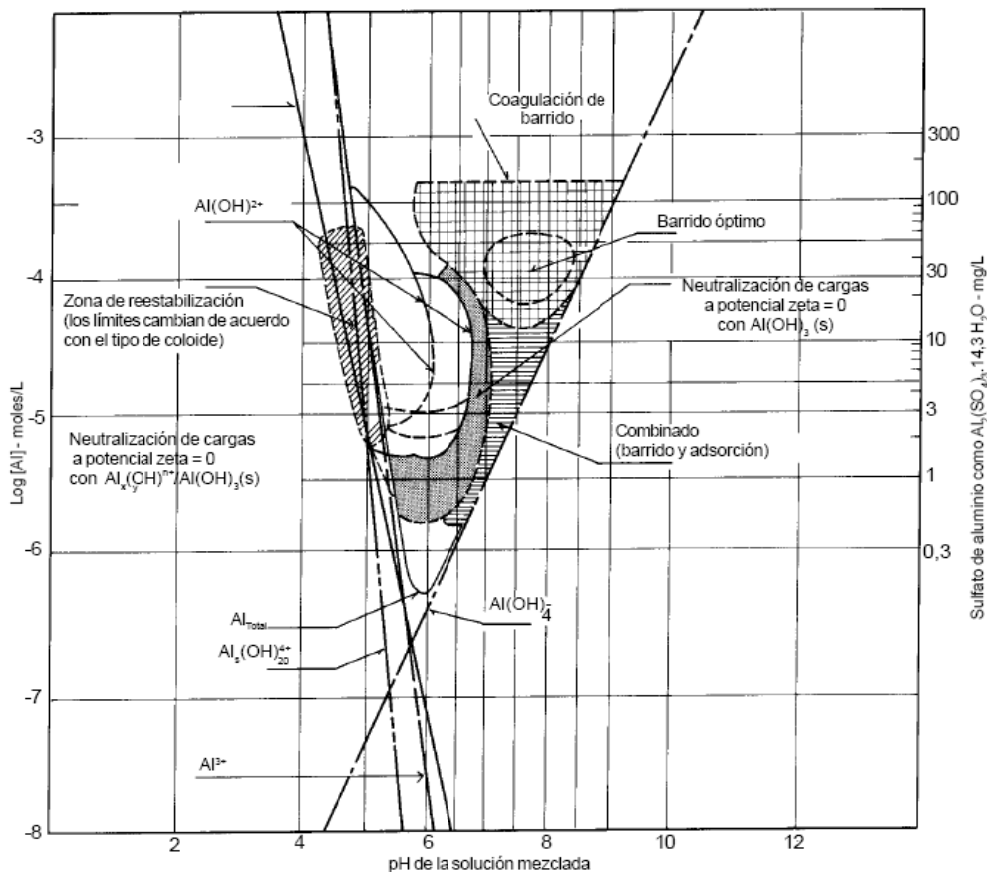


Figura 2-8. Diagrama de coagulación con sulfato de aluminio para remoción de turbiedad.

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

[3]

## 2.2.3. Remoción de Color y Mecanismos de Color

### 2.2.3.1. Remoción de Color.

Las razones por las cuales se suele hacer remoción de color en el agua son de orden estético, químico-sanitario e industrial:

- a. Estética, porque la mayoría de la gente prefiere un agua cristalina.



b. Químico-sanitario, porque interfiere con de proceso de cloración, al formar clorohalometanos que se sospechan son cancerígenos, dificulta los análisis colorimétricos del agua, complica el proceso de coagulación y estabiliza el hierro y manganeso en solución.

c. Industriales, porque interfiere ciertos procesos industriales y obstaculiza el funcionamiento de resinas aniónicas de intercambio iónico. [3]

### 2.2.3.2. Mecanismos de Color.

a. **No neutralización:** la máxima remoción de color se obtiene cuando la carga de las partículas está cerca del punto isoeléctrico, pero casi nunca exactamente en el punto isoeléctrico. A veces esto puede coincidir con una mala remoción del color.

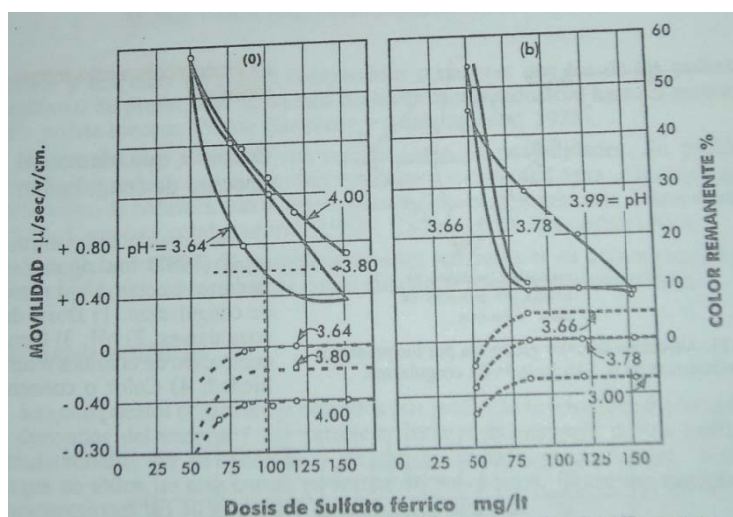


Figura 2-9. Efecto de sulfato férrico en coagulación de aguas B y C a pH constante.

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

b. Estequiometría: la cantidad de coagulantes metálicos necesarios para remover el color es inversamente proporcional a la cantidad de color removido.

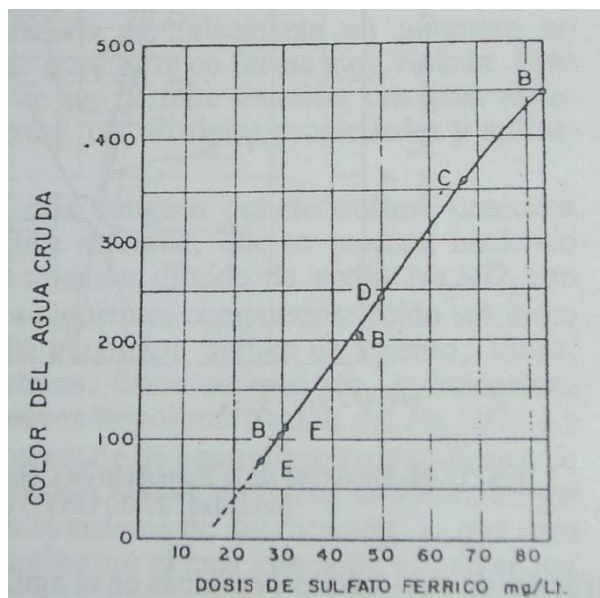


Figura 2-10. Mínima dosis de sulfato férrico en función del color del agua cruda (Según Black y colaboradores)

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

Estos dos hechos aparentemente excluyen la posibilidad de que el mecanismo físico de desestabilización de coloides pueda jugar un papel muy importante.

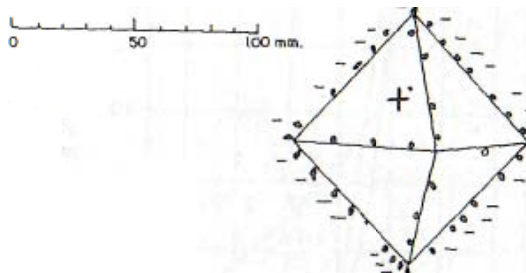
El color puede ser removido:

a) por adsorción química en los precipitados poliméricos de los productos de hidrólisis de los coagulantes (Figura 2-11) produciéndose una interacción entre estos y los grupos carboxílicos de las moléculas orgánicas pesadas de las sustancias productoras de color. Esto es posible solo a pH altos.

b) A pH bajos, en cambio, las sustancias húmicas interaccionan con los compuestos de aluminio positivamente cargados para formar un precipitado de sulfato de aluminio.



tamaño  
partícula de  
color < 3.5 mm



Precipitado  
polimérico de Al (III),  
con partículas de  
color adsorvidas

Figura 2-11. Adsorción de color producida por los productos poliméricos de la hidrólisis de los coagulantes.

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

Cuando simultáneamente con el color está presente la turbiedad, la superficie de los coloides se hace mayor y esto estimula la adsorción de las moléculas de color, lo que se traduce en una menor dosis de coagulantes, como se puede ver en el diagrama de coagulación de la Figura 2-12. Un color de 100 UNT, se puede remover con un 90% en presencia de 27-30 UNT de turbiedad con dosis entre 10 y 20 mg/l. Con cero turbiedad, en cambio las dosis son superiores a 20 mg/l dependiendo del pH. La energía con que se floccule también afecta al proceso. [3]



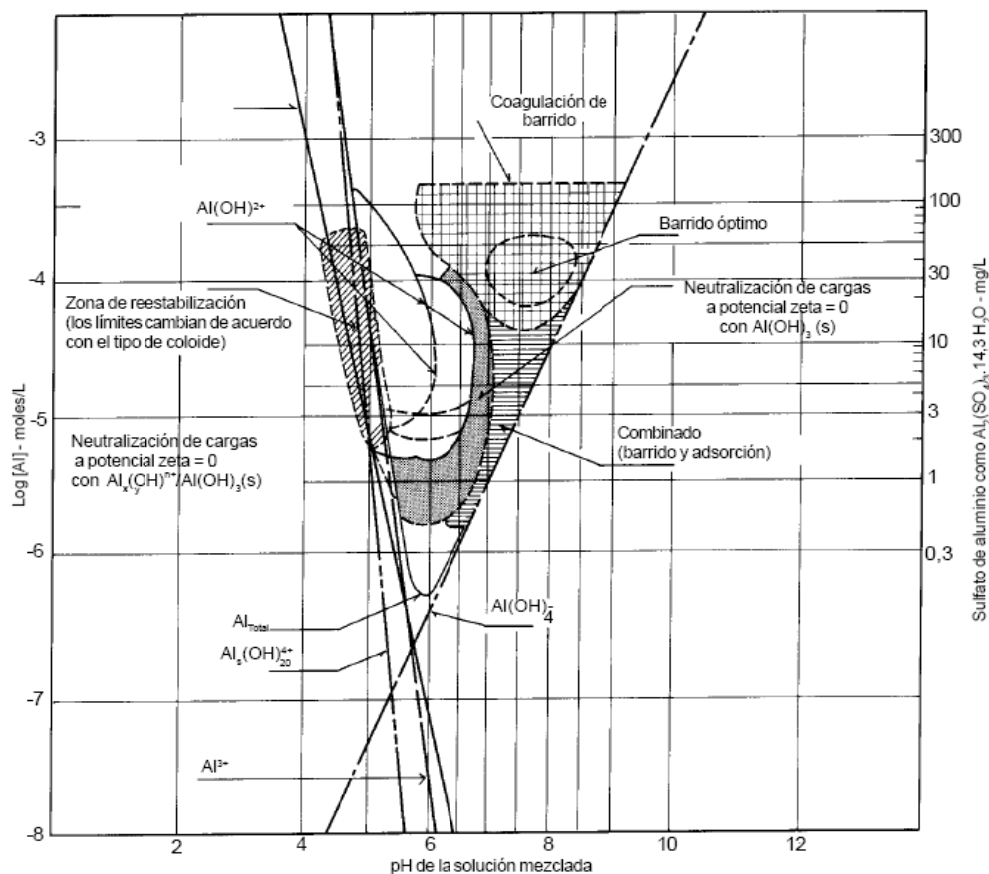


Figura 2-12. Dominios de la Remoción de Color (ácido húmico inicial, 4 mg/l (100cu); turbiedad, 27-30 UNT)

FUENTE: ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua

#### 2.2.4. Factores que afectan al Proceso de Coagulación.

El proceso de Coagulación se ve afectado por diversos factores, que se detallan a continuación:

##### 2.2.4.1 Dosis de Coagulante.

Las curvas de coagulación pueden dividirse en cuatro zonas: La zona 1 corresponde a dosis bajas, donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para realizar la desestabilización. La zona 2 corresponde a dosis un



poco más altas, donde se realiza la desestabilización y el flóculo precipita. La zona 3, donde dosis aún más altas pueden reestabilizar las dispersiones con ciertos valores de pH. La zona 4, que tiene gran cantidad de hidróxido de aluminio (o hierro), actúa de tal forma que captura las partículas coloidales (coagulación de barrido). Figura 2-13

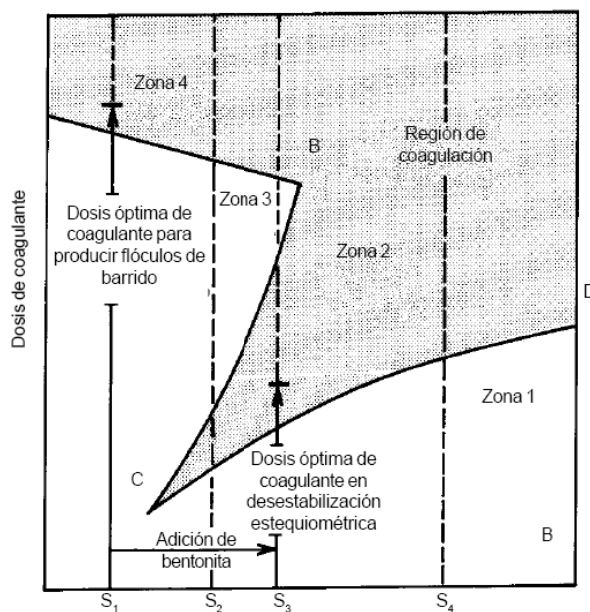


Figura 2-13. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie

FUENTE: ROMERO Rojas, Jairo Alberto, Calidad del Agua

La figura presenta la reacción entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal (m<sup>2</sup>/L) con pH constante. Las concentraciones bajas de coloide (S<sub>1</sub> en la figura 2-13) requieren la producción de grandes cantidades de precipitado de hidróxido amorfo. En tales casos, cuando la turbiedad del agua es baja, no hay suficientes partículas en suspensión para producir el contacto necesario en la formación de flóculos.

Para mayores concentraciones de coloide (S<sub>2</sub> + S<sub>3</sub> en la figura 2-13), se necesitan menores dosis de coagulante que en el caso S<sub>1</sub>.



En S2 + S3 las partículas coloidales proveen núcleos para la precipitación, mientras que en 5, el mismo hidróxido debe proveer los núcleos. En el transcurso de S2 a S4 se puede notar que al aumentar las concentraciones de coloides se requiere también aumentar las de coagulante.

En general, la dosis química requerida depende del mecanismo de desestabilización. En los casos de baja turbiedad, cuando se necesita un flóculo de hidróxido voluminoso, la dosis requerida tiende a disminuir a medida que la concentración de coloide aumenta. Cuando la desestabilización se realiza por medio de la adsorción, la dosis requerida es generalmente más baja y aumenta con la concentración de coloides.

Las aguas de baja turbiedad pueden ser coaguladas mediante otra técnica muy conocida: adición de partículas de arcilla; por ejemplo, bentonita, para aumentar la turbiedad antes de inyectar el coagulante. La ventaja de este proceso se ilustra en la figura 2-13. Al aumentar la turbiedad, se logra realizar la coagulación en la zona 2. De este modo, se necesitan menores dosis de coagulante debido a la existencia de un mecanismo de adsorción en vez de uno de captura. La zona 3, de reestabilización, disminuye al aumentar la concentración de coloides. Dicha concentración se alcanza cuando es imposible realizar la reestabilización con sobredosis.

[2]

#### **2.2.4.2. pH**

El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación. El pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación del floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 y 6,5.



En el caso de los coagulantes de aluminio, la solubilidad mínima del precipitado de hidróxido de aluminio a 25°C, ocurre a un pH de 8,0. Además, hay que tener en cuenta que el pH para solubilidad mínima aumenta al disminuir la temperatura; por ejemplo, a 4°C el pH para solubilidad mínima del hidróxido de aluminio es de 6,8.

Con pH menor a 3,5 los OH<sup>-</sup> son insuficientes para precipitar el Fe<sup>+++</sup> completamente; por la misma razón es necesario tener una alcalinidad residual durante la coagulación química. También cabe anotar que la solubilidad del Al(OH)<sub>3</sub> aumenta a pH mayor a 7, lo cual se debe a la formación del ion aluminato a pH alto, o sea a las propiedades anfóteras del Al(OH)<sub>3</sub>.

El pH óptimo de los coagulantes, en general, es (Tabla 2-4):

COAGULANTES	pH
Alumbre	4-7
Sulfato ferroso	>8.5
Sulfato ferroso y cloro	3.5-6.5 y > 8.5
Cloruro férrico	3.5-6.5 y > 8.5
Sulfato férrico	3.5-7 y > 9

FUENTE: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/002320/002320-02b.pdf>

### 2.2.4.3. Turbiedad

La aplicación de una dosis creciente de coagulante en agua que contiene partículas productoras de turbiedad (generalmente arcillas), da origen a un proceso que se puede caracterizar en la forma indicada en la figura 2-14, tomada básicamente de los estudios de Langelier de 1952 y Mackrle de 1962.

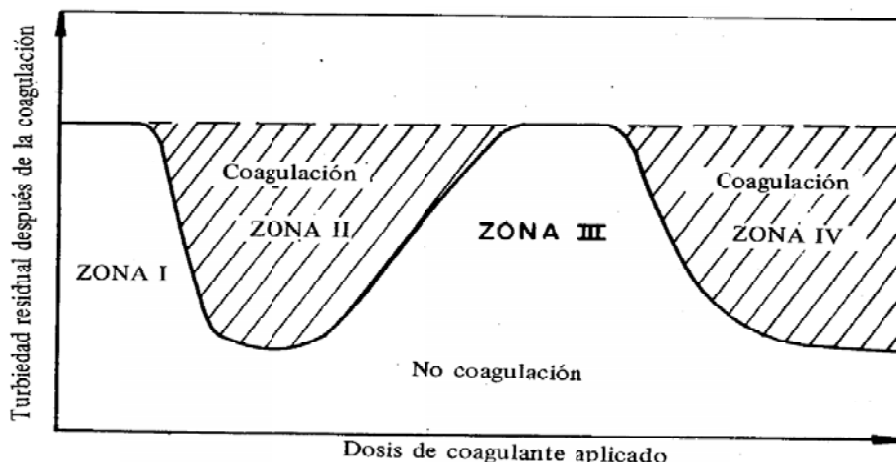


Fig. 2-14. Remoción de turbiedad.

FUENTE: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/002320/002320-02b.pdf>

La figura muestra cuatro zonas. Así:

Zona 1: La dosis de coagulantes no es suficiente para desestabilizar las partículas y, por lo tanto, no se produce la coagulación.

Zona 2: Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3: Si continúa incrementándose la dosis, llega un momento en que no se produce buena coagulación, pues los coloides se reestabilizan.

Zona 4: Al aumentar aún más la dosis hasta producir una supersaturación, se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas de turbiedad.

[4]



#### 2.2.4.4. Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro o manganeso, coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el  $Al^{+++}$  o el  $Fe^{+++}$ .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa.

En general el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo junto con el pH, pues la intensidad del color depende de este último. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

La unidad de color es el color producido por 1 mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato.

La determinación de color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbidez; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra.

Una vez centrifugada la muestra, se determina su color por comparación con una serie de estándares de color preparados a partir de una solución patrón de  $K_2PtCl_6$ , la cual contiene 500 mg/L de Pt y 250 mg/L de Co para darle una tonalidad adecuada.



La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso utilizado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por tanto, objetivo esencial del tratamiento. [2]

#### **2.2.4.5. Aniones y Cationes presentes en el Agua**

Los aniones y cationes presentes en el agua interfieren en el proceso de coagulación, teniendo de esta forma que el  $\text{SO}_4^-$  impide la reestabilización y acelera la cinética de formación de precipitados, los cationes bivalentes ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , etc.) ayudan a la desestabilización de los coloides al comprimir la doble capa y reducir las fuerzas repulsivas, disminuyendo la intensidad de la barrera de energía, por esta razón suele ser útil agregar cal al agua para ayudar a la coagulación en especial cuando está poco mineralizada [6]

#### **2.2.4.6. Intensidad de Mezcla Rápida y Gradiente de velocidad**

El mezclado rápido o mezclado instantáneo es una etapa de mezcla de alta intensidad usada antes del proceso de floculación para dispersar el coagulante al iniciar el proceso de agregación de partículas. La rápida dispersión antes de la precipitación ayuda y asegura que el coagulante se distribuya uniformemente entre las partículas. Este proceso se entiende poco, pero probablemente depende de factores como la concentración de sal en la solución coagulante de alimentación, la dosis de coagulante, la concentración y tamaño de la distribución de la materia particulada, la temperatura y los constituyentes iónicos de la solución, y las condiciones de flujo turbulento.

La significación de la etapa de mezcla rápida cuando se usan polielectrolitos coagulantes es probablemente similar a la de la hidrolización metálica, excepto que la reacción entre el coagulante y la solución no es importante. Los polielectrolitos coagulantes es probablemente similar a la de la hidrolización



metálica, excepto que la reacción entre el coagulante y la solución no es importante. Los polielectrolitos, rápida e irreversiblemente se adsorben sobre las superficies particuladas. Además, en ausencia de mezcla intensa en el punto de adición de coagulante es lógico suponer que algunas partículas deben adsorber más polímeros que otras. Si las partículas sobredosificadas llegan a rodearse de otras partículas que tienen adsorbidos pocos o ningún polímero, es posible que el proceso de agregación se pare antes de que se formen flóculos suficientemente grandes.

En la floculación se tienen diversos gradientes de velocidades las cuales pueden permitir una mejor aglomeración del floc, se debe tener en consideración que una excesiva gradiente puede destruir el floc ya formado. [15]

#### **2.2.4.7. Temperatura**

La temperatura del agua puede tener un efecto significativo sobre la coagulación y floculación. En general, la tasa de formación de flóculos y eficiencia de la remoción de partículas primarias, decrece con la disminución de temperatura. El efecto negativo de la temperatura tiende a ser mayor con las suspensiones diluidas. La temperatura afecta a la solubilidad del precipitado de hidróxido metálico y a la tasa de formación de los productos metálicos de la hidrólisis. En general, el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y el  $\text{Al}(\text{OH})_3$  decrecen en solubilidad con la disminución de temperatura y el pH de mínima solubilidad aumenta ligeramente. La tasa de precipitación e hidrólisis del hidróxido metálico y la tasa de disolución de los productos hidráulicos disminuyen con la bajada de temperatura. A temperaturas menores, las especies polinucleadas, tienden a persistir durante un largo período de tiempo. La temperatura también altera la distribución de energía cinética sobre la escala o distribución del movimiento en un campo de fluido turbulento. Al aumentar la temperatura se incrementa la tasa de colisiones entre las partículas, mejorando la remoción de color y turbiedad de un agua tratada. [15]

#### **2.2.5 Tipos de Coagulantes**

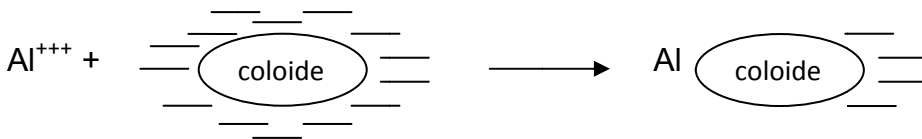




Entre los tipos de coagulantes más usados tenemos:

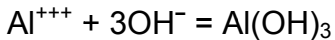
**Sulfato de Aluminio (Alumbre).**- Es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , con masa molecular de 600. El material se empaca de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en  $Al^{+++}$  y  $SO_4^-$ . El  $Al^{+++}$  puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal,



Reduciendo así el potencial zeta a un valor en que la unión de las partículas puede ocurrir.

El  $Al^{+++}$  puede combinarse también con los  $OH^-$  del agua para formar hidróxido de aluminio.



y,



Los complejos de carga positiva más alto son más efectivos en la reducción del potencial zeta y, por tanto, en efectuar la coagulación; por esta razón es importante que el sulfato de aluminio se distribuya a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de lograr el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos

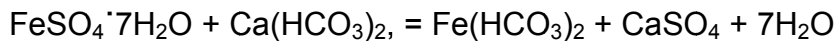


deseables. Esto se obtiene mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible. [2]

**Sulfato Ferroso.-** El sulfato ferroso comercial,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , se empaca como cristales o granos verdes fácilmente solubles en agua.

El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , El cual es bastante soluble. Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferroso en ion férrico insoluble.

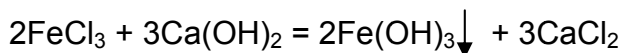
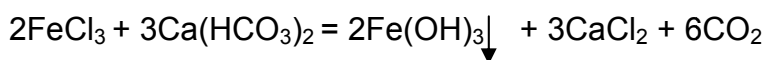
La reacción es la siguiente:



La oxidación del ion ferroso puede lograrse mediante cal y aireación u oxígeno disuelto del agua; por ello, en la mayoría de los casos, el sulfato ferroso se emplea con cal para elevar suficientemente el pH a un valor en que los iones ferrosos se precipitan como hidróxido férrico. [2]

**Cloruro férrico.-** El cloruro férrico reacciona con la alcalinidad del agua o con cal para formar floc de hidróxido férrico.

Las reacciones son:



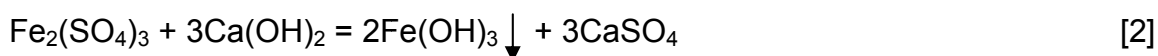
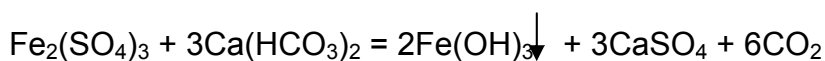
El cloruro férrico comercial se consigue en forma líquida o cristalina. Aunque es barato, su manejo resulta difícil a causa de su alta agresividad y debe utilizarse con equipo resistente a la corrosión. Se usa más en tratamiento de aguas residuales que en aguas para consumo; sin embargo, produce buenos resultados en aguas subterráneas con alto contenido de hierro. [2]

**Sulfato férrico.-** El sulfato férrico se consigue en forma cristalina y puede dosificarse en seco o líquido. No es tan corrosivo como el cloruro férrico, pero



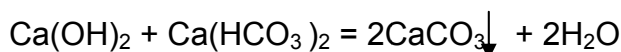
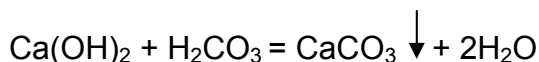
debe manejarse con equipo resistente a la corrosión. Opera bien en un intervalo amplio de valores de pH y es bastante usado en el tratamiento de aguas con alto contenido de manganeso, ya que promueve su remoción con bastante éxito a un pH mayor de 9.0.

Las reacciones son las siguientes:



**Cal.-** La cal viva es el producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, compuesto principalmente de óxidos de calcio y magnesio. La cal hidratada es, por lo general, un polvo seco obtenido mediante el tratamiento de la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua, en las condiciones de su hidratación. Comúnmente, la cal hidratada o apagada tiene un 75 a 95% de material que pasa tamiz # 200 y, en algunos usos especiales, se usa cal fina con un 99,5% del material que pasa tamiz # 235.

Cuando se usa solamente cal como precipitante, las reacciones son las siguientes:



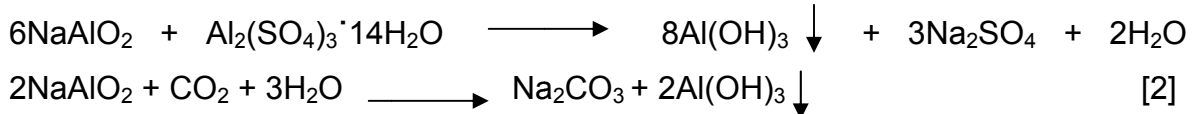
Por tanto, debe agregarse una cantidad de cal suficiente para que se combine con todo el ácido carbónico libre y con el ácido carbónico de los bicarbonatos; así se produce el carbonato de calcio, el cual actúa como coagulante. Si en el agua existiese acidez mineral, también se necesitaría neutralizarla antes de que ocurriera la precipitación. [2]

**Aluminato de Sodio.-** El aluminato de sodio,  $\text{NaAlO}_2$ , es otro compuesto usado como coagulante. El compuesto se vende en forma líquida o en polvo, con contenidos variables de agua y de sólidos como carbonato de sodio, soda cáustica y otras impurezas. Debido a la presencia del sodio, su uso puede resultar benéfico

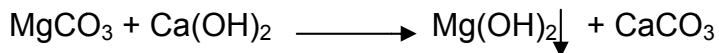
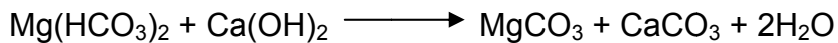
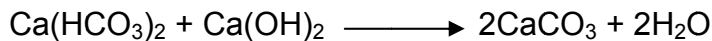
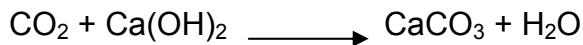


para ablandar aguas duras o para tratar aguas coloreadas blandas; además, utilizado conjuntamente con alumbre sirve para reducir las dosis de este último. También se ha empleado para mejorar los resultados del ablandamiento con cal y soda ash.

El aluminato de sodio contiene un 88% de  $\text{NaAlO}_2$ , densidad entre 800 y 962  $\text{kg/m}^3$ ; su reacción en agua es alcalina y el floc formado es similar al del alumbre.



**Coagulación con Magnesio.-** Aguas con contenido alto de magnesio se pueden coagular agregando cal para precipitar  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Las reacciones ocurrientes son las siguientes:



## 2.3 FLOCULACIÓN

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

### 2.3.1 Tipos de Interacción entre partículas

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:



- 1) Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- 2) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- 3) Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculo inicial. Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microflóculo. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinética. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinética es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas. Si los gradientes de velocidad en el agua son mayores de  $5 \text{ s}^{-1}$  y las partículas tienen un diámetro mayor de un micrómetro, el efecto de la floculación pericinética es despreciable. Por otro lado, el proceso de floculación pericinética solo es sumamente lento. Se precisan alrededor de 200 días para reducir a la mitad un contenido de 10.000 virus/mL en una muestra de agua.

Por lo tanto, la aglomeración de las partículas es el resultado de la actuación de los tres mecanismos de transporte mencionados más arriba. [7]

### **2.3.2 Factores que influyen en el Proceso**

Los que se detallan a continuación.



### 2.3.2.1 Influencia de la Calidad en el Agua

La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad. Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación. La presencia de iones  $\text{SO}_4^{=}$ , por ejemplo, tiene marcada influencia en el tiempo de formación de los flóculos, en función del pH (figura 2-15)

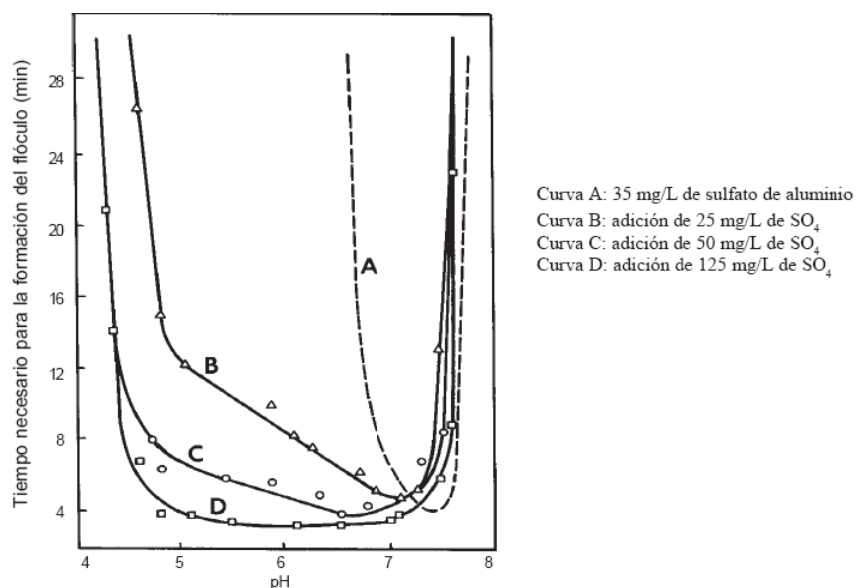


Figura 2-15. Efecto del ion sulfato sobre el tiempo de formación del flóculo de sulfato de aluminio

FUENTE: Harris, H. S.; Kaufman, W. J. y Krone, R. B. Orthokinetic flocculation in water purification

La concentración y la naturaleza de las partículas que producen la turbiedad también tienen una notable influencia en el proceso de floculación. En todos los modelos matemáticos de floculación, la velocidad de formación de flóculos es



proporcional a la concentración de partículas. La velocidad de floculación depende también del tamaño inicial de las partículas.

Estos aspectos teóricos son generalmente confirmados en la práctica: por regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas. En tanto, las partículas de mayor tamaño, que podrían ser removidas en tanques de sedimentación simple, tales como arena fina acarreada durante picos de elevada turbiedad, interfieren con la floculación porque inhiben o impiden el proceso. Por este motivo, si la turbiedad del agua cruda fuera igual o superior a 1.000 UT, es indispensable la utilización de tanques de presedimentación. [8]

### **2.3.2.2 Influencia de Gradientes de Velocidad**

En todas las ecuaciones presentadas anteriormente y que caracterizan la velocidad de aglomeración de las partículas en la floculación ortocinética, aparece el parámetro de gradiente de velocidad como un factor de proporcionalidad. Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores.

La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:

- De su tamaño, forma y compactación;
- Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y
- Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

TeKippe y Ham (*ref. inferior*) realizaron un estudio teórico-práctico para determinar la influencia de la variación del gradiente de velocidad en los diversos compartimentos de un floculador.



Los datos de estos ensayos se incluyen en la figura 2-16 y permiten concluir que es necesario graduar el gradiente de velocidad en forma decreciente, evitando tramos intermedios con altos gradientes, que es el caso más desfavorable.

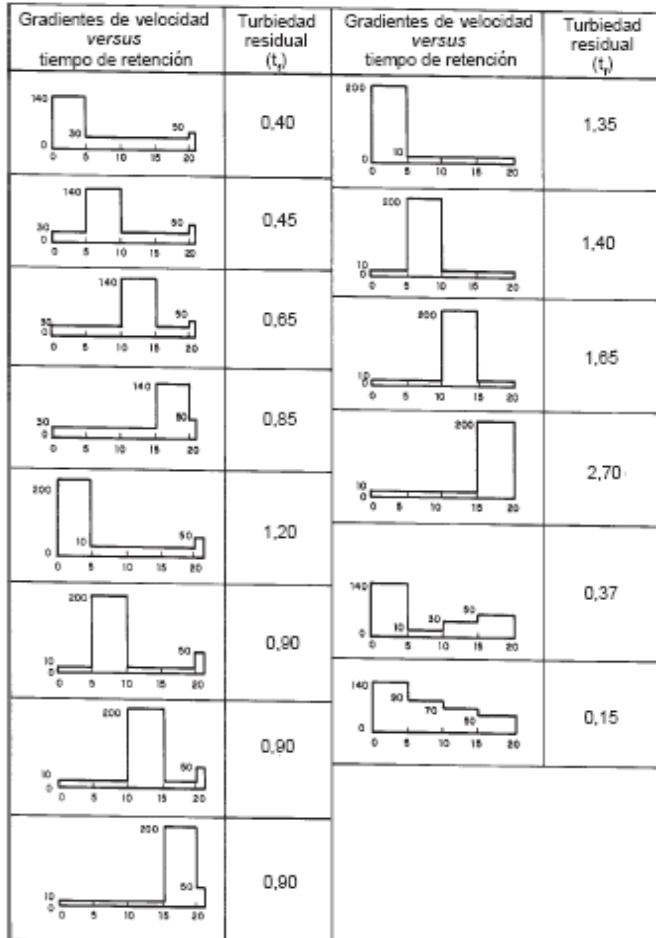


Figura 2-16. Efecto de la variación del gradiente de velocidad en la turbiedad residual según TeKippe y Ham.

FUENTE: TeKippe, R. J. y Ham, R. K. Velocity-gradient paths in coagulation

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s<sup>-1</sup>. Naturalmente, conviene realizar una compartimentalización con gradientes escalonados en forma decreciente. Por ejemplo, se pueden disponer cuatro cámaras de floculación en serie, a las que se





les aplican gradientes de 90, 50, 30 y 20 s<sup>-1</sup>, respectivamente, en la primera, segunda, tercera y cuarta cámaras.

Después de formados los flóculos en la última cámara de floculación, debe tenerse gran cuidado en la conducción del agua floculada hasta los decantadores. Los gradientes de velocidad en los canales, compuertas o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no deben ser mayores de 20 s<sup>-1</sup>. [9]

### 2.3.2.3 Influencia del Tiempo de Floculación

En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos. Mediante ensayos de prueba de jarras (*jar tests*), se puede determinar este tiempo, que, en la figura 2-17, resultó ser de alrededor de 37 minutos.

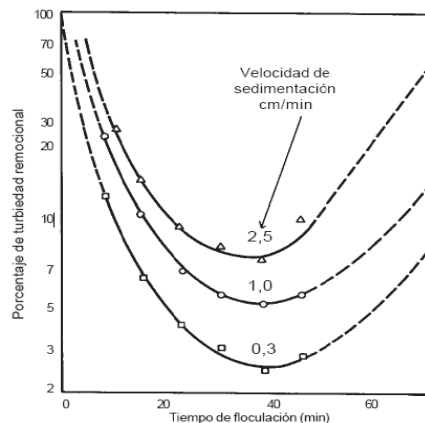


Figura 2-17. Efecto del período de floculación en la sedimentación

FUENTE: Harris, H. S.; Kaufman, W. J. y Krone, R. B. Orthokinetic flocculation in water purification

La permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación. Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para aproximar el tiempo real de retención en el tanque de floculación al



tiempo nominal escogido. Esto se puede obtener si se compartimentalización el tanque de floculación con pantallas deflectoras. Cuanto mayor sea el número de compartimentos, menores serán los cortocircuitos del agua, como lo muestra la Figura 2-18.

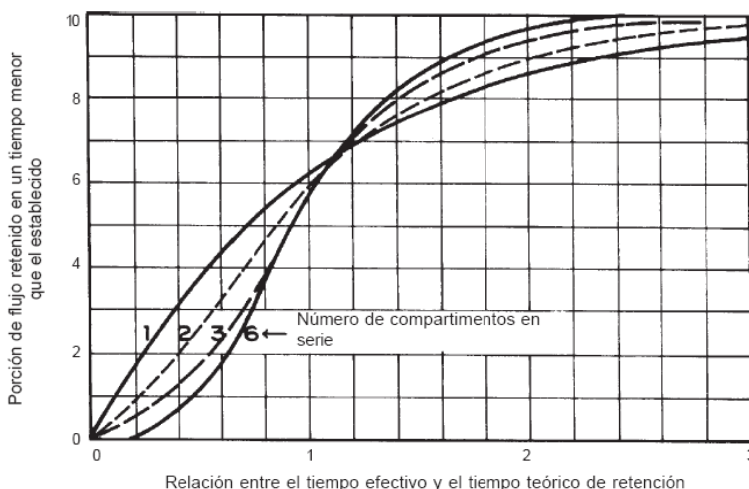


Figura 2-18. Compartimentalización y cortocircuitos

FUENTE: Harris, H. S.; Kaufman, W. J. y Krone, R. B. Orthokinetic flocculation in water purification

Como se puede apreciar en esta figura, cerca de 40% del agua se escapa del tanque en un tiempo menor que la mitad del tiempo nominal o teórico, en un tanque de un solo compartimento. Si se tuviesen cinco compartimentos en serie, por ejemplo, esta proporción se reduciría a cerca de un 10%.

Con la compartimentalización y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad, se aumenta la eficiencia del proceso o se reduce el tiempo necesario de floculación (o ambos), según demostraron. Gradientes elevados en los primeros compartimentos promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes más bajos en las últimas cámaras reducen la fragmentación.



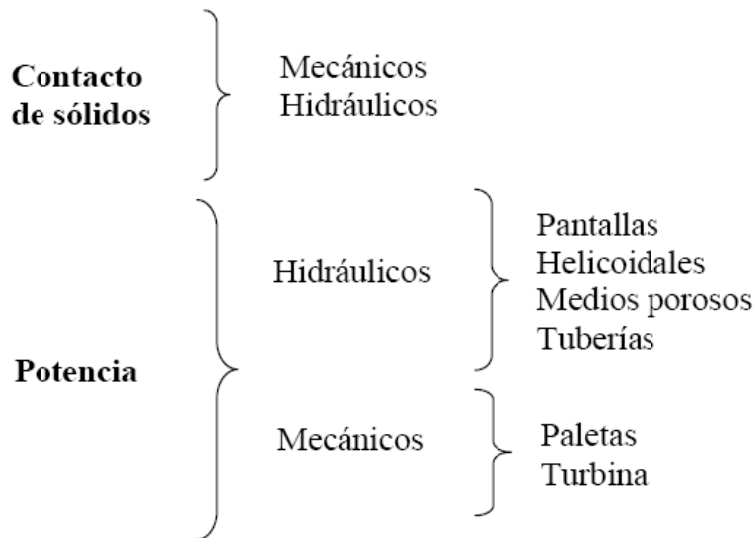
Por razones de orden práctico y económico, el número de cámaras de los floculadores mecánicos no es muy grande; generalmente, no supera las seis unidades. [8]

### 2.3.3 Clasificación de Floculadores

Se acostumbra clasificar a los floculadores como mecánicos o hidráulicos de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua. Puede hacerse una clasificación más amplia si se tiene en cuenta el modo como se realiza la aglomeración de las partículas. De acuerdo con este principio, podemos clasificarlos del siguiente modo:

- Floculadores de contacto de sólidos, y
- floculadores de potencia o de disipación de energía.

Con el objeto de ilustrar esta clasificación, se tiene el siguiente cuadro:





## Floculadores de contacto de sólidos

Los floculadores de contacto de sólidos o de manto de lodos son controlados por la concentración de sólidos ( $C$ ). Como esta varía continuamente, es necesaria una constante atención del operador.

- En cuanto al tamaño de la instalación, no son aconsejables para pequeñas comunidades, carentes de personal altamente calificado, necesario para su operación.
- El régimen de operación debe ser continuo o, por lo menos, por un periodo diario bastante largo, y no debe estar sujeto a variaciones de caudal, por la dificultad de formar y mantener un manto de lodos.
- Por el mismo motivo, se recomienda para aguas que mantengan más o menos constantes sus características fisicoquímicas, con variaciones de calidad imperceptibles.

Estas unidades pueden ser, a su vez, hidráulicas o mecánicas, de acuerdo con la concepción del diseño (figura 2-19).

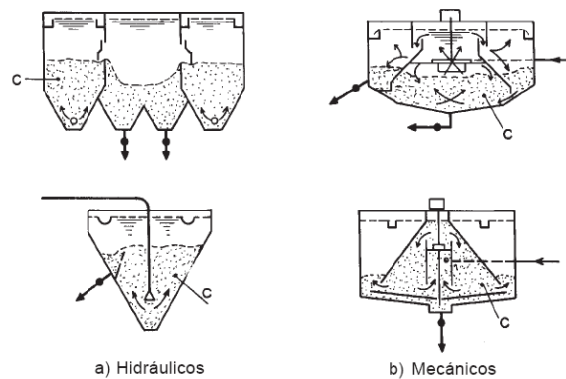


Figura 2-19. Floculadores de contacto de sólidos

FUENTE: [www.cepis-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf](http://www.cepis-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf)



## Floculadores de potencia

En los floculadores de potencia, las partículas son arrastradas por el flujo de agua a través del tanque de floculación sin que prácticamente exista concentración de sólidos. Normalmente, los gradientes son prefijados en el proyecto. En algunos casos, pueden ser ajustados por el operador. De acuerdo con la forma de disipación de energía, se pueden clasificar en hidráulicos y mecánicos.

### **Hidráulicos**

Los floculadores hidráulicos utilizan la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga general o específica.

#### a) De pantallas

Los floculadores hidráulicos más utilizados son los de pantallas, de flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de vaivén, y en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente, contorneando las diversas pantallas (figura 2-20).

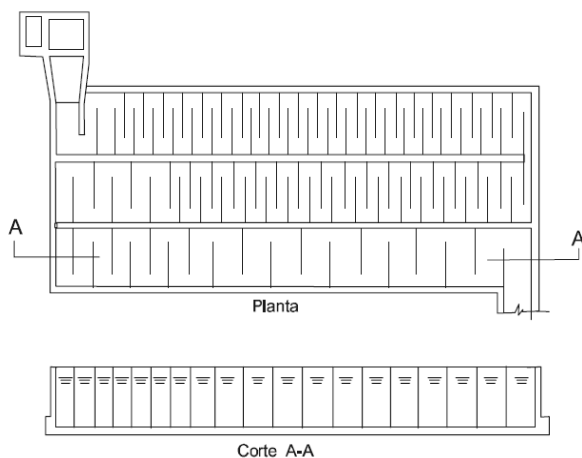


Figura 2-20. Floculadores de pantallas.

FUENTE: [www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf)



Los floculadores de pantallas de flujo horizontal son más recomendables para pequeños caudales. Las pantallas pueden ser hechas de madera o de láminas de asbesto-cemento. Se puede dotar al sistema de floculación de dispositivos tales como ranuras o marcos de fijación, etcétera, a fin de hacer posible el ajuste de espaciamiento entre las pantallas, así como el gradiente de velocidad.

Los floculadores de pantallas de flujo vertical pueden aplicarse a caudales mayores. Son más profundos, tienen 4 metros o más de profundidad. Su estructura puede ser adaptada a las adyacentes, con ventajas económicas. Ocupan menor área.

#### b) Floculador Alabama

El floculador Alabama está constituido por compartimentos ligados entre sí por la parte inferior a través de curvas de 90° volteadas hacia arriba. El flujo es ascendente y descendente en el interior del mismo compartimento. Las boquillas permiten ajustar la velocidad a las condiciones de cálculo o de operación (figura 2-21). Estas unidades son muy vulnerables a las variaciones de caudal. Fácilmente se pueden generar espacios muertos y cortocircuitos.

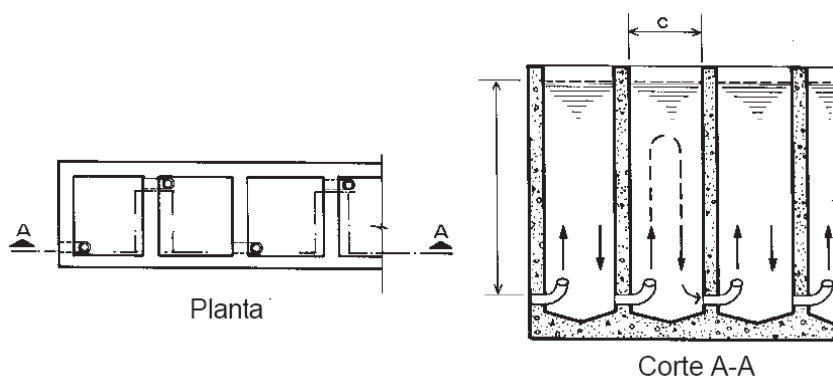


Figura 2-21. Floculador vertical tipo Alabama.

FUENTE: [www.cepis-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf)



### c) Helicoidal

En el proyecto ilustrado en la figura 2-22, el agua es admitida tangencialmente por la parte superior y sale de la cámara de floculación a través de una curva dotada de unas guías paralelas como una turbina Francis, lo que ayuda a generar el movimiento helicoidal.

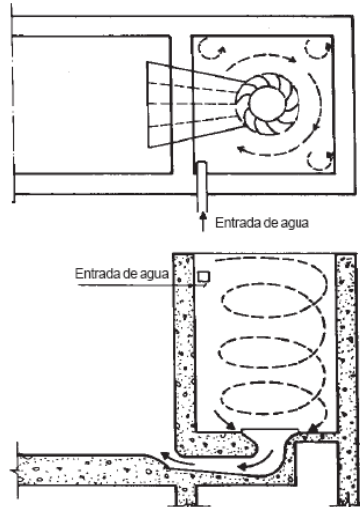


Figura 2-22. Floculador helicoidal

FUENTE: [www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf)

En los floculadores helicoidales, la energía hidráulica se usa para generar un movimiento helicoidal en el agua, inducido por su ingreso tangencial en la cámara de floculación. En la práctica, el helicoides que se forma no es de diámetro constante, como se muestra en la figura respectiva, sino que el diámetro disminuye al aproximarse al fondo. Se establece una distribución de velocidad de mayor a menor, inconveniente para la formación del flóculo.

### d) De medio poroso

La floculación en medios porosos se está aplicando principalmente en pequeñas instalaciones, debido a su elevada eficiencia y bajo costo. Se distinguen dos tipos



básicos: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en medio granular) y floculación en un medio poroso expandido (floculación en lechos de arena expandida).

Consiste en hacer pasar el agua, después de haberle aplicado los coagulantes, a través de un medio granular contenido en un tanque (flujo vertical, véase la figura 2-23) o canal (flujo horizontal). El flujo normalmente es laminar y la eficiencia es extraordinaria. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos.

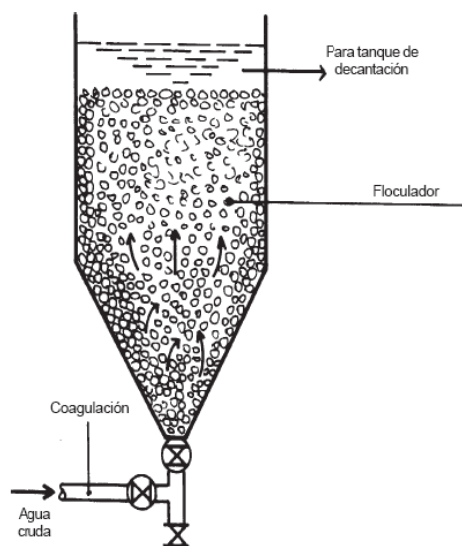


Figura 2-23. Floculador de medio poroso.

FUENTE: [www.cepis-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf)

El flujo normalmente es laminar y la eficiencia es extraordinaria. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos. El floculador de lecho de arena expandido consiste en una columna a través de la cual el agua cruda pasa en sentido ascendente, después de haber recibido el coagulante. La velocidad del agua es ajustada de tal modo que la expansión sea de alrededor de 6 a 10%. Esto evita la obstrucción del medio poroso. La arena contribuye a que se logre una agitación uniforme durante el proceso de floculación.





### e) Floculadores de mallas

El uso de telas generalmente ha sido restringido a la función de filtración gruesa en la remoción de cuerpos flotantes o en suspensión de dimensiones relativamente grandes, en tomas de agua y en la entrada de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Con esta finalidad, generalmente se emplean mallas con una abertura que varía entre 2 y 20 milímetros, de alambre de acero galvanizado o acero inoxidable, o de hilos de *nylon*.

### **Mecánicos**

Los floculadores mecánicos utilizan energía de una fuente externa, normalmente un motor eléctrico acoplado a un intercambiador de velocidades, que hace posible la pronta variación de la intensidad de agitación.

#### a) De paletas

Los floculadores mecánicos más utilizados son, sin duda, los de movimiento giratorio con paletas paralelas o perpendiculares al eje (figuras 2-24 y 2-25)

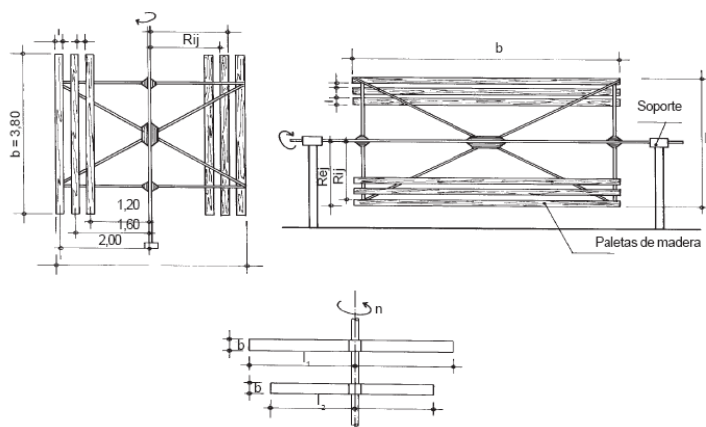


Figura 2-24. Floculadores mecánicos de paletas.

FUENTE: [www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf)

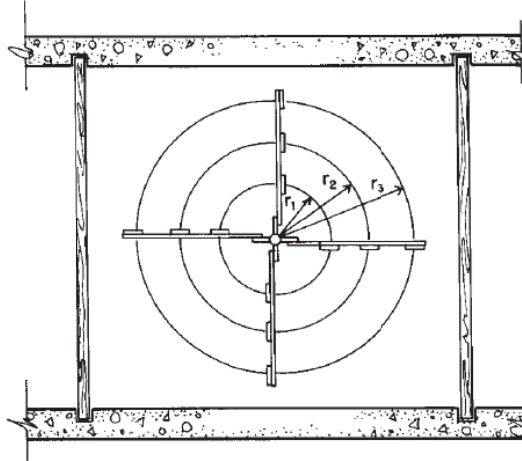


Figura 2-25 Floculador mecánico de eje vertical del tipo de paletas.

FUENTE: [www.cepis-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf)

El eje puede ser horizontal o vertical. Estos últimos normalmente son más ventajosos, porque evitan cadenas de transmisión, y también los pozos secos para la instalación de los motores. Su mantenimiento es difícil, pero cuando han sido bien proyectados, duran años sin dar mayores problemas.

Los floculadores giratorios están normalmente provistos de cuatro brazos fijados al eje y, por lo tanto, tienen cuatro paletas en la posición 1, cuatro en la posición 2, etcétera (véase la figura 2-25). Un número muy grande de paletas, como en este caso, exige al motor una potencia elevada, pero que puede no producir el gradiente deseado. Por el contrario, en el caso de un floculador más simple, dotado de paletas en un solo plano, el cálculo del gradiente de velocidad es más confiable.

Cuando la velocidad de rotación de las paletas aumenta,  $k$  tiende a decrecer, es cero con el uso de estatores. El gradiente de velocidad es independiente del número de paletas que ocupan la misma posición en relación con el eje. La única



ventaja de un mayor número de paletas es la mayor homogenización. El efecto es similar al de un floculador hidráulico con un número muy grande de cámaras o deflectores.

b) De turbina

Los floculadores del tipo turbina se dimensionan del mismo modo que los mezcladores rápidos. Como las velocidades periféricas máximas son superiores a 0,75 m/s, el agua tenderá a girar acompañando el movimiento de la turbina, a no ser que se prevea la instalación de deflectores o pantallas para estabilizar el movimiento (figura 2-26).

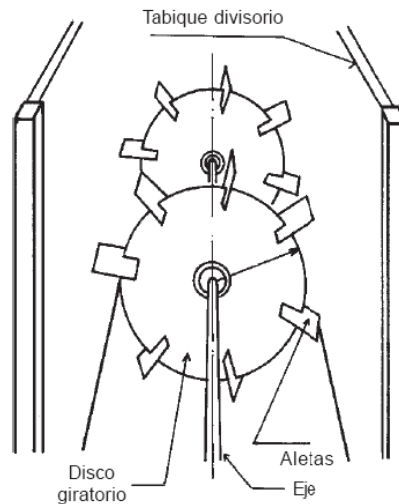


Figura 2-26. Floculador mecánico de turbina.

FUENTE: [www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/seis.pdf)

[10]

## 2.4 SEDIMENTACIÓN

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, o sea las partículas coaguladas, del medio en el cual están suspendidas.



Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua o filtrándola, o ejecutando ambos procesos consecutivamente que es lo común.

La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.

#### **2.4.1 Clasificación de los Procesos de Clarificación por Sedimentación**

La sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo de concentración de sólidos o partículas en suspensión, clasificándose de acuerdo a las características del sólido en suspensión en:

- Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas
- Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas
- Soluciones de concentración intermedia
- Soluciones de alta concentración.

Las interferencias producidas en los casos tres y cuatro dan lugar a que se forme un manto de lodos que flotará en el seno del líquido. [13]

#### **2.4.2 Decantación de Partículas en fluidos**

##### **2.4.2.1. Decantación de Partícula Aislada en un Fluido en Reposo**

Cualquier partícula en suspensión en un medio líquido en reposo y de menor peso específico puede ser acelerado por acción de gravedad, a la cual se opone una fuerza de resistencia viscosa a la deformación del líquido, semejante o igual a la resultante del peso de la partícula, esta desciende a una velocidad constante, llamada velocidad de sedimentación. ( $v_s$ ). Figura 2-27

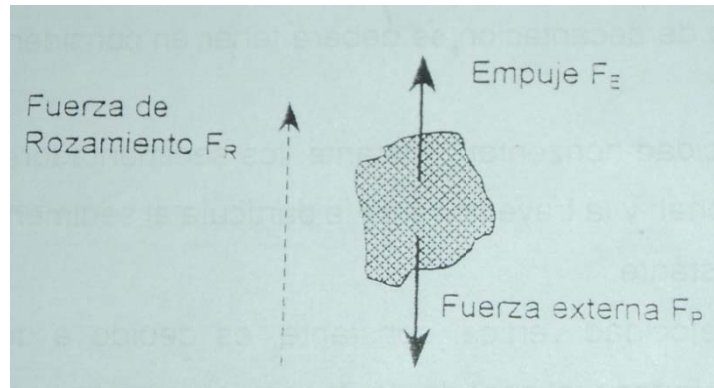


Figura 2-27. Fuerzas que actúan en una partícula.

FUENTE: MEJIA, Reinoso, Jackelin y Segarra Anguisaca Rocío, Optimización de los Procesos de Potabilización de Agua en la Planta de "El Cebollar"

Dentro de la partícula actúan tres fuerzas:

- Fuerza Externa (peso de la partícula)

$$F_p = mxg$$

- Empuje (Fuerza de resistencia viscosa)

$$F_E = \frac{\partial mg}{\partial_p}$$

$\partial$  : densidad del fluido

$\partial_p$  : densidad de la partícula

- Fuerzas de Rozamiento

$$F_R = C_D A \partial \frac{V^2}{2}$$

$C_D$  = Coeficiente de arrastre generalmente relacionado con el número de Reynolds



$\frac{V^2}{2}$  : Energía cinética por unidad de volumen

A: Sección transversal al escurrimiento de partícula

Si las partículas no son esféricas, se emplean el diámetro equivalente que es el de una esfera de igual volumen multiplicada por el coeficiente de esfericidad  $\psi$ .

$$D_e = \psi d'$$

$D_e$  : Diámetro equivalente

$d'$ : diámetro de la partícula

#### 2.4.2.2. Decantación de Partícula Aislada en un Fluido en Movimiento

Cuando se presenta este tipo de decantación se deberá tener en consideración lo siguiente:

Si el flujo se mueve con velocidad horizontal constante, los Sedimentadores serán horizontales de tipo convencional; y la trayectoria de la partícula al sedimentarse es parabólica, con velocidad constante.

Si el flujo se mueve con velocidad vertical constante, es debido a que en el sedimentador existe manto de lodos y el sentido de decantación es con respecto a la tierra; basta que la partícula sea arrastrada por el fluido para que este tipo de sedimentación no se de. Si la velocidad de caída de las partículas es igual a la velocidad de arrastre del fluido la partícula se mantiene en suspensión en el mismo. El manto de los lodos se forma cuando las partículas están relativamente juntas.

Si el fluido se mueve con flujo oblicuo es debido al uso de Sedimentadores provistos de placas inclinadas, en el que el flujo puede ser ascendente o



descendente, la trayectoria de las partículas es también parabólica y su velocidad constante.

Si el fluido se mueve con flujo continuo o no turbulento, el sedimentador será convencional sin interferencias o fenómenos externos, con partículas discretas, con la misma velocidad de sedimentación. Es menester aclarar que este tipo de sedimentación es ideal, diseñado por Hazen y Camp, mediante un modelo matemático que describe el funcionamiento; aquí la sedimentación de una partícula libre se da sin la interferencia de otra y cuando dicha partícula entra en la zona de lodos queda depositada en el fondo del tanque y se considera como removido. En la práctica no existe tanques ideales ya que se tiene una serie de variables tales como: Corrientes de densidad, Corriente debida al viento, Corrientes cinéticas. [13]

### **2.4.3 Tipos de Sedimentadores**

Básicamente se tienen los siguientes tipos:

#### **2.4.3.1. Desarenadores**

El objetivo es extraer del agua cruda la arena y partículas minerales más o menos finas (superiores a 200 micras), con la finalidad de evitar que se produzca sedimentos en los canales y conducción, para proteger las bombas y otros equipos contra la abrasión y para evitar sobrecarga en las posteriores etapas del tratamiento.

El funcionamiento de estas unidades están influenciados por:

- 1.- La forma de los granos
- 2.- La concentración de los sólidos en suspensión.
- 3.- La Naturaleza de Flujo Horizontal

Generalmente los desarenadores tienen forma rectangular.



### **2.4.3.2. Decantadores o Sedimentadores Estáticos**

Se clasifican de acuerdo al flujo de agua que ingresa a la unidad, generalmente tienen una baja eficiencia y requieren de grandes superficies.

**2.4.3.2.1. Sedimentadores de Flujo Horizontal:** Se clasifican en: Rectangulares, circulares y cuadrados. Presentan problemas en las estaciones de tratamiento que poseen un canal común. La remoción de lodos puede hacerse en forma intermitente o continua, el primero es utilizado en pequeñas instalaciones o cuando el agua a tratar es relativamente clara, siendo necesario vaciar el tanque cada cierto tiempo y extraer los lodos manualmente, con la ayuda de mangueras a presión; generalmente los sedimentos se compactan transformándose en una masa pastosa, requiriéndose pendientes en el fondo de los tanques de 45 y 60 ° el tamaño de la zona de lodos dependerá del período de funcionamiento del sedimentador y de la cantidad de lodos producidos. Para la remoción continua se utiliza “barredores de lodos” existiendo algunos tipos de sistema de barrido de lodos: cadenas con paletas y puertas con sistemas de palos o de succión.

**2.4.3.2.2. Sedimentadores de Flujo Vertical:** Son de forma cilíndrica y se utilizan para clarificación de aguas superficiales. La entrada de agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente, es decir, el agua entra directamente al fondo del tanque y asciende hasta las canaletas de recolección colocadas en la superficie. En la parte inferior está ubicada la zona de lodos que tiene forma cónica con pendiente de 45 a 60° según la naturaleza del agua y el tratamiento adecuado. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad.

**2.4.3.2.3. Sedimentadores de Flujo Helicoidal:** Útil para tratar aguas con alto contenido de materiales en suspensión o flóculos con alta velocidad de sedimentación. Este tipo de flujo se logra mediante la combinación de una tubería y canales periféricos con orificios de entrada de agua, estos orificios son





dimensionales y espaciados para permitir una distribución uniforme del agua en el sedimentador. El canal recolector de agua sedimentada está ubicado ya sea en el centro o en la periferia del sedimentador.

**2.4.3.3. Unidad de Decantación Acelerada (Manto de Lodos):** Estas unidades son utilizadas en plantas en las que se usan reactivos químicos preferentemente en alta concentración de coloides, tiene aplicación para remoción de material coloidal, decoloración, ablandamiento, eliminación de hierro y magnesio por vía química.

Los lodos producidos pueden ser extraídos en dos formas: en forma periódica ordenando y vaciando, y una segunda en forma continua.

**2.4.3.4. Sedimentadores con incremento del Peso del Flóculo:** El procedimiento consiste en realizar en un solo reactor los procesos de mezcla, floculación y sedimentación, utilizando los coagulantes ordinarios y micro arenas activadas por medio de un polímero, realizándose los dos primeros procesos en el fondo del reactor en un lecho fluidificado con tres zonas de alta, media, y baja turbulencia y en la parte superior de una sedimentación acelerada.

**2.4.3.5. Sedimentadores Laminares:** Estos Sedimentadores son muy económicos y eficientes para la clarificación tanto de agua potable como de aguas servidas, esta eficiencia, no depende de su profundidad, sino de su área pues la velocidad de sedimentación será la misma pero la carga superficial aparente ( $q$ ) será teóricamente "n" veces mayor, y su número de Reynolds será inferior a 500 teniendo un flujo laminar.

Usando los principios de Camp y Hasen a un sedimentador convencional su eficiencia depende de la carga superficial dada por la expresión:

$$q = \frac{Q}{A}$$

La velocidad de sedimentación ( $v_s$ ) será determinada por esta carga superficial.



Los términos “sedimentación de alta tasa” o “sedimentación acelerada” son sinónimos y hacen referencia a Sedimentadores poco profundos formados por una serie de tubos: circulares, cuadrados, octogonales o sucesión de láminas paralelas planas u onduladas, entre las cuales circula el agua con flujo laminar logrando períodos de retención muy pequeños, iguales o inferiores a 15 minutos, utilizando cargas superficiales aparentes de 100 a 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d y muy bajas velocidades de sedimentación (0.02cm/seg.) [13]

## 2.5 FILTRACIÓN

Con la filtración se busca eliminar las partículas y microorganismos que no han podido ser separados en la etapa de coagulación floculación y sedimentación.

Se eliminan a través de un manto poroso. Todas las aguas superficiales tienen que ser sometidas al proceso de filtración porque es la única forma de eliminar esporas.

Toda agua tiene una variedad de partículas, desde un coloide (1 μm) hasta partículas cuyo diámetro se acerca al mm. No obstante esta variedad de partículas que llegan al filtro y que son de un diámetro menor que el poro del manto de arena, son retenidas por una serie de fenómenos.

### 2.5.1 Mecanismos responsables de Filtración

Según las características de las partículas que se deben retener y del material filtrante utilizado, pueden intervenir uno o varios de los tres mecanismos principales siguientes: depósito, fijación y desprendimiento.

#### 1.- Mecanismos de depósito

Son esencialmente de dos tipos:

- *Tamizado mecánico*: se trata de la retención de las partículas más gruesas que el hueco de malla del filtro o el hueco de los elementos ya depositados que forman, por sí mismos un material filtrante.



Este fenómeno interviene tanto más cuanto más fina es la malla del material filtrante; tiene poca importancia en el caso de un lecho filtrante compuesto por material relativamente grueso; por el contrario, actúa de forma preponderante en una filtración sobre soporte de malla fina: tamiz, manguito filtrante, etc.

- *Depósito sobre material filtrante:* la partícula en suspensión sigue en el líquido una línea de corriente; su talla, comparada con el tamaño de los poros, podría permitirle atravesar el material filtrante, sin ser detenida. Sin embargo, a causa de diversos fenómenos, se produce un cambio de trayectoria y su contacto con el material.

Son estos fenómenos

- la interceptación directa;
- la difusión por movimiento Browniano:
- la atracción de las fuerzas de Van der Waals:
- la inercia de la partícula;
- la sedimentación: las partículas pueden depositarse, por su propio peso, sobre el material filtrante, cualquiera que sea el sentido de filtración;
- el movimiento giratorio bajo la acción de fuerzas hidrodinámicas:
- la coagulación debida a la acción de diastasas (caso de la membrana biológica de los filtros lentos).
- los mecanismos de depósito intervienen principalmente en la filtración en profundidad.

2.- Mecanismos de fijación Si la velocidad de flujo es pequeña, se favorece la fijación de las partículas sobre la superficie del material filtrante. Es debida a fuerzas de origen físico (enclavamiento, cohesión) y a fuerzas de adsorción, principalmente fuerzas de Van der Waals.

3.- Mecanismos de desprendimiento. Bajo la acción de los mecanismos anteriores, se produce una disminución del espacio entre las paredes del material recubiertas



de partículas ya depositadas. Hay un aumento de velocidad y el flujo puede pasar de laminar a turbulento. Los depósitos retenidos pueden desprenderse parcialmente y ser arrastrados dentro del material filtrante o incluso en el filtrado.

Las partículas sólidas contenidas en un líquido y las partículas coloidales, más o menos floculadas, no tienen las mismas características y no reaccionan de la misma forma ante los distintos mecanismos descritos. La filtración directa de un líquido cuyas materias en suspensión conservan su estado y su carga eléctrica, será por tanto muy distinta de la filtración de un líquido coagulado. [15]

### 2.5.2 Pérdida de Carga de Filtración

La tasa de aumento de pérdida de carga durante la marcha de filtrado es, aproximadamente, proporcional a la tasa de captura de sólidos por el filtro. Suponiendo una captura, esencialmente completa de sólidos entrantes, la pérdida de carga aumentará en proporción a la tasa de filtrado,  $V$ , y a la concentración de sólidos en suspensión influentes,  $C_0$ . La tasa de desarrollo de la pérdida de carga se reduce si la captura de sólidos ocurre en una gran profundidad del medio, más bien que en una capa superior del medio. Un tamaño de grano más grueso mejora la penetración de sólidos en el lecho, y posiblemente una diferente morfología del depósito reduciendo además la tasa de desarrollo de pérdida de carga por unidad de masa de sólidos capturados. [2]

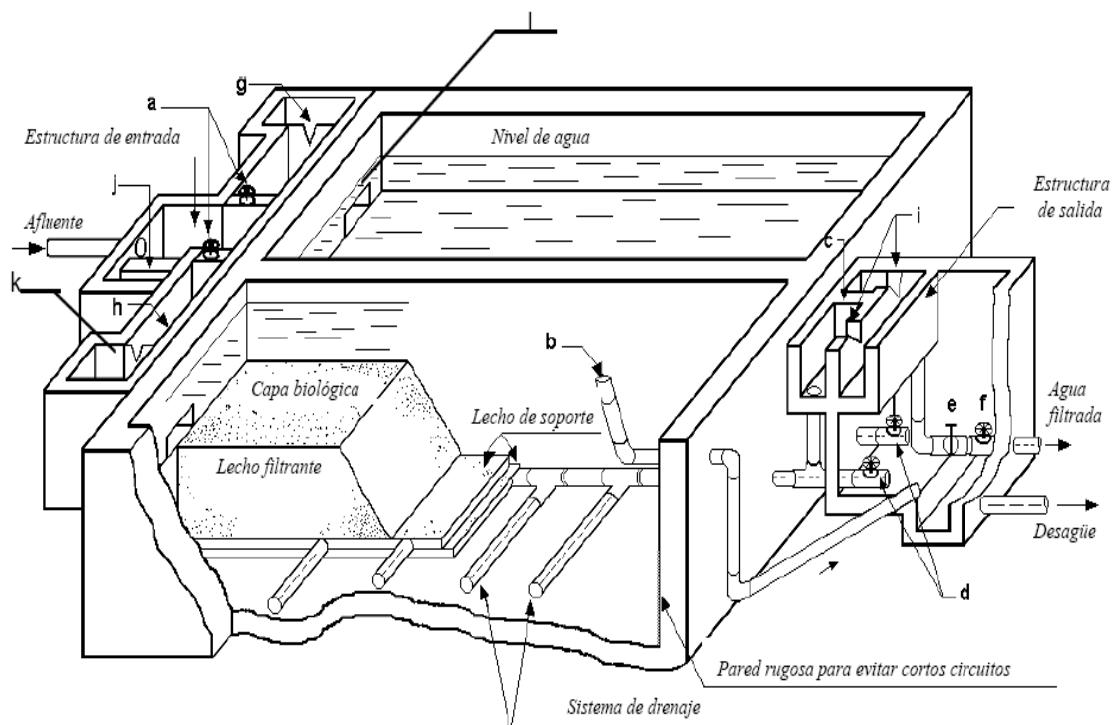
### 2.5.3 Tipos de Filtros

**Filtros lentos:** Cuando se tiene un agua de buena calidad bacteriológica, con turbiedades inferiores a 100 NTU y preferiblemente 50 NTU y color inferior a 25 UC, se utiliza el proceso de filtración a baja velocidad ( $V_f=0.10-0.40$  m/h).

Un filtro lento de flujo descendente consiste en una caja rectangular o circular en la cual se tiene un lecho filtrante de 0.60 a 1.20 m de arena fina, sobre una capa de 0.40 a 0.45 m de grava. El agua se recolecta en un sistema de drenaje de diferentes formas. La carga de agua sobre el medio filtrante fluctúa de 1-1.5 m. Se



regula el flujo a la entrada o a la salida del filtro para mantener una velocidad constante de filtración (figura 2-28)



Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.

- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, "cuello de ganso".
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada
- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida.
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

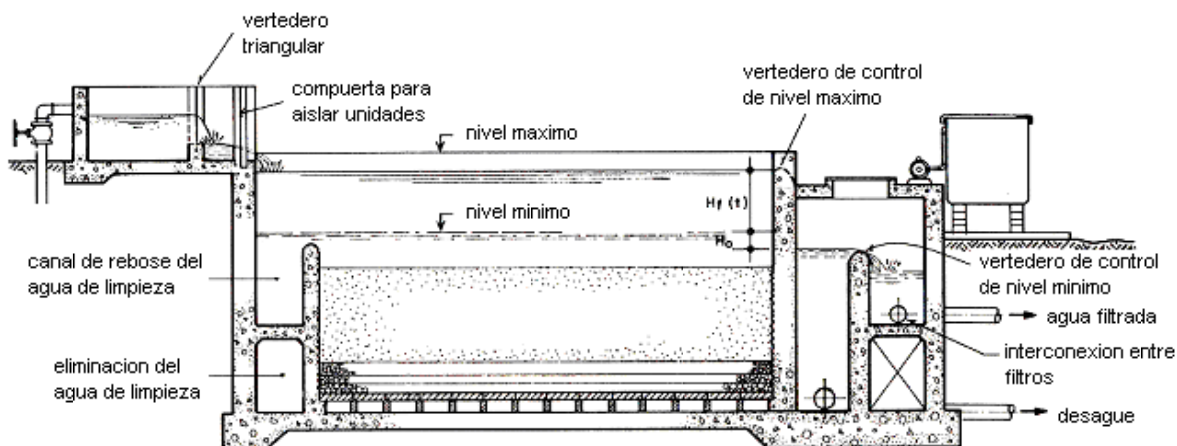


Figura 2-28 FILTROS LENTOS DE ARENA

FUENTE:

[http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029\\_Dise%C3%B1o\\_tratamiento\\_Filtracion.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029_Dise%C3%B1o_tratamiento_Filtracion.pdf)

En la filtración lenta predomina la acción biológica sobre los mecanismos de transporte y adherencia.

**Filtros rápidos:** La filtración rápida (velocidad de filtración de 120 a 150 m/día) es casi universalmente empleada para tratar aguas de un rango de calidad muy amplio, requiriéndose de un tratamiento preliminar de coagulación y sedimentación (como mínimo). Los filtros rápidos pueden ser a gravedad o "abiertos" (figura 2-29) o a presión o "cerrados" (figura 2-30).

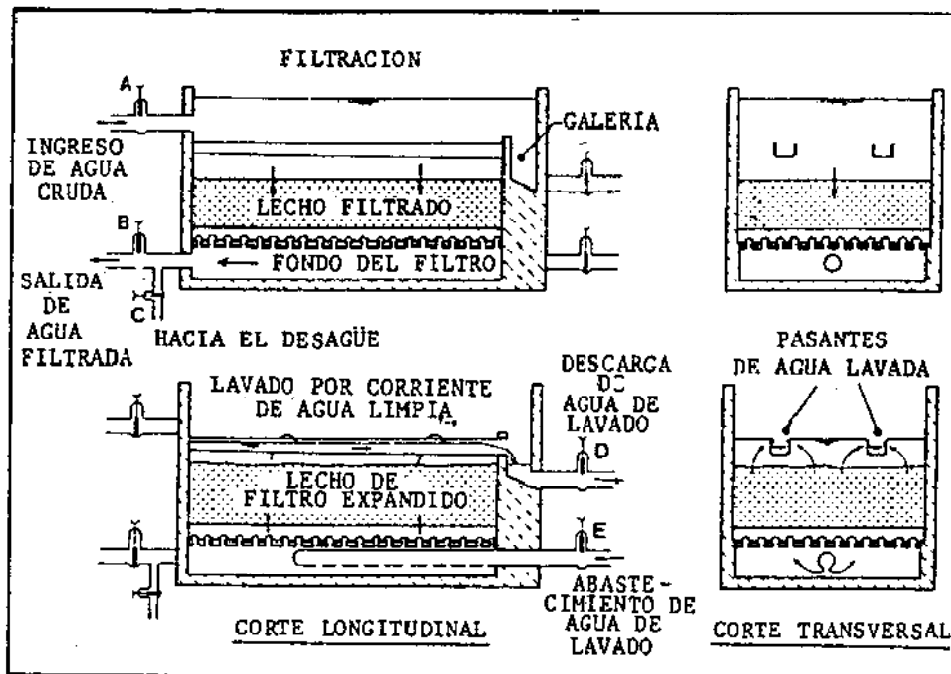


Figura 2-29. FILTRO RÁPIDO DE GRAVEDAD

FUENTE:

[http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029\\_Dise%C3%B1o\\_tratamiento\\_Filtracion.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029_Dise%C3%B1o_tratamiento_Filtracion.pdf)

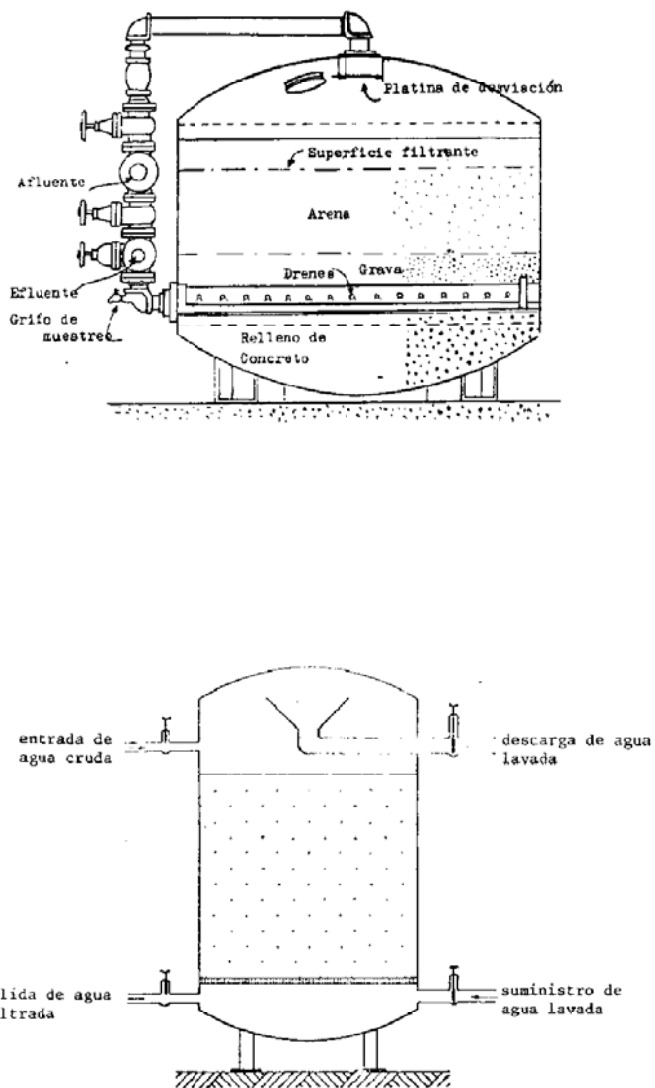


Figura 2-30. FILTROS A PRESIÓN

FUENTE:

[http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029\\_Dise%C3%B1o\\_tratamiento\\_Filtracion.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029_Dise%C3%B1o_tratamiento_Filtracion.pdf)





Los filtros rápidos a gravedad se construyen generalmente de concreto y tienen forma rectangular. Los filtros rápidos generalmente requieren de equipos de control para mantener constante la velocidad de filtración. Asimismo, por su alta capacidad de retención de materias en suspensión se colmatan rápidamente, por lo que es necesario invertir la dirección del flujo del agua para lavar el medio filtrante requiriéndose de un complejo sistema de tuberías y válvulas denominado “galería de operación”.

En la tabla 2-5, se incluyen resultados típicos de calidad de agua tratada en unidades de filtración rápida.

Tabla 2-5.CALIDAD TÍPICA DE AGUA TRATADA CON FILTRACIÓN RÁPIDA

Parámetro	Unidad	Agua	
		Sedimentada	Filtrada
Turbiedad	NTU	15	0.5
Color	UC	25	10.1
Nitrógeno albuminoideo	mg/l	0.28	0.16
Oxígeno absorbido	mg/l	2.95	1.66

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS

**Filtración gruesa.-** Los filtros gruesos se originaron como medio para solucionar las dificultades originadas en los filtros lentos cuando el agua cruda tiene cantidades excesivas de materiales en suspensión y particularmente un alto contenido de algas, utilizándose los siguientes procedimientos:

**a) Microfiltración.-** Constituye el más simple de los procesos de filtración, recurriéndose únicamente al mecanismo de “cernido” para remover las partículas de tamaño superior al de los poros del filtro (100 micrones). Se utiliza como tratamiento previo para remoción de algas y otros materiales discretos que se encuentran en suspensión. No es factible reducir con este proceso el color, la turbiedad de origen coloidal, así como material orgánico (amonio). El microcernido se realiza en tambores cilíndricos horizontales (figura 2-33) cuya superficie cilíndrica constituye el medio filtrante, el flujo está canalizado de adentro o fuera,



siendo los sólidos retenidos en la cara interior del tambor. Durante el ciclo del lavado los sólidos son removidos del medio filtrante por medio de chorros de agua.

**b) Filtración rápida.-** Comúnmente se utiliza filtración rápida como filtración gruesa obteniéndose una apreciable reducción de algas (90%), mediana remoción de materia inorgánica en suspensión y de nitrógeno amoniacal, una mínima reducción de color, bacterias así como poca oxidación de materia orgánica. Se usan generalmente los siguientes criterios de diseño:

-velocidad de filtración: 6-8 m/h,

- medio filtrante: arena (de 0.3 a 1 m, coeficientes de uniformidad menores a 1.20 m) con una altura de manto de 0.60 a 0.90 m, y

- grava de soporte con características similares a la utilizada en filtración convencional.

En la tabla 2-6, se indica la eficiencia remocional característica de procesos de tratamiento de filtración gruesa rápida seguida de filtración lenta. [11]

Tabla 2-6. CARACTERÍSTICAS REPRESENTATIVAS DE AGUAS SOMETIDAS A PROCESOS DE FILTRACIÓN GRUESA-RÁPIDA Y LENTA

Características	Unidad	Agua		
		Afluente	Efluente	
			Filtro rápido	Filtro lento
Número total de germ <small>como NH<sub>3</sub></small>		409	218	18
NMP/100 ml		65.4	17.3	5.8
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0.12	0.028	0.019
Nitrógeno albuminoideo	mg/l	0.165	0.135	0.09
Oxígeno absorbido a 4 h y 27°C	mg/l	1.84	1.62	1.1
Turbiedad	NTU	2	0.6	0.1
	NTU	30	20	0.5
Color	UC	27	24	11
	UC	12	10	3

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS



## 2.5.4 Factores que influyen en el proceso de filtración

Entre los factores que influyen en el proceso de filtración, tenemos los siguientes:

### 2.5.4.1 Tipos de Medios Filtrantes

Se pueden dividir en dos grupos:

- Los que actúan formando una barrera delgada que permite el paso sólo del fluido y no de las partículas sólidas en suspensión en él.
- Los que actúan formando una barrera gruesa al paso del fluido.

Entre los primeros, se encuentran los filtros de tela, los de criba y el papel de filtro común de los laboratorios.

Entre los segundos, mencionaremos los filtros de lecho de arena, los de cama de coque, de cerámica porosa, metal poroso y los de precapa empleados en ciertas filtraciones industriales que contienen precipitados gelatinosos.

Un medio filtrante delgado ofrece una barrera en la que los poros son más pequeños que las partículas en suspensión, que son separadas del fluido y retenidas en el filtro. En los medios filtrantes gruesos los poros pueden ser más gruesos que las partículas que se van a separar, las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas más pronto o más tarde por el medio filtrante en los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen. El medio filtrante acaba cegándose por las partículas acumuladas; se debe entonces lavar con fluido claro para limpiarlo y permitir que siga la filtración. Los medios filtrantes delgados también pueden cegarse cuando por ellos se filtran líquidos gelatinosos o que contienen partículas blandas y elásticas en suspensión.

[11]



### 2.5.4.2. Velocidad de Filtración

- La totalidad de los estudios realizados concuerdan en que es posible elevar la velocidad de filtración, de 120 m/día hasta 300 m/día sin que se produzca desmejoramiento de la calidad del agua filtrada (tabla 2-7)

Filtro #	12	13	14
Velocidades de filtración	120m/h	160m/h	240m/d
Carrera del filtro (hr)	135.2	116.7	81.3
Agua de lavado %	1.21	0.89	0.99
Turbiedad (NTU)	0.34	0.38	0.43
Bacterias (Colon/ml)	0.32	0.42	0.36
Organismos coliformes	Negativo	Negativo	Negativo

TABLA 2-7 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS

Existen criterios de diseño que utilizan “ultrafiltración” con velocidades superiores a los 600 m/día y muy altas eficiencias, requiriendo acondicionamiento previo de los flóculos. Se ha demostrado que las restricciones o variaciones bruscas de la velocidad de filtración se producen desmejoras en la calidad del agua. Figura 2-31.

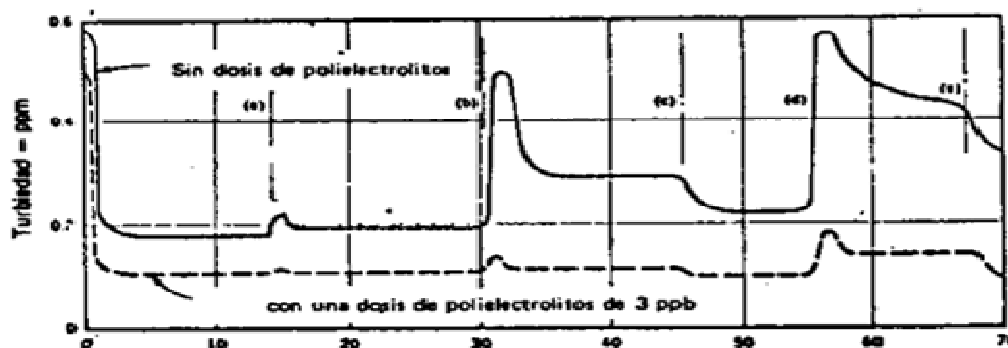


Fig. 2- 31. INFLUENCIAS DE RESTRICCIONES O VARIACIONES BRUSCAS DE VELOCIDAD DE FILTRACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA.

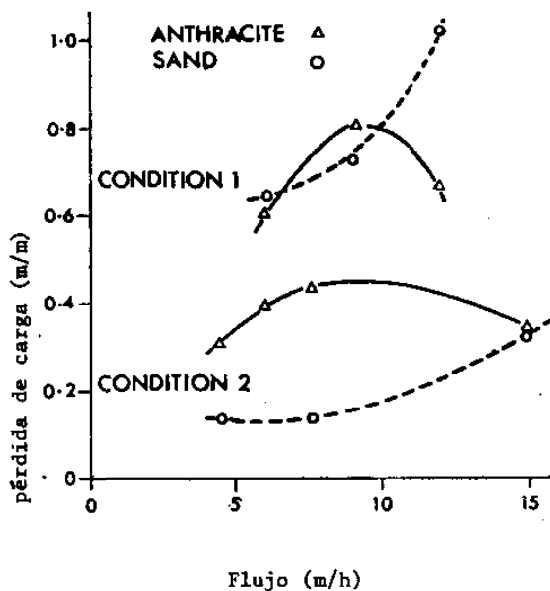
FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS



- Que con determinado medio filtrante se produce un valor mínimo de pérdida de carga con un valor óptimo de velocidad de filtración (figura 2-32)

Figura 2-32. Velocidad que optimiza la pérdida de carga.

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS



- La utilización de velocidades variables de filtración permite incrementar el caudal filtrado entre un 50 y 150%, produciendo agua de mejor calidad, alta capacidad operativa de producir mayor cantidad de agua seleccionando las carreras de filtración y eliminación de la totalidad del equipo de control (figuras 2-33).

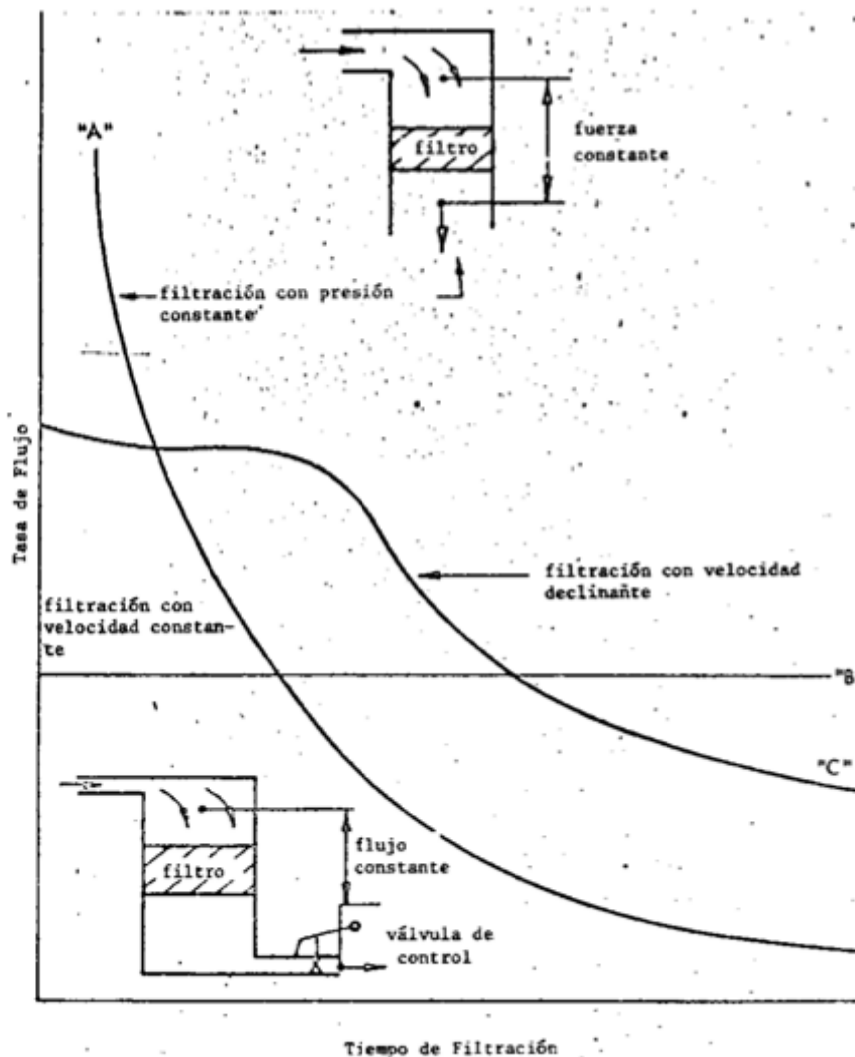


Figura 2-33. TIPOS DE VELOCIDADES DE FILTRACIONES

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS

[11]

### 2.5.4.3. Tipos de Suspensión

El volumen, densidad, tamaño del floc, pH, potencial zeta y la eficiencia del filtro afectan en forma notable el comportamiento de los filtros. En muchos casos resulta más importante para obtener una determinada calidad de efluente, que el tamaño y la clase del medio filtrante usado sea el mismo, ya que el filtro



trabajando a la misma velocidad puede producir agua con mayor o menor turbiedad según sea el tipo de suspensión que reciba. [13]

#### 2.5.4.4. Temperatura

La temperatura influye en los mecanismos físicos y químicos, que intervienen en la filtración así, mientras menor sea la temperatura, la pérdida de carga es menor, debido probablemente a la lenta remoción del floc a estas temperaturas. Fig. 2-34.

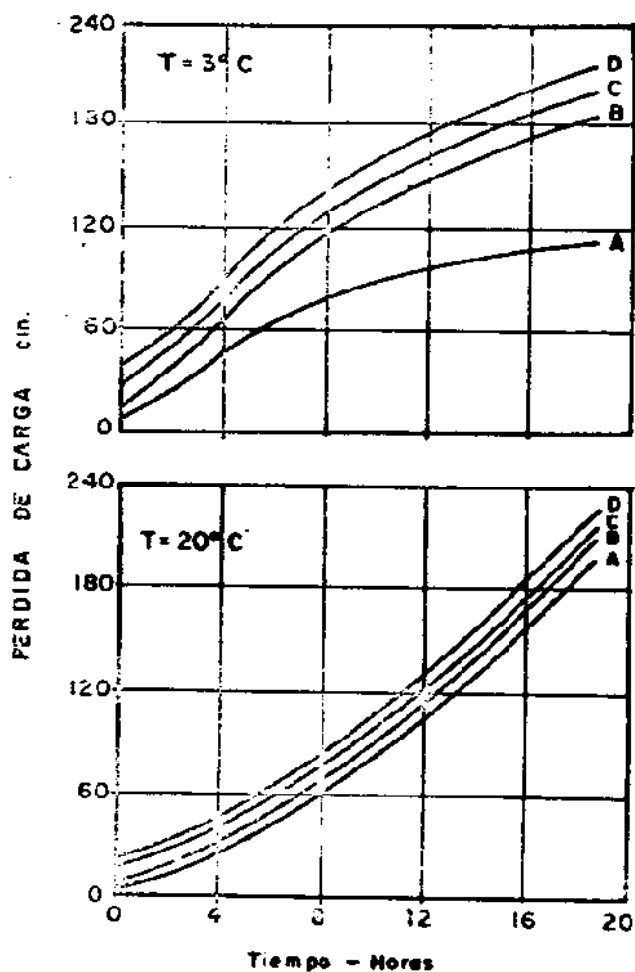


Fig. 2-34. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA LONGITUD DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN (SEGÚN DOSTAL Y ROBECK)

FUENTE: PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS



#### **2.5.4.5. Dureza del floc.**

Los filtros con medios mezclados de alta porosidad son más sensitivos a los cambios en las características del flóculo que los de arena convencionales.

La distribución del material retenido dentro del lecho filtrante, es función del grado de dureza del floc. Cuando éste resiste bien los esfuerzos cortantes, se concentra más en las zonas de menor permeabilidad, y la carrera de filtración es más corta. Cuando el floc en cambio es blando, se distribuye más uniformemente en todo el lecho y su posibilidad de aparecer en el efluente se aumenta, cualquiera que sea el tamaño de capa filtrante inferior que se use. [12]

### **2.6. DESINFECCIÓN**

La desinfección es un proceso diseñado para la deliberada reducción del número de microorganismos patógenos. Aunque otros procesos de tratamiento de agua, como la filtración o coagulación-floculación-sedimentación, pueden alcanzar una reducción patógena, no es generalmente su objetivo principal. [2]

#### **2.6.1. Eficiencia Bacteriológica de los Procesos de Clarificación y Sedimentación.**

Los procesos de mezcla, coagulación-floculación, sedimentación y filtración son considerados como procesos preparatorios para la desinfección, cumplen con dos objetivos:

Disminuyen la carga bacteriana del agua.

Permiten una mayor eficiencia en los métodos de desinfección.

Al progresar el proceso de aglutinamiento de las partículas, tanto las bacterias como los virus quedan incorporados dentro del floc y sedimentan con el mismo debido a que los microorganismos se comportan como partículas coloidales; convirtiéndose los lodos provenientes de la sedimentación en un riesgo potencial





de contaminación, por lo cual hay que tener cuidado durante la limpieza de estas unidades. Los virus sufren los mismos efectos de remoción que los microorganismos debido a que son coloides también, que van de 1 a 1000  $\mu\text{m}$ , sin embargo la floculación ortocinética inducida por los gradientes de velocidad (turbulencia) tiene poca importancia en su aglutinamiento, pues, su dimensión es menor a una micra y por consiguiente predomina la floculación pericinética, debido al movimiento browniano o a la alta concentración de sólidos que aumenta la oportunidad de los contactos, por lo que su eliminación se debe probablemente más a los mecanismos de difusión que a los gravitacionales. [13]

### 2.6.2. Factores que Influyen en la Desinfección.

Entre los factores que influyen en la desinfección del agua, tenemos los siguientes:

#### - **Tiempo de contacto y concentración del desinfectante**

Tiempo de contacto (contact time: CT) entre el agente desinfectante y los microorganismos y la concentración del agente desinfectante son factores importantes de la desinfección del agua. El parámetro CT se usa para calcular la cantidad de desinfectante necesaria para la desinfección del agua.

C= concentración residual de agente desinfectante (mg/L)

T= tiempo mínimo de contacto (minutos) entre el material a desinfectar y el agente desinfectante

CT se expresa como mg.min/L

$$\text{CT} = \text{concentración desinfectante} \times \text{tiempo de contacto} = C(\text{mg/L}) \times T (\text{min})$$

Cuando se añade un desinfectante al agua, no solo reacciona con microorganismos patógenos, sino también con otras sustancias presentes en el agua, como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica y otros microorganismos.



La demanda de desinfectante del agua es la necesidad de utilización de una cierta concentración de agente desinfectante para reaccionar con estas sustancias. Esta demanda de agente desinfectante se debe satisfacer, antes de que exista una concentración residual de desinfectante.

#### **- El tipo de microorganismo**

Los desinfectantes pueden matar de manera efectiva muchos microorganismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). Algunos de estos microorganismos son resistentes. Bacteria E.Coli, por ejemplo, es mas resistente a los desinfectantes que otras bacterias y por lo tanto se utilizan como organismos indicadores. Algunos virus son incluso mas resistentes que E.Coli. La ausencia de E.Coli no significa que el agua sea apta para su consumo. Por ejemplo los parásitos como Cryptosporidium y Giardia son resistentes al cloro.

#### **- La edad de los microorganismos**

La efectividad de un cierto desinfectante también depende de la edad de los microorganismos. Las bacterias jóvenes son más fáciles de matar que las mas adultas. Esto es debido a que las bacterias desarrollan una capa protectora de polisacáridos en la pared celular que las hace más resistentes a los desinfectantes. Por ejemplo con una dosis de 2,0mg/L de cloro el tiempo de contacto requerido para desactivar la bacteria es de 10 días, sin embargo cuando es adulta puede necesitarse del orden de 30 minutos. Para las bacterias de la misma especie y de edad de 1 día, 1 minuto puede ser suficiente como tiempo de contacto. Las esporas de bacterias pueden ser muy resistentes y de hecho la mayoría de los desinfectantes no son efectivos para la eliminación de las esporas.

#### **- Agua que requiere tratamiento**

Las características químicas y físicas del agua influyen en la desinfección. Por ejemplo, la presencia de hierro, manganeso, sulfuro de hidrogeno y nitratos normalmente reaccionan con los desinfectantes y suponen un impedimento para la desinfección. La turbidez del agua también reduce la efectividad de desinfección. Los microorganismos pueden quedar protegidos del efecto de los agentes



desinfectante por la turbidez de las aguas

### - **Temperatura**

La temperatura también influye la efectividad de los desinfectantes. El aumento de la temperatura produce un aumento de la velocidad de las reacciones y la desinfección. También puede provocar la volatilización o inactivación del agente desinfectante contra la desinfección. [2]

### **2.6.3. Modos de Desinfección del Agua.**

Tenemos diversos modos de desinfectar el agua, los mismos que se detallan a continuación.

#### **2.6.3.1. Física**

Los dos métodos principales de desinfección física son: el hervido y la radiación con rayos ultravioletas.

- **Hervido**, es una práctica segura y tradicional que destruye microorganismos patógenos tales como virus, bacterias, cercaria, quistes y huevos. Si bien es efectivo como tratamiento casero, no es un método factible para abastecimientos públicos de agua. Sin embargo, en situaciones de emergencia se puede usar el hervido del agua como medida temporal.

- **La radiación de luz ultravioleta**, es un método efectivo de desinfección para agua claras, pero su efectividad es reducida significativamente cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como nitrato, sulfato y hierro en su forma ferrosa. Este método de desinfección no produce ningún residuo que proteja al agua contra una nueva contaminación y que podría servir para propósitos de control y vigilancia. La luz ultravioleta ha sido usada para desinfección en varios países desarrollados, pero se le aplica muy rara vez en países en desarrollo.

#### **2.6.3.2. Química**



Un buen desinfectante químico; debe poseer las siguientes características importantes:

- Rápido y efectivo en eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua;
- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas para la desinfección y capaz de proveer una acción residual ;
- Que no imparta sabor, olor o color al agua;
- Que no sea tóxico para la vida humana o la animal;
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar;
- De fácil disponibilidad a un costo moderado

Las sustancias químicas que han sido usadas exitosamente para la desinfección son: cloro, compuestos de cloro y yodo dosificados en forma adecuada; ozono entre otros. Cada uno de estos tiene sus ventajas y limitaciones.

- **Cloro gaseoso:** Generalmente el cloro gaseoso se considera la forma más económica de desinfectante en plantas grandes. En estado gaseoso, el cloro es de color amarillo verdoso y 2.48 veces más pesado que el aire. En forma líquida, el cloro es de color ámbar y 1.44 veces más pesado que el agua. El cloro líquido no confinado se evapora rápidamente; un volumen de líquido produce cerca de 450 volúmenes de gas.

El cloro encerrado en un cilindro puede existir como gas, como líquido o como una mezcla de ambos. La presión de vapor del cloro en el cilindro es función de la temperatura e independiente del volumen del cloro confinado, por lo cual, la presión de un cilindro con 1 kg de cloro es igual a la de otro cilindro con 100 kg de cloro.

El cloro gaseoso es un irritante respiratorio y puede causar la muerte por sofocación. El cloro, tanto líquido como gaseoso, causa quemaduras de la piel y de los ojos; se consigue comercialmente como líquido comprimido en cilindros de 45, 68 y 907 kg o en carro tanques especialmente diseñados para el efecto. Como puede observarse en la tabla 2-8, la presión del cloro en un cilindro aumenta con



la temperatura. De la misma manera el porcentaje, en volumen, de cloro líquido aumenta con la temperatura.

Tabla 2-8. Variación de la presión de vapor y del volumen de cloro líquido con la temperatura.

T, °C	Pv, kg/cm <sup>2</sup>	Pv, kPa	Pv, m H <sub>2</sub> O	% del volumen como líquido
0	2.70	265	27.0	85
10	4.08	400	40.8	87
20	5.79	567	57.9	89
30	7.90	774	79.0	91
40	10.46	1025	104.6	93
50	13.51	1324	135.1	95
60	17.11	1677	171.1	98
68	20.42	2001	204.2	100

FUENTE: ROMERO Rojas, Jairo Alberto, Calidad del Agua

Lo anterior indica que un cilindro lleno de cloro hasta el límite autorizado estaría completamente lleno de cloro líquido a una temperatura de 68°C; una temperatura superior a ésta producirá presiones excesivas que pueden ocasionar una rotura del cilindro; por esta razón es necesario revisar que los cilindros estén dotados de dispositivos de seguridad adecuados.

Un cilindro en posición vertical entregará cloro gaseoso; en posición invertida, cloro líquido. Los cilindros de tonelada en posición horizontal, con sus dos válvulas



alineadas sobre un eje vertical, entregarán cloro gaseoso por la válvula superior y cloro líquido por la válvula inferior.

Para extraer cloro gaseoso de un cilindro, se debe vaporizar la forma líquida del cloro. Teniendo en cuenta que el cloro líquido tiene un coeficiente de expansión térmica alto, se requieren grandes cantidades de calor para vaporizarlo. Aunque sería posible absorber dicho calor y extraer cloro gaseoso; por ello, nunca debe aplicárseles calor para incrementar la vaporización y, por consiguiente, la tasa de descarga. Cuando se extraen flujos de cloro gaseoso mayores de los permisibles o recomendados, se presenta condensación y formación de escarcha en el exterior del cilindro, lo cual aísla el recipiente e inhibe más la vaporización del cloro.

En general, las plantas pequeñas usan cilindros de 45 a 68 kg de cloro y extraen hasta 19 kg/d de cloro gaseoso por cilindro. Las plantas grandes suelen usar cilindros de 907 kg, extraen cloro líquido y vaporizan en evaporadores. Normalmente se recomienda el uso de evaporadores cuando los requerimientos de cloro son mayores de 680 kg/d. Una vez obtenido el cloro gaseoso, el clorador permite disolverlo en agua a la tasa deseada y en el lugar requerido.

- **Hipocloritos:** Los hipocloritos se usan especialmente en plantas pequeñas o cuando no existen dosificadores apropiados de cloro gaseoso. Los hipocloritos comerciales tienen una concentración de  $\text{OH}^-$  entre  $10^{-3}$  y  $10^{-1}$  M; por tanto, su pH oscila entre 11 y 13.

El hipoclorito de calcio, HTH, es un blanqueador seco disponible en el comercio con un 70-74% de cloro; es fácilmente soluble en agua, 215-234 g/L, y se expende en tabletas o granular en empaques de 16 a 45 kg.

El hipoclorito de sodio comercial es líquido, generalmente con 12 a 15% de cloro, transportable en cantidades variables a voluntad. También puede generarse *in situ* en concentraciones de 0.5-10% mediante electrólisis de la sal. Todas las soluciones de hipoclorito de sodio, NaOCl, son inestables y se deterioran más



rápidamente que el hipoclorito de calcio. La estabilidad de las soluciones de NaOCl puede observarse en la tabla 2-9.

La cal clorada, otro compuesto usado para cloración, es un sólido semiestable, mezcla de  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  con contenido de cloro menor del 35%, de color blanco amarilloso.

Tabla 2-9. Estabilidad de soluciones de NaOCl.

<b>% de cloro</b>	<b>Cloro g/L</b>	<b>Vida media a 25°C</b> <b>Días</b>
3	30	1700
6	60	700
9	90	250
12	120	180
15	150	100
18	180	60

FUENTE: ROMERO Rojas, Jairo Alberto, Calidad del Agua

La naturaleza corrosiva de los hipocloritos hace necesario el uso de equipos de materiales anticorrosivos para su manejo. La dosificación se hace generalmente mediante bombas, a partir de soluciones al 1-5% preparadas y almacenadas en tanques de plástico. Aunque, como se dijo previamente, los hipocloritos son de uso común en plantas pequeñas, también se utilizan en plantas grandes, especialmente por razones de seguridad.



En la tabla 2-10 se incluyen los contenidos usuales de cloro en los desinfectantes más usados.

Tabla 2-10. Contenido de cloro de los desinfectantes más usados.

<b>Compuesto</b>	<b>% de cloro</b>	<b>Cantidad requerida para 1 kg de cloro</b>
Cloro gaseoso, Cl <sub>2</sub>	100	1 kg
Cloro líquido, Cl <sub>2</sub>	100	1 kg
Hipoclorito de sodio	15	6.7 L
NaOCl	12.5	8 L
NaOCl	5	20 L
NaOCl	1	100 L
Hipoclorito de calcio	65	1.54 kg

FUENTE: ROMERO Rojas, Jairo Alberto, Calidad del Agua

- **Yodo:** El yodo ha sido reconocido como un desinfectante del agua potable desde principios del pasado siglo y se ha utilizado ampliamente para volúmenes pequeños de agua. Sin embargo su utilización no se ha generalizado, debido principalmente al estrecho margen de seguridad entre las concentraciones necesarias para lograr una desinfección adecuada y el umbral para evitar que las personas sensibles al yodo (un porcentaje pequeño de la población general) sufran efectos adversos sobre la salud, y en parte debido al alto costo unitario, que es cerca de 10 veces superior al del cloro.





La eficacia del yodo contra las bacterias, los virus, quistes de amebas y otros microorganismos de enfermedades transmitidas por el agua es bien conocida, si bien esta acción, al igual que en el caso del cloro se reduce cuando el pH es alto aunque, a diferencia de este, su eficacia contra los virus aumenta al incrementarse el pH.

La combinación del yodo con el cloro posee, aparentemente, un efecto sinérgico y juntos, aún a bajas dosis, manifiestan una acción desinfectante superior a la de cada uno por separado, siendo especialmente eficaz esta asociación sobre microorganismos resistentes al cloro.

- **Bromo:** Tiene características químicas y desinfectantes similares a las del cloro. Parece poco probable que remplace al cloro, puesto que es más costoso y, además, comercialmente escaso. Por otra parte, por estar involucrado en la formación de hidrocarburos halogenados y por la falta de experiencia en su uso, es poco factible su uso como desinfectante de aguas.

- **Plata:** La plata coloidal fue usada por los romanos para preservar el agua en jarras de almacenamiento, puesto que en concentraciones de 25-40  $\mu\text{g/L}$  es un buen desinfectante. Tiene pocas posibilidades de uso intensivo por su alto costo. Para desinfección de caudales pequeños existen equipos comerciales dotados con un lecho o columna de carbón activado impregnado de plata, donde el agua al entrar en contacto con la plata desprende cantidades desinfectantes de plata de 25-40  $\mu\text{g/L}$ .

- **Ozono:** El ozono,  $\text{O}_3$ , es una forma alotrópica del oxígeno producida mediante el paso del oxígeno o aire seco a través de una descarga eléctrica de 5000-20000 V, 50-500 Hz, con un consumo energético de 10-25 kWh/kg de  $\text{O}_3$ . Es un gas azul, muy tóxico e inestable, con olor picante de heno recién segado, y uno de los más potentes germicidas usados en tratamiento de aguas.

Las ventajas del ozono radican en su alta efectividad germicida, su habilidad para remover muchos problemas de color, olor y sabor, y en que su potencia no se ve



alterada por los compuestos de amoníaco ni por el pH. Como ventaja y desventaja, tiene que, como el oxígeno es poco soluble en agua y debido a su inestabilidad no deja residual en ella, o sea que una vez descompuesto el único material residual es más oxígeno disuelto. Además, el ozono ha de producirse *in situ* mediante generadores de ozono de alto consumo eléctrico, lo cual ha limitado su uso. En general, se ha encontrado que el ozono iguala o excede las características germicidas del cloro y que en la mayor parte de los casos un residual de 0.1 mg/L durante cinco minutos es apropiado para desinfectar aguas con alto contenido orgánico y libres de material suspendido.

Dadas las características del ozono y del cloro, es razonable pensar en el esquema más apropiado de desinfección consiste en combinar la ozonización y la cloración. [2]

## **2.7. HIDRAULICA APLICADA A LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO**

### **2.7.1 Tipos de Flujo**

En las unidades de tratamiento, hidráulicamente se pueden distinguir dos tipos de flujo:

- 1.- Flujo discontinuo: consiste en llenar la unidad, dejar transcurrir un período de tiempo mientras se produce el proceso correspondiente, y entonces vaciar la unidad, para comenzar un nuevo ciclo.
- 2.- Flujo continuo: es un flujo constante, sin interrupciones.

A su vez el flujo continuo puede ser clasificado desde el punto de vista hidráulico en flujos de tipo pistón, flujo de tipo mezclado y el flujo no ideal.

Se define como flujo de tipo pistón a aquel en el que todas las partículas del fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo; este tiempo es igual al tiempo de retención teórico. No se produce mezcla entre el fluido que entra y el que sale. Ejemplos: vertederos, floculadores hidráulicos, etc.



En cambio se define como flujo tipo mezcla a aquellos en los que se producen una mezcla parcial o total del fluido que se encuentra en la unidad. Ejemplos: unidades de floculación mecánica y sedimentación.

Los flujos pistón y mezclado son dos fenómenos que coexisten en la realidad siendo extremos ideales opuestos.

El flujo no ideal, es una combinación de los flujos anteriores, con otras posibles alteraciones como zonas muertas, cortocircuitos y recirculación.

En el comportamiento real de un reactor muchas veces nos encontramos además de los tipos de flujo antes descritos con fenómenos conocidos como las zonas muertas, y los cortocircuitos.

Las zonas muertas, se pueden definir como el volumen del reactor en los que la velocidad del flujo es cero y el tiempo de retención infinito. Es decir es un volumen que se queda en reposo dentro del reactor.

Los cortocircuitos, en cambio se definen como aquella parte del flujo que tiene tiempo de retención igual a cero y velocidad infinita. Es decir, es un volumen de agua que entra y sale del reactor instantáneamente. [14]

### **2.7.2. Influencias del Tiempo de Retención.**

Tradicionalmente se ha empleado en el diseño de unidades de mezcla coagulación y decantación, el parámetro denominado "Tiempo o período de retención", que es una variable significativa para controlar el desarrollo de la transferencia o reacciones involucradas y es de mucha importancia que la masa del fluido sometida a tratamiento permanezca el tiempo adecuado para conseguir la mejor eficiencia en las diferentes unidades.

La magnitud de la permanencia puede ser muy variable: en el orden de segundos en la aireación por difusión de unidades de mezcla rápida; minutos en los floculadores y filtros rápidos; horas en las unidades de decantación y filtros lentos días en la purificación natural de las fuentes superficiales; semanas en la digestión



anaeróbica de lodos producidos en el tratamiento de aguas servidas; y meses aún años en la estabilización bental de depósitos en ríos y lagos.

El tiempo que permanece la masa líquida en un reactor de flujo discontinuo, puede ser reproducido en un reactor de flujo a pistón. En este último caso el período de retención se conoce como tiempo teórico “ $t_0$ ” y viene definido por la expresión:

$$T_0 = \frac{V}{Q} = \frac{\text{Volumen Util Del Reactor}}{\text{Caudal En Pr oceso}}$$

En cambio para las unidades de tratamiento con flujo continuo que no se aproximen al flujo a pistón, el período de retención termina siendo un concepto abstracto y  $T_0$  pueden entenderse aproximadamente como el “tiempo promedio en que el fluido, de caudal  $Q$  permanece en un reactor de volumen  $V$ ”. [13]

### 2.7.3. Trazadores en el Estudio Hidráulico de Reactores

El objetivo de realizar ensayos con trazadores, es el de conocer el comportamiento hidráulico de los reactores, a través de la determinación de la proporción de flujo tipo pistón y mezclado, de cortocircuitos y de zonas muertas.

Para la realización de estas pruebas, se pueden emplear sustancias como iones (cloruros, fluoruros o nitratos), colorantes (rodamina, fluoreceína) y elementos radioactivos (isótopos).

Estas sustancias son inyectadas al afluente de un reactor, y luego, en el efluente de la unidad se registran los datos del parámetro, con su respectivo tiempo de aparición.

La realización de pruebas con sustancias trazadoras se las puede ejecutar de dos formas:

1.- Inyectando el trazador en forma instantánea



## 2.- Inyectando el trazador en forma continua.

La primera, aplica una determinada concentración del trazador en un tiempo muy corto, que tiene que ser inferior a 1/30 del tiempo teórico de retención de la unidad.

La segunda, aplica una determinada concentración de manera continua durante un tiempo mayor a 3 veces el tiempo teórico de retención de la unidad.

Los datos que se obtienen, midiendo el parámetro escogido de la sustancia trazadora, pueden ser analizados con diferentes teorías, las cuales mostrarán el comportamiento hidráulico que tiene el reactor analizado.

Dependiendo del tipo de flujo que se encuentra en un reactor, al graficar en las abscisas el tiempo y en las ordenadas los datos de concentración del trazador registrados a la salida del reactor, se obtienen curvas que caracterizan al tipo de flujo.

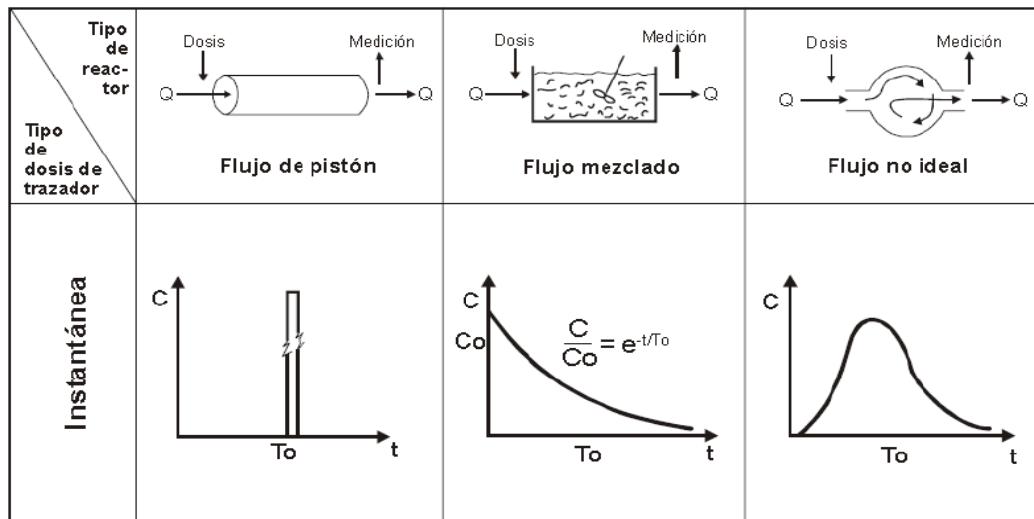


Gráfico 2-35. Curvas de concentración características dependiendo del tipo de flujo.

FUENTE: Sústag-Etapa, Tesina, Universidad de Cuenca 2009 [14]



### ***Limitaciones de las pruebas con trazadores.***

Las pruebas con trazadores presentan algunas limitaciones que deben ser tomadas en cuenta:

- Los datos obtenidos con las pruebas con trazadores se refieren al momento en el que la prueba fue ejecutada, es decir es representativa de las condiciones en las que se ejecutó.
- Además, la eficiencia de los reactores no depende solamente del comportamiento hidráulico de la unidad, sino que también depende de las químicas.

[14]

#### **2.7.3.1 Sustancias Trazadoras.**

Las sustancias empleadas como trazadoras deben cumplir los siguientes requisitos:

- Asociación directa con el líquido, es decir solubilidad inmediata y total.
- No biodegradables
- No absorbibles en sólidos
- Fácil preparación
- Costo reducido
- Análisis de alta sensibilidad
- Alta recuperación (90%)
- Que se pueda efectuar dos pruebas de trazadores al mismo tiempo
- Una fácil programación de muestreo
- De fácil manejo en el campo



Entre las sustancias utilizadas como trazadores en el estudio de fuentes de agua y estructuras de tratamiento se incluyen las siguientes:

- a. Colorantes como fluoresceína, rodamina, rodamina WT
- b. Iones como cloruros, especialmente de sodio y potasio; fluoruros y nitratos de litio y sodio.
- c. Ácidos como clorhídrico y benzoico
- d. Isótopos radioactivos.

[13]



### **CAPITULO 3**

## OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA EN LA PLANTA DE SÚSTAG

### **3.1. ENSAYO DE TRAZADORES**

Las pruebas fueron realizadas para un caudal de 400 litros/s, que es casi el caudal de diseño. Se emplearon alrededor de 100 Kg. de sal (25 fundas de 2 Kg. c/u). Fueron determinados los tiempos de retención real y se compararon con los tiempos de retención teóricos de: la mezcla rápida, floculadores (mecánico e hidráulico) y de los sedimentadores.

Estos ensayos se detallan detenidamente en el capítulo 4.

### **3.2. PRUEBAS DE LABORATORIO**

#### **3.2.1. Descripción de equipos, materiales y métodos de ensayo**

##### **3.2.1.1. Ensayos de Pruebas de Jarras**

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza comúnmente en los laboratorios de una planta de tratamiento. Con este método se determina las condiciones de operación óptimas para el tratamiento de agua. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidad de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en la planta. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y/o floculación y sedimentación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

#### **Descripción del equipo usado para pruebas de jarras.**

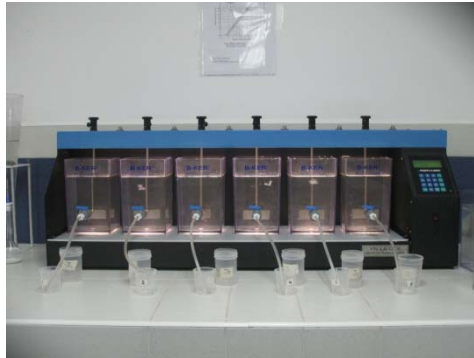
El equipo consiste en un agitador mecánico normalizado provisto con 6 paletas, capaz de operar a velocidades variables. Las unidades de agitadores múltiples, como la que se ilustra en la figura 3-1, cuenta con iluminación inferior para





apreciar la formación de flóculos y un microprocesador que permite programar tiempos y gradientes.

Figura 3-1 Equipo de jarras.



FUENTE: AUTOR

### ***Métodos de ensayo:***

Para todos los ensayos que se describirán en este capítulo se deben tener en consideración los siguientes aspectos:

1.- Medir las condiciones iniciales del agua cruda.

Tabla 3-1  
Condiciones iniciales  
del agua cruda

UC	NTU	pH	Alcalinidad

2.- Calibrar el equipo a las siguientes condiciones (Tabla 3-2):



Tabla 3-2. Calibración del equipo de jarras.

Equipo de jarras	Tiempo de retención	Gradiente Seg <sup>-1</sup>	rpm
Memoria 1	35''	1200	300
Memoria 2	2'30''	64	75
Memoria 3	9'15''	23	32
Memoria 4	7'45''	20	28
Sedimentación	25'	-	-

FUENTE: AUTOR

Los gradientes y tiempos empleados para estas pruebas son los mismos que se emplean en planta y que fueron determinados en las pruebas de trazadores.

### 3.2.1.1.1. Ensayos con Sulfato de Aluminio (Tipo B Líquido)

#### Ensayo 1

**Objetivo:** Determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio.

**Procedimiento:**

- 1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 6 jarras.
- 2.- Preparamos las dosis de Sulfato de Aluminio, esto dependerá del tipo de agua a analizar.
- 3.- Colocamos las jarras en el equipo, centramos las mismas y empezamos la prueba, una vez transcurridos los 20 primeros segundos de la mezcla rápida (M1) adicionamos el sulfato de aluminio simultáneamente en las 6 jarras, una vez transcurridos M2, M3 y M4, tomamos el tiempo de sedimentación.



4.- Una vez transcurridos los 25 minutos de sedimentación purgamos simultáneamente las 6 jarras, y tomamos simultáneamente las muestras en vasos de aproximadamente 100 ml.

5.- Procedemos a leer el color y la turbiedad de cada una de las muestras en los correspondientes equipos.

6.- Determinamos la jarra que posea el menor color y/o turbiedad, y este será el valor óptimo y de la cuál medimos también el pH final.

**Resultados óptimos:** Luego de haber realizado las pruebas correspondientes, durante el período de Septiembre 2009 hasta Abril de 2010, la turbiedad osciló entre 1.00 y 240 NTU. El color en cambio se encontró dentro de las 13 a 1800 unidades de color (UC).

**Tabla 3-3. Resultados óptimos de dosificación de Sulfato de Aluminio.**

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2,07	30	0	0,31	7,14
2	19/10/2009	37	2,27	40	5	0,792	6,97
3	22/10/2009	43	2,41	40	9	0,805	6,95
4	16/11/2009	25	1,01	30	13	0,98	7,58
5	23/11/2009	86	11,8	90	8	0,58	6,8
6	26/11/2009	45	2,28	50	4	0,78	6,62
7	30/11/2009	92	7	65	14	1,41	6,6
8	02/12/2009	235	27,5	70	10	1,43	6,3
9	11/12/2009	1000	221	80	18	2,85	6,58
10	24/12/2009	119	10	70	12	1,28	6,38
11	31/12/2009	224	34,1	65	14	0,72	6,42
12	12/01/2010	131	12	80	9	1,32	5,9
13	22/02/2010	103	1,71	50	12	0,65	6,45
14	26/02/2010	404	27	90	8	0,75	5,73
15	01/04/2010	370	36	80	10	1,56	5,91
16	02/04/2010	720	79	120	3	1,63	5,03
17	03/04/2010	1720	240	120	18	2,52	4,23

**Nota:** Estos valores se obtuvieron para una concentración del Sulfato de Aluminio al 20%V/V

FUENTE: AUTOR



Para analizar estos resultados, se dividieron los datos obtenidos en 2 grupos:

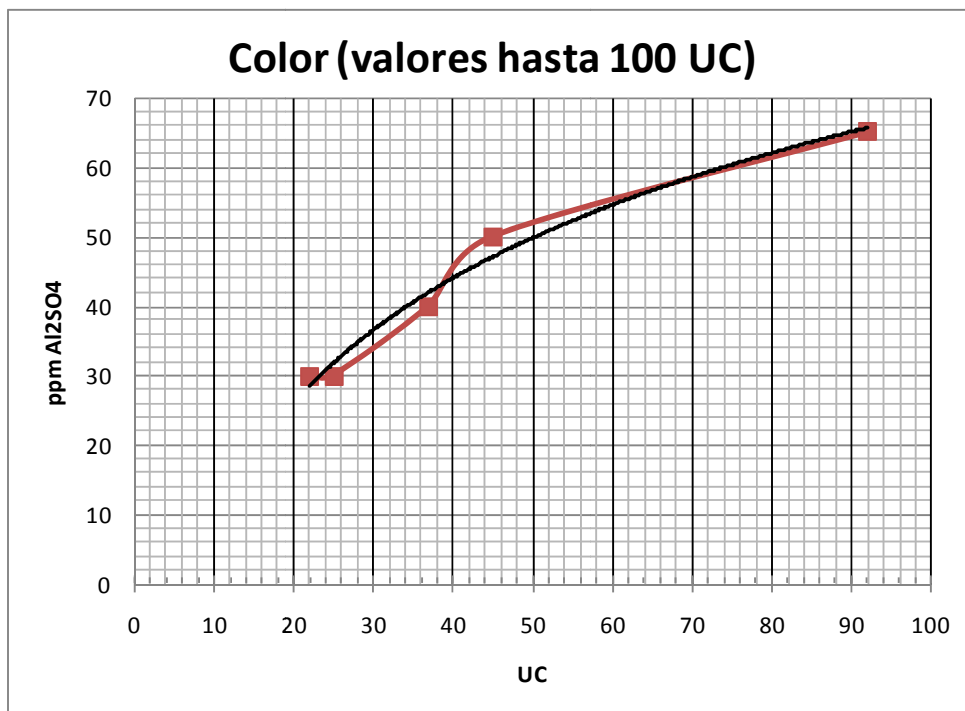
- El grupo A, contiene la información de aguas con valores bajos de color (hasta 100 UC) y turbiedad (10NTU):

Tabla 3-4. Grupo A. Resultados óptimos de dosificación de Sulfato de Aluminio, en aguas con hasta 100 UC.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMO	FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2.07	30	0	0.31	7.14
2	16/11/2009	25	1.01	30	13	0.98	7.58
3	19/10/2009	37	2.27	40	5	0.792	6.97
4	26/11/2009	45	2.28	50	4	0.78	6.62
5	30/11/2009	92	7	65	14	1.41	6.6

FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-2. Grupo A. Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio vs. UC.



FUENTE: AUTOR

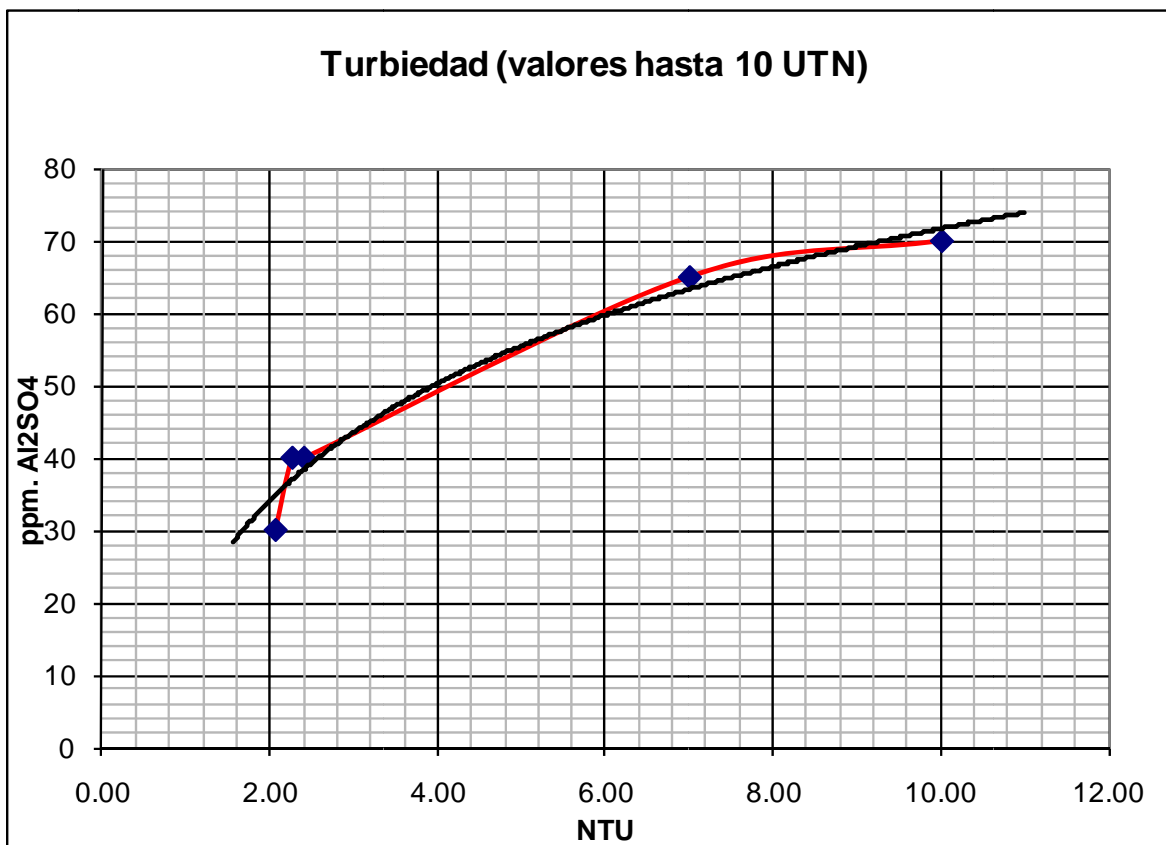


Tabla 3-5. Grupo A. Resultados óptimos de dosificación de Sulfato de Aluminio, en aguas con hasta 10 NTU.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMO	FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2.07	30	0	0.31	7.14
2	19/10/2009	37	2.27	40	5	0.792	6.97
3	22/10/2009	43	2.41	40	9	0.805	6.95
4	30/11/2009	92	7	65	14	1.41	6.6
5	24/12/2009	119	10	70	12	1.28	6.38

FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-3. Grupo A. Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio vs. NTU



FUENTE: AUTOR



- El grupo B, contiene la información de aguas con valores elevados de color (valores entre 100 y 2000 UC) y turbiedad (valores entre 10 y 240 NTU):

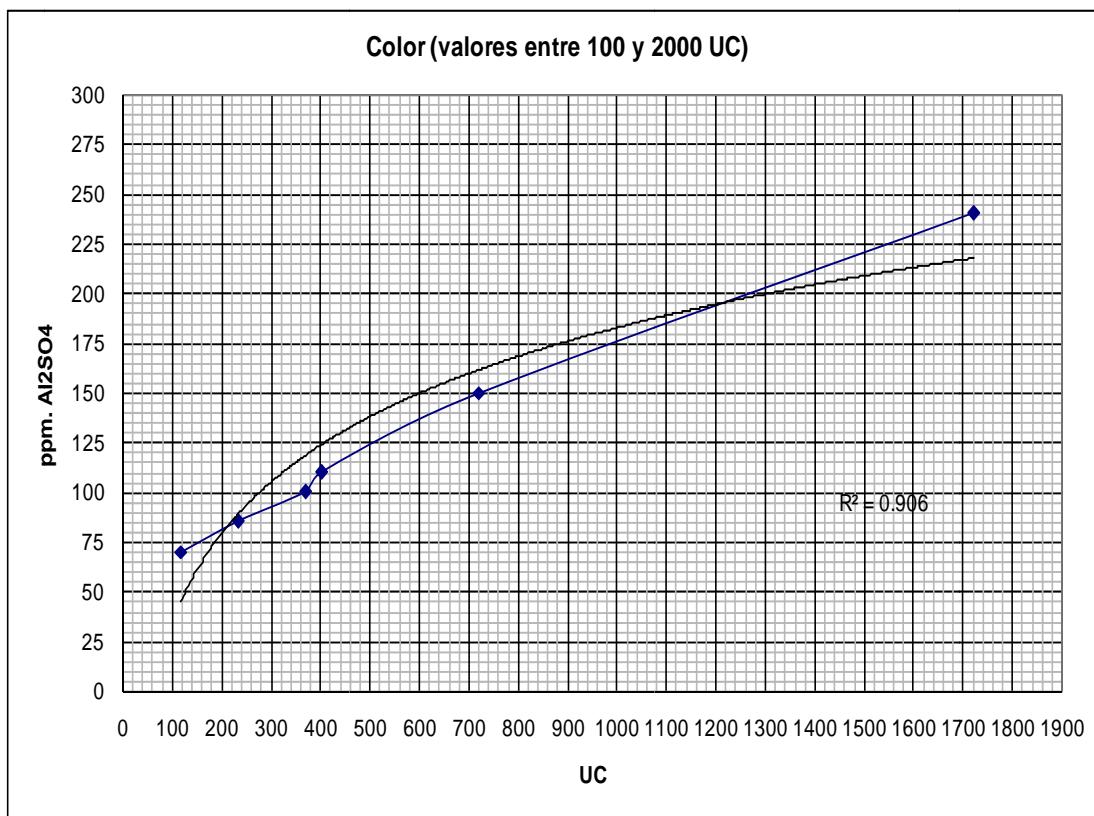
*Tabla 3-6. Grupo B. Resultados óptimos de dosificación de Sulfato de Aluminio, en aguas con valores entre 100 y 2000 de color.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	UC	NTU	pH
1	24/12/2009	119	10	70	12	1.28	6.38
2	02/12/2009	235	27.5	85	10	1.43	6.3
3	01/04/2010	370	36	100	10	1.56	5.91
4	26/02/2010	404	27	110	8	0.75	5.73
5	02/04/2010	720	79	150	3	1.63	5.03
6	03/04/2010	1720	240	240	18	2.52	4.23

\* Estos resultados se obtuvieron con una concentración de Sulfato de Aluminio al 20%

FUENTE: AUTOR

*3-4. Grupo B. Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio vs. UC.*



FUENTE: AUTOR



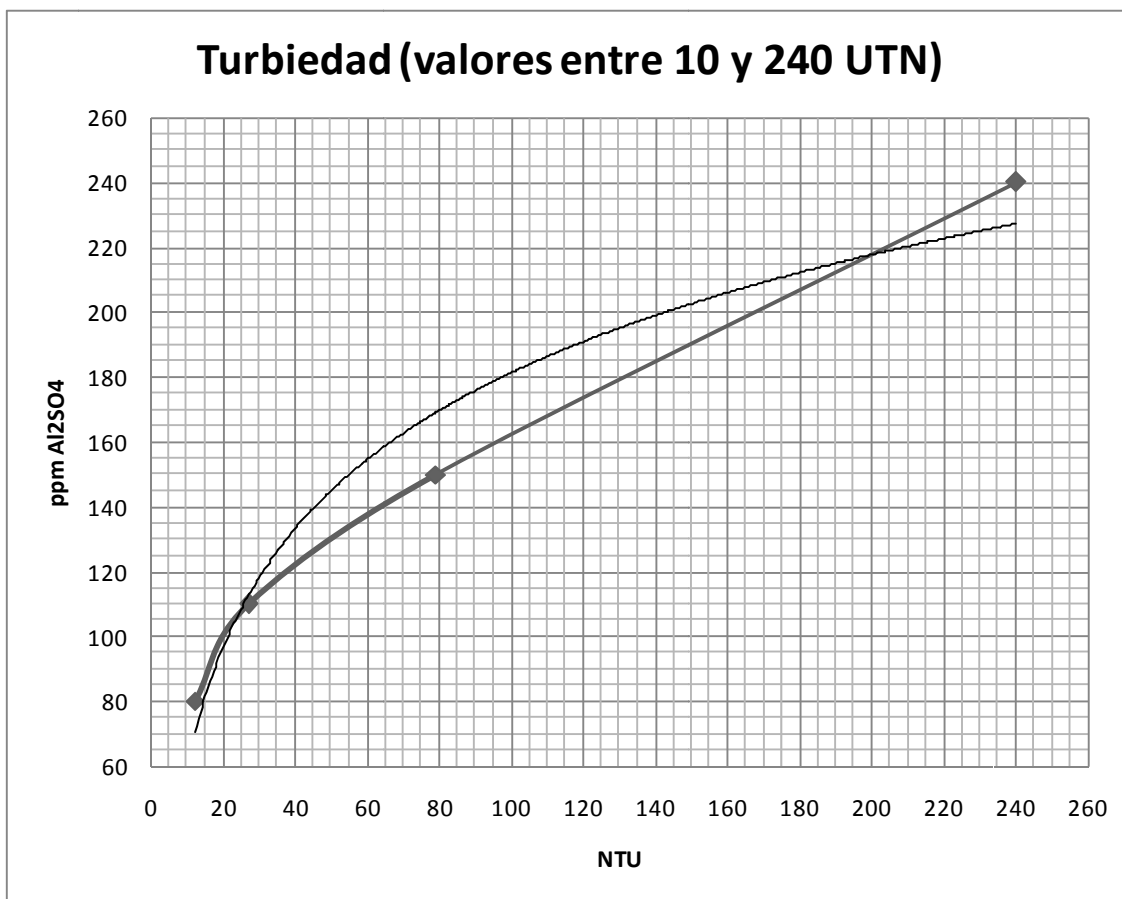
Tabla 3-7. Grupo B. Resultados óptimos de dosificación de Sulfato de Aluminio, en aguas con valores entre 10 y 240 de turbiedad.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	UC	NTU	pH
1	12/01/2010	131	12	80	9	1.32	5.9
2	26/02/2010	404	27	110	8	0.75	5.73
3	02/04/2010	720	79	150	3	1.63	5.03
4	03/04/2010	1720	240	240	18	2.52	4.23

\* Estos resultados se obtuvieron con una concentración de Sulfato de Aluminio al 20%

FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-5. Grupo B. Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio vs. NTU.



FUENTE: AUTOR



## GRUPO A

Para aguas con valores de hasta 100 UC (tabla 3-4, gráfico 3-2 y gráfico 3-3), las dosis de sulfato oscilan entre 30-65 ppm.

Mientras que cuando se trata de los valores de turbiedad de hasta 10 NTU (tabla 3-5 y gráfico 3-3), esta dosificación varía entre 30-70 ppm.

Nótese que en general la tratabilidad de estas aguas con los valores de color y turbiedad que componen este grupo se da con una dosificación que se encuentra entre los 30-70 ppm.

## GRUPO B

Para aguas con valores entre 100-2000 UC (tabla 3-6 y gráfico 3-4), la dosis de sulfato varía entre 70-240 ppm.

Cuando la turbiedad varía entre 10 y 240 (tabla 3-7 y gráfico 3-5), la dosis de sulfato oscila entre 80-240 ppm.

De la misma manera nótese que para tratar este grupo de aguas con color y turbiedad más elevados las dosificaciones en general varían entre 70-240 ppm.

***NOTA: LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO A1***

## **Ensayo 2**

**Objetivo:** Determinar la concentración óptima de sulfato de aluminio.

### **Procedimiento:**

1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 4 jarras que se van a usar.

1.- Repetimos el procedimiento anterior, en cada una de las jarras se añadirá la dosis óptima de sulfato de aluminio obtenida en el ensayo anterior pero variando la concentraciones de la solución de sulfato





1.- Repetimos el procedimiento anterior, en cada una de las jarras se añadirá la dosis óptima de sulfato de aluminio obtenida en el ensayo anterior pero variando la concentraciones de la solución de sulfato

2.- Se comparan los resultados y la jarra que nos de la menor turbiedad y color será la óptima de la cuál se medirá también el pH final

### Resultados:

Tabla 3-6. Concentración óptima de Sulfato de Aluminio.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS		FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	Conc. sulfato % V/V	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2,07	30	5	0	0,31	7,14
2	19/10/2009	37	2,27	40	5	5	0,792	6,97
3	22/10/2009	43	2,41	40	5	9	0,805	6,95
4	16/11/2009	25	1,01	30	10	13	0,98	7,58
5	23/11/2009	86	11,8	90	20	8	0,58	6,8
6	26/11/2009	45	2,28	50	20	4	0,78	6,62
7	30/11/2009	92	7	65	10	14	1,41	6,6
8	02/12/2009	235	27,5	70	5	10	1,43	6,3
9	11/12/2009	1000	221	80	5	18	2,85	6,58
10	24/12/2009	119	10	70	20	12	1,28	6,38
11	31/12/2009	224	34,1	65	10	14	0,72	6,42
12	12/01/2010	131	12	80	20	9	1,32	5,9
13	22/02/2010	103	1,71	50	20	12	0,65	6,45
14	26/02/2010	404	27	90	20	8	0,75	5,73
15	01/04/2010	370	36	80	20	10	1,56	5,91
16	02/04/2010	720	79	120	20	3	1,63	5,03
17	03/04/2010	1720	240	120	40	18	2,52	4,23

FUENTE: AUTOR

Para interpretar los resultados de este ensayo se dividió en 2 grupos que se detallan a continuación:

Grupo A: Comprende aguas de hasta 100 UC, cuyas concentraciones óptimas varían entre el 5-10%.



*Tabla 3-7. Concentración óptima de Sulfato de Aluminio en aguas de hasta 100 UC*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Conc.sulfato %V/V	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2.07	5	0	0.31	7.14
2	19/10/2009	37	2.27	5	5	0.792	6.97
3	22/10/2009	43	2.41	5	9	0.805	6.95
4	16/11/2009	25	1.01	10	13	0.98	7.58
5	30/11/2009	82	7	10	14	1.41	6.6

FUENTE: AUTOR

Grupo B: Comprende aguas desde 100-2000 UC, cuyas concentraciones óptimas varían entre el 20-40%.

*Tabla 3-8. Concentración óptima de Sulfato de Aluminio en aguas desde 100-2000 UC.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Conc.sulfato %	UC %V/V	NTU	pH
1	22/02/2010	103	1.71	20	12	0.65	6.45
2	24/12/2009	119	10	20	12	1.28	6.38
3	12/01/2010	131	12	20	9	1.32	5.9
4	01/04/2010	370	36	20	10	1.56	5.91
5	26/02/2010	404	27	20	8	0.75	5.73
6	02/04/2010	720	79	20	3	1.63	5.03
7	03/04/2010	1720	240	40	18	2.52	4.23

FUENTE: AUTOR

## GRUPO A

Para aguas de hasta 100 UC la concentración óptima oscila entre el 5-10%. En este caso se debe tener en consideración la capacidad de las bombas para la



puesto que trabajar bajo estas condiciones implicaría el monitoreo constante por parte de un operario en esta unidad, causando aumento en los costos de producción.

## GRUPO B

En cambio para aguas con colores entre 100-2000 UC la concentración óptima de sulfato varía entre 20-40%. En la práctica solo se utiliza la concentración del sulfato al 20% debido a cuestiones de diseño y optimización de recursos.

**NOTA: LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO A1**

### **Ensayo 4**

**Objetivo:** Determinar el punto de aplicación óptimo de sulfato de aluminio. Sabiendo que se tienen 2 puntos de aplicación de sulfato en la zona de ingreso a la planta y un tercero que podría implementarse junto al polímero, por lo que es necesario definir el mejor en función de la calidad de agua.

### **Procedimiento:**

- 1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 3 jarras que se van a usar.
- 2.- En cada una de las jarras se añadirá la dosis óptima de sulfato de aluminio, con la concentración óptima del mismo y con el pH óptimo obtenido en el ensayo 3, que se describe más adelante.
- 3.- Colocamos las jarras en el equipo, centramos las mismas y empezamos la prueba, una vez transcurridos los 5 primeros segundos de la mezcla rápida añadimos el sulfato de aluminio en la jarra 1, pasados 20 segundos de iniciada la mezcla rápida adicionamos el sulfato de aluminio en la jarra 2, y una vez transcurridos 30 segundos de haber empezado la mezcla rápida colocamos el sulfato de aluminio en la jarra 3. Una vez transcurridos M3 y M4, tomamos el tiempo de sedimentación.



4.- Una vez transcurridos los 25 minutos de sedimentación purgamos simultáneamente las 3 jarras, y procedemos a tomar las muestras en vasos de aproximadamente 100 ml.

5.- Procedemos a leer el color y la turbiedad de las muestras de las tres jarras, en los correspondientes equipos.

6.- Determinamos la jarra que posea el menor color y turbiedad, y este será el valor óptimo del cuál medimos el pH final.

### Resultados:

*Tabla 3-9. Punto de aplicación óptimo del Sulfato de Aluminio.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS				FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	Conc. sulfato %VV	pH	Tiempo MR	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2,07	30	5	8,4	20 seg	0	0,31	7,14
2	19/10/2009	37	2,27	40	5	6,98	20 seg	5	0,792	6,97
3	22/10/2009	43	2,41	40	5	7,8 *	20 seg	9	0,805	6,95
4	16/11/2009	25	1,01	30	10	7,2	20 seg	13	0,98	7,58
5	23/11/2009	86	11,8	90	20	7,5	20 seg	8	0,58	6,8
6	26/11/2009	45	2,28	50	20	7,18	20 seg	4	0,78	6,52
7	30/11/2009	92	7	65	10	7,3 *	20 seg	14	1,41	6,6
8	02/12/2009	235	27,5	70	5	7,3 *	5 seg	10	1,43	6,3
9	11/12/2009	1000	221	80	5	7,42 *	20 seg	18	2,85	6,58
10	24/12/2009	119	10	70	20	7,11 *	5 seg	12	1,28	6,38
11	31/12/2009	224	34,1	65	10	7,5 *	5 seg	14	0,72	6,42
12	12/01/2010	131	12	80	20	6,64 *	5 seg	9	1,32	5,9
13	22/02/2010	103	1,71	50	20	7,5	30 seg	12	0,65	6,45
14	26/02/2010	404	27	90	20	6,7	5 seg	8	0,75	5,73
15	01/04/2010	370	36	80	20	6,81*	5 seg	10	1,56	5,91
16	02/04/2010	720	79	120	20	7,71	5 seg	3	1,63	5,03
17	03/04/2010	1720	240	120	40	7,30	20 seg	18	2,52	4,23

Nota: Los valores de pH con \*, representan el valor de pH normal con el que el agua cruda llega a la planta, es decir no han sido sujetos a adición de lecheada de cal, ácido clorhídrico o de hidróxido de sodio.

FUENTE: AUTOR

Para interpretar los resultados de este ensayo se dividió en 3 grupos que se detallan a continuación:

Grupo A: Comprende agua con color de hasta 100 UC.



*Tabla 3-10. Punto de aplicación óptimo del Sulfato de Aluminio para aguas de hasta 100 UC.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Tiempo MR	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2.07	20 seg	0	0.31	7.14
2	16/11/2009	25	1.01	20 seg	13	0.98	7.58
3	19/10/2009	37	2.27	20 seg	5	0.792	6.97
4	22/10/2009	43	2.41	20 seg	9	0.805	6.95
5	26/11/2009	45	2.28	20 seg	4	0.78	6.62
6	23/11/2009	86	11.8	20 seg	8	0.58	6.8
7	30/11/2009	92	7	20 seg	14	1.41	6.6

FUENTE: AUTOR

Grupo B: Comprende agua con color entre 100-1000 UC.

*Tabla 3-11. Punto de aplicación óptimo del Sulfato de Aluminio para aguas entre 100-1000 UC.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Tiempo MR	UC	NTU	pH
1	24/12/2009	119	10	5 seg	12	1.28	6.38
2	12/01/2010	131	12	5 seg	9	1.32	5.9
3	31/12/2009	224	34.1	5 seg	14	0.72	6.42
4	02/12/2009	235	27.5	5 seg	10	1.43	6.3
5	01/04/2010	370	36	5 seg	10	1.56	5.91
6	26/02/2010	404	27	5 seg	8	0.75	5.73
7	02/04/2010	720	79	5 seg	3	1.63	5.03

FUENTE: AUTOR

Grupo C: Comprende agua con color entre 1000-2000 UC.

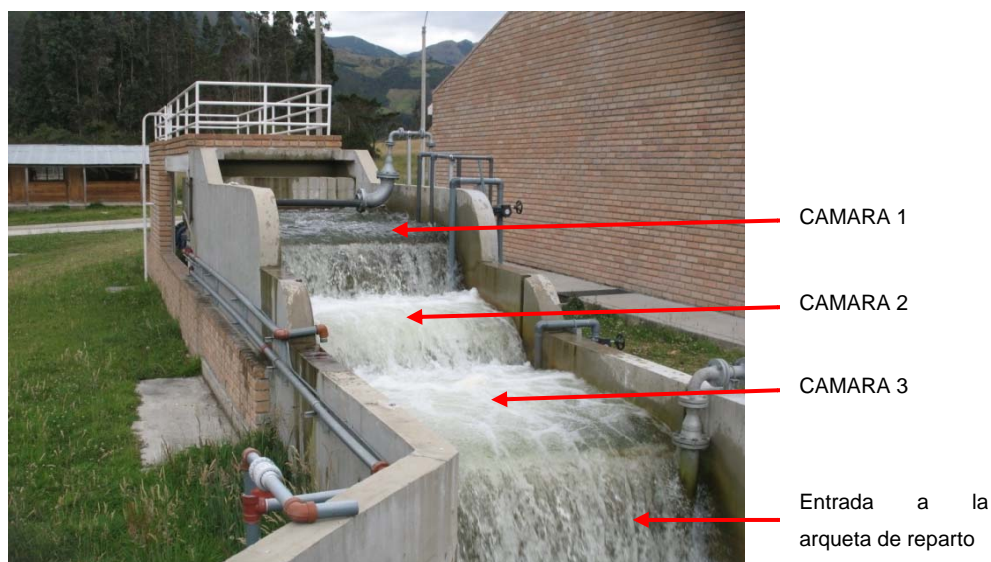
*Tabla 3-12 Punto de aplicación óptimo del Sulfato de Aluminio para aguas entre 1000-2000 UC.*



MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Tiempo MR	UC	NTU	pH
1	11/12/2009	1000	221	20 seg	18	2.85	6.58
2	03/04/2010	1720	240	20 seg	18	2.52	4.23

FUENTE: AUTOR

*Gráfico 3-6 Puntos de aplicación del Sulfato de Aluminio.*



FUENTE: AUTOR

### GRUPO A

Como se observa en la tabla 3-10, para aguas con colores de hasta 100 UC, se tiene que el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio está a los 20 segundos antes de que termine la mezcla rápida (cámara 2, gráfico 3-6).

### GRUPO B

Para aguas con colores entre 100-1000 UC (tabla 3-11), se tiene que el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio es a los 5 segundos antes que termine la mezcla rápida (entrada a la arqueta de reparto, gráfico 3-6).

### GRUPO C



Para aguas con colores entre 1000-2000 UC (tabla 3-12), nuevamente se tiene que el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio se encuentra a los 20 segundos antes de que termine la mezcla rápida (cámara 2, gráfico 3-6).

Cabe resaltar que además de los puntos de aplicación de sulfato de aluminio en la cámara 2 y 3, también se probó en el resalto antes del ingreso a la arqueta de reparto que de un tiempo de mezcla rápida de 5 segundos, siendo necesario implementar un punto de aplicación a la entrada a la arqueta de reparto.

**NOTA: LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO A1**

### **3.2.1.1.2. Ensayos con Hidróxido de Sodio y Ácido Clorhídrico.**

Estos ensayos se indican a continuación, tienen por objeto cambiar el pH del agua cruda y establecer el rango de pH con el que mejora la floculación.

#### **Ensayo 3**

**Objetivo:** Determinar el pH óptimo con el cual se tiene una mejor remoción de color y turbiedad en el agua cruda.

#### **Equipos, Materiales y Reactivos:**

##### ***Equipos***

- Equipo de Jarras
- Colorímetro
- Turbidímetro
- pH-metro
- Agitador mecánico



### **Materiales**

- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 ml.

### **Reactivos**

Sulfato de Aluminio

Ácido Clorhídrico 10%

Hidróxido de Na 1N

### **Procedimiento:**

1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 6 jarras que se van a usar. Bajamos el pH con la adición de Acido clorhídrico en las 2 primeras jarras, la tercera jarra se mantiene con el pH normal, mientras que aumentamos el pH con la adición de Hidróxido de Sodio en las últimas 3 jarras (muestras 1-7, ver anexo A1).

Para descartar el uso del ácido como un paso en el proceso de tratamiento se cambió el esquema de trabajo anterior (muestras 8-12, ver anexo A1), en donde se bajó el pH de las 3 primeras jarras, el pH de la cuarta jarra se mantuvo constante mientras que se aumentó el pH de las 2 últimas jarras

A partir de la muestra 13 hasta la 17, el pH se varió únicamente con la lechada de cal.

2.- En cada una de las jarras se añadirá la dosis óptima de sulfato de aluminio, con la concentración óptima del mismo.

3.- Colocamos las jarras en el equipo, centramos las mismas y empezamos la prueba, una vez transcurridos los 5 primeros segundos de la mezcla rápida añadimos el sulfato de aluminio simultáneamente en las 6 jarras. Una vez transcurridos M3 y M4, tomamos el tiempo de sedimentación.

4.- Una vez transcurridos los 25 minutos de sedimentación purgamos simultáneamente las 6 jarras, y procedemos a tomar las muestras en vasos de aproximadamente 100 ml.





5.- Procedemos a leer el color y la turbiedad de las muestras.

6.- Determinamos la jarra que posea el menor color y turbiedad, y este será el valor óptimo del cuál medimos también el pH final.

## Resultados:

Tabla 3-13. pH óptimo.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS			FINAL		
		UC	NTU	Dosis sulfato ppm	Conc.sulfato %V/V	pH	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2,07	30	5	8,4	0	0,31	7,14
2	19/10/2009	37	2,27	40	5	6,98	5	0,792	6,97
3	22/10/2009	43	2,41	40	5	7,8 *	9	0,805	6,95
4	16/11/2009	25	1,01	30	10	7,2	13	0,98	7,58
5	23/11/2009	86	11,8	90	20	7,5	8	0,58	6,8
6	26/11/2009	45	2,28	50	20	7,18	4	0,78	6,62
7	30/11/2009	92	7	65	10	7,3 *	14	1,41	6,6
8	02/12/2009	235	27,5	70	5	7,3 *	10	1,43	6,3
9	11/12/2009	1000	221	80	5	7,42 *	18	2,85	6,58
10	24/12/2009	119	10	70	20	7,11 *	12	1,28	6,38
11	31/12/2009	224	34,1	65	10	7,5 *	14	0,72	6,42
12	12/01/2010	131	12	80	20	6,64 *	9	1,32	5,9
13	22/02/2010	103	1,71	50	20	7,5	12	0,65	6,45
14	26/02/2010	404	27	90	20	6,7	8	0,75	5,73
15	01/04/2010	370	36	80	20	6,84*	10	1,56	5,91
16	02/04/2010	720	79	120	20	7,71	3	1,63	5,03
17	03/04/2010	1720	240	120	40	7,30	18	2,52	4,23

Nota: Los valores de pH con \*, representan el valor de pH normal con el que el agua cruda llega a la planta, es decir no han sido sujetos a adición de lechada de cal, ácido clorhídrico o de hidróxido de sodio.

FUENTE: AUTOR

De estos resultados se puede observar que la floculación se da con valores de pH comprendidos entre 6.5-8.5 (tabla 3-13). Generalmente el agua cruda llega a la mezcla rápida con valores de pH semejantes a los ya mencionados, por lo tanto no es necesario en todos los casos ajustar el pH. Con las pruebas realizadas no es necesaria la adición de HCl, ya que a pHs menores a 6.5 no flocula. De la misma manera se debe tener especial cuidado con la adición de la lechada de cal, ya que a pHs elevados (mayores a 8.5) se requiere dosis mayores de sulfato. En la práctica no se utiliza el NaOH para elevar el pH, puesto que no se cuenta



con una línea de dilución que permita bajar la concentración del hidróxido entregado en planta, por lo que en mínimas dosis el pH se eleva notablemente dificultando la floculación, además se ha producido incrustaciones en las válvulas y en los tanques de dosificación.

**NOTA: LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO A1**

### 3.2.1.1.3. Ensayos con Cal

**Objetivo:** Determinar la concentración de cal que se debe añadir para mejorar las condiciones del agua cruda con baja alcalinidad, además determinar la dosis óptima de sulfato y polímero.

#### **Equipos, Materiales y Reactivos:**

##### ***Equipos***

- Equipo de Jarras
- Colorímetro
- Turbidímetro
- pH-metro
- Balanza

##### ***Materiales***

- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 ml.
- Elermeyer
- Balones de aforo de 100 ml
- Vasos de precipitación
- Buretas
- Soporte para buretas

##### ***Reactivos***

- Sulfato de Aluminio 20% V/V
- Polielectrolito
- Lechada de cal
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02 N



## **ENSAYO 1**

**Procedimiento:** Estas pruebas fueron realizadas con muestras de agua que poseían una alcalinidad baja.

1.- Medimos las condiciones iniciales del agua cruda (Tabla 3-6)

*Tabla 3-14. Condiciones iniciales del agua cruda.*

<b>UC</b>	<b>NTU</b>	<b>pH</b>	<b>Alcalinidad total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>
578	64.6	6.56	11.8

FUENTE: AUTOR

2.- Preparamos diferentes soluciones de cal que van desde el 1 %P/V al 6 %P/V pesando desde 1g hasta 6 g y aforando a 100 cc y colocándolos en diferentes frascos, preparamos el equipo de jarras colocando 2L de agua cruda en cada una, colocamos 1 cc de las diferentes soluciones en cada jarra y procedemos a medir el pH de cada una, colocamos 80 ppm de sulfato y 0.3 de polímero (dosis óptimas determinadas para este ensayo) en el equipo previamente calibrado con los siguientes gradientes:



Tabla 3-15. Calibración del equipo de jarras.

Equipo de jarras	Tiempo de retención	Seg-1	rpm
M1	1'	1200	300
M2	9'	64	75
M3	9'	23	32
M4	7'	20	28
Sedimentación	10'	-	-

FUENTE: AUTOR

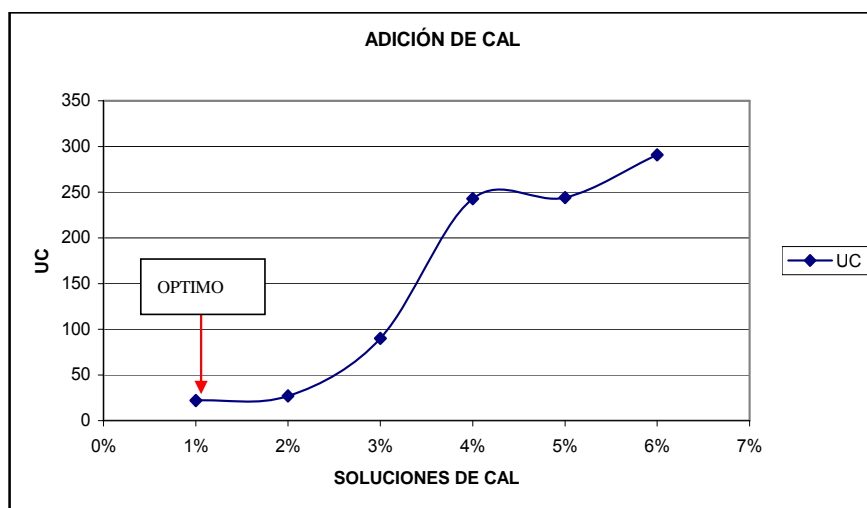
Tabla 3-16. Determinación de la concentración óptima de cal

	J1	J2	J3	J4	J5	J6
<b>CAL (1cc)</b>	1%P/V	2%P/V	3%P/V	4%P/V	5%P/V	6%P/V
<b>Alcalinidad</b>	17,71	22,63				
<b>SULFATO</b>	80	80	80	80	80	80
<b>POLIMERO</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>pH</b>	6,66	7,83	8,62	9,12	9,34	9,71
<b>UC</b>	22	27	90	243	244	291
<b>NTU</b>	1,36	2,24	5,21	15	12,6	15,4
<b>pH final</b>	4,62	5,27				



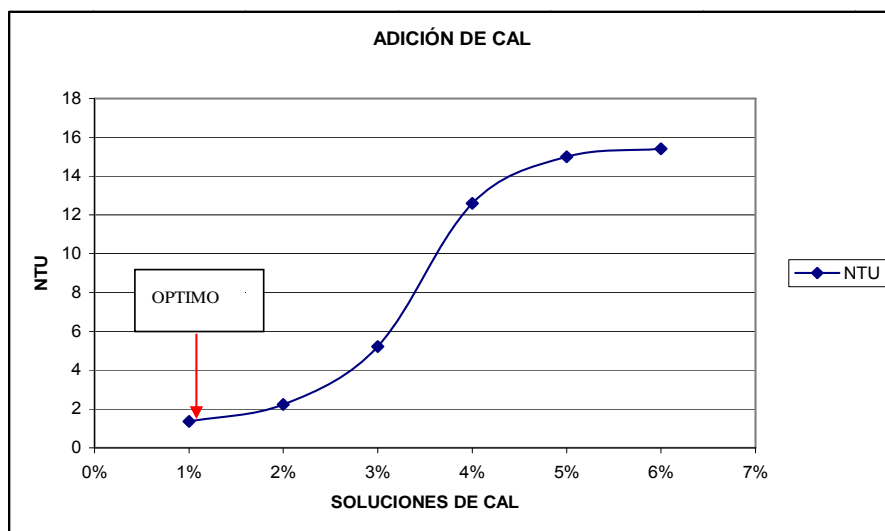
3. Una vez terminada la agitación y la sedimentación procedemos a leer tanto color y turbiedad en los respectivos equipos, estas lecturas determinan la concentración óptima de cal (1%P/V), la misma que podemos observar en los siguientes gráficos:

Gráfico 3-7. Concentración óptima de cal, en función del color.



FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-8. Concentración óptima de cal, en función de la turbiedad.



FUENTE: AUTOR



- Como se puede observar directamente en los gráficos tanto el color y la turbiedad bajan considerablemente al adicionar cal.
- La solución de cal del 1%P/V da mejores resultados que las demás

## **ENSAYO 2**

### **Procedimiento:**

1.- En este caso probamos la dosis óptima de sulfato, utilizamos en las 3 primeras jarras lechada de cal al 1%P/V y en las 3 siguientes jarras usamos lechada de cal al 2%P/V (ya que también nos dio valores aceptables de color y turbiedad).

2.- Agitamos las jarras añadiendo sulfato a los 30 seg de la Mezcla Rápida y Polímero 5 segundos antes que termine la Mezcla Rápida. Las dosis añadidas en cada jarra se detallan en la siguiente tabla:

*Tabla 3-17. Determinación de la dosis óptima de sulfato*

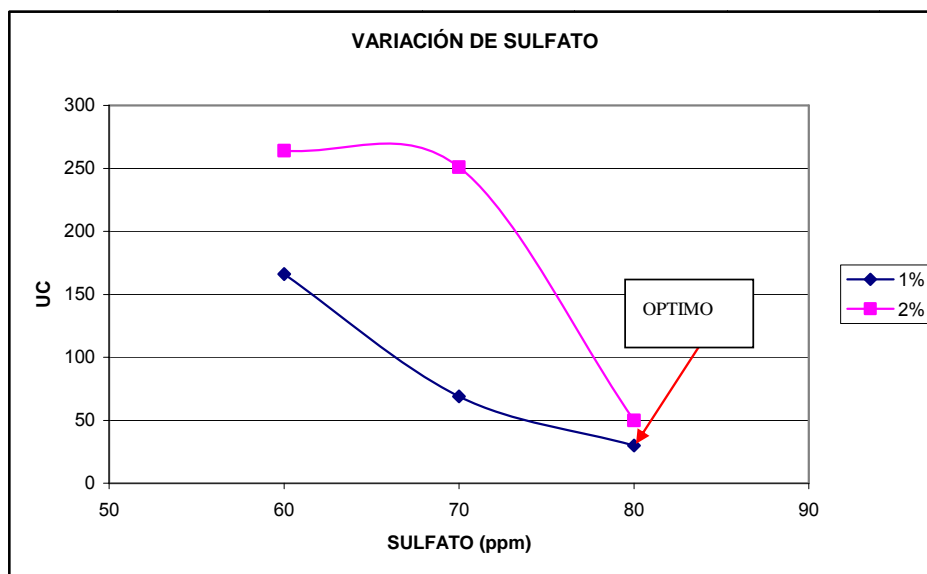
	<b>J1</b>	<b>J2</b>	<b>J3</b>	<b>J4</b>	<b>J5</b>	<b>J6</b>
<b>CAL (1cc)</b>	1%P/V	1%P/V	1%P/V	2%P/V	2%P/V	2%P/V
<b>SULFATO</b>	60	70	80	60	70	80
<b>POLIMERO</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>UC</b>	166	69	30	264	251	50
<b>NTU</b>	10,3	4,5	2,28	15,4	16,9	3,01
<b>pHfinal</b>			4,74			

FUENTE: AUTOR

De los resultados de color y turbiedad realizamos los siguientes gráficos:

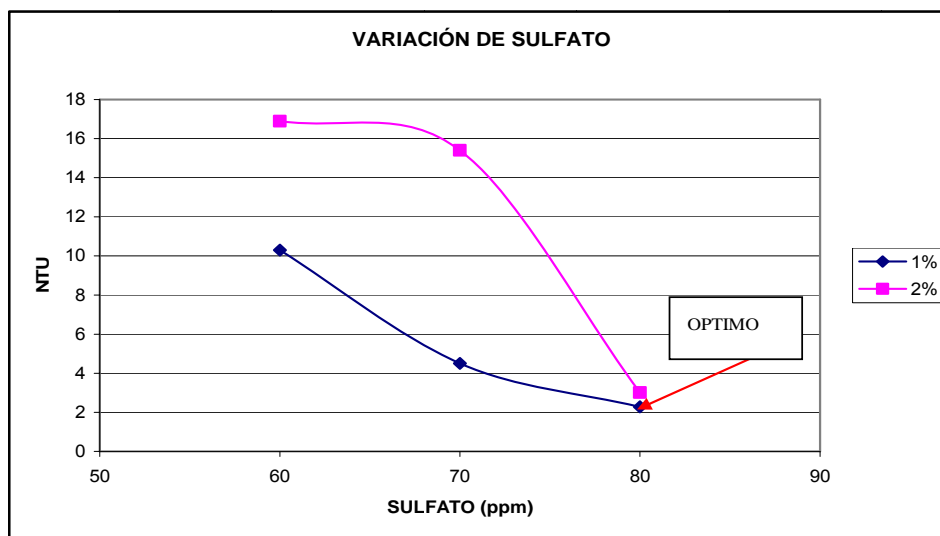


Gráfico 3-9. Dosis óptima de sulfato, con adición de cal al 1%P/V y 2%P/V, en función del color.



FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-10. Dosis óptima de sulfato, con adición de cal al 1%P/V y 2%P/V, en función de la turbiedad.



FUENTE: AUTOR

- La dosis de Sulfato de 80 ppm es la mejor
- Se logra una remoción de color del 94.81 % con la solución de cal del 1%P/V



- Se logra una remoción de turbiedad del 96.47 % con la solución de cal del 1%P/V
- La solución de cal del 1% da mejores resultados que la del 2%P/V

### **ENSAYO 3**

#### **Procedimiento:**

1.- Preparamos nuevamente 3 jarras con 2 litros de agua cruda cada una. Adicionaremos 1 cc de cal en la jarra 2 y 3, colocaremos 80 ppm de Sulfato y lo que varía en este caso será el polímero con dosis de 0.3, 0.4 y 0.5

2.- Agitamos las jarras añadiendo sulfato a los 30 seg de la Mezcla Rápida y Polímero 5 segundos antes que termine la Mezcla Rápida. Las dosis añadidas en cada jarra se detallan en la siguiente tabla:

*Tabla 3-18. Determinación de la dosis óptima de polímero*

	<b>J1</b>	<b>J2</b>	<b>J3</b>
<b>CAL 1%</b>	1cc	1cc	1cc
<b>SULFATO</b>	80	80	80
<b>POLIMERO</b>	0,3	0,4	0,5
<b>UC</b>	31	33	23
<b>NTU</b>	2,65	2,27	2,7

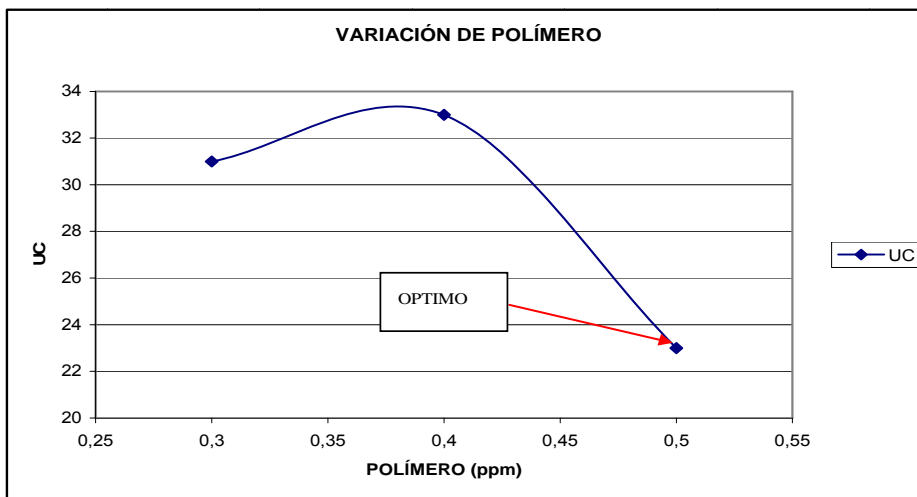
FUENTE: AUTOR

De estos resultados obtenemos los siguientes gráficos:



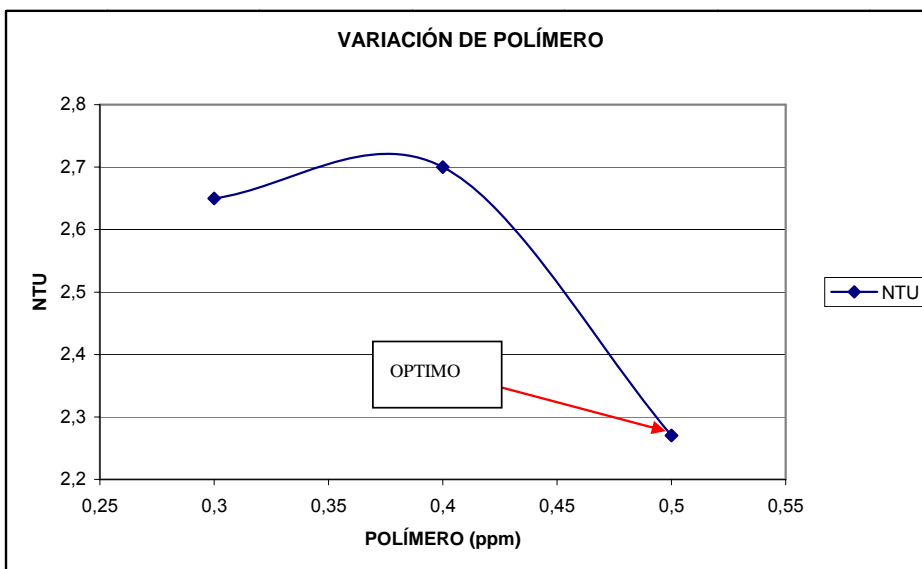


Gráfico 3-11. Dosis óptima de polímero, con adición de cal al 1%P/V, en función del color.



FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-12. Dosis óptima de polímero, con adición de cal al 1%P/V, en función de la turbiedad.



FUENTE: AUTOR

- La solución de Polímero de 0.5 ppm es la mejor



- Se logra una remoción de color del 96.02 %
- Se logra una remoción de turbiedad del 96.49 %

#### **ENSAYO 4**

##### **Procedimiento:**

1.- Preparamos nuevamente 3 jarras con 2 litros de agua cruda cada una. Adicionaremos 1 cc de cal en cada una, colocaremos 80, 90 y 100 ppm de Sulfato y 0.5 ppm de polímero.

2.- Agitamos las jarras añadiendo sulfato a los 30 seg de la Mezcla Rápida y Polímero 5 segundos antes que termine la Mezcla Rápida. Las dosis añadidas en cada jarra se detallan en la siguiente tabla:

*Tabla 3-19. Determinación de la dosis óptima de sulfato*

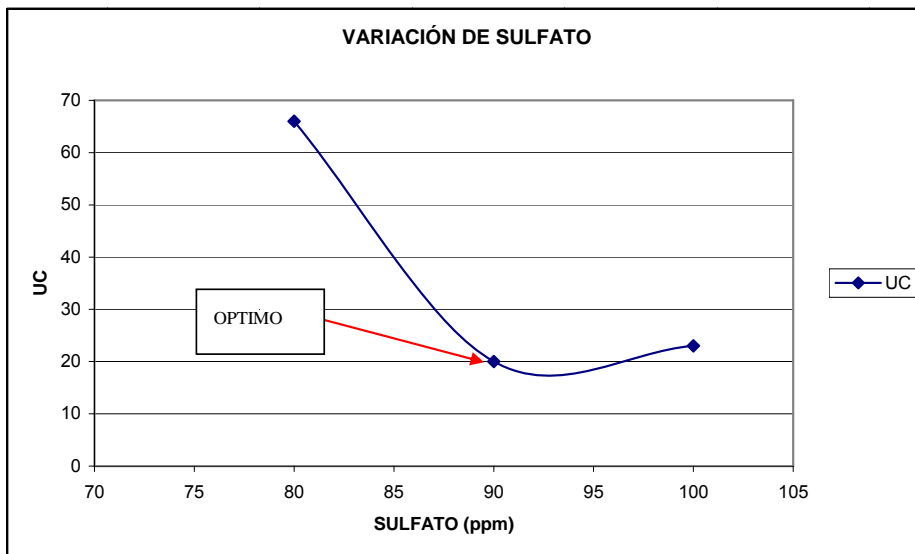
	<b>J1</b>	<b>J2</b>	<b>J3</b>
<b>CAL 1%</b>	0 cc	1cc	1 cc
<b>Sulfato de Al</b>	80	90	100
<b>POLIMERO</b>	0,5	0,5	0,5
<b>UC</b>	66	20	23
<b>NTU</b>	0,89	0,58	0,64

FUENTE: AUTOR

De estos resultados obtenemos los siguientes gráficos:

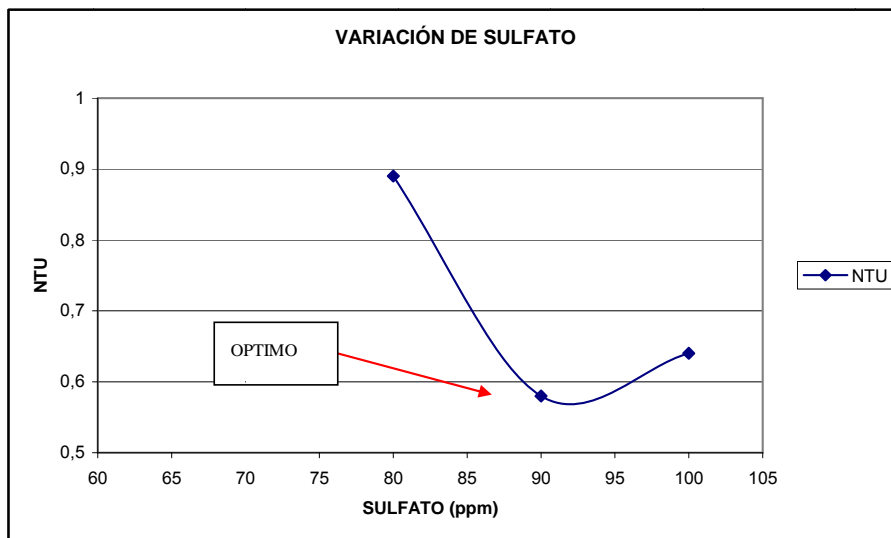


Gráfico 3-13. Dosis óptima de sulfato, en función del color.



FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-14. Dosis óptima de sulfato, en función de la turbiedad.



FUENTE: AUTOR

- La solución de Sulfato de 90 ppm es la mejor
- Se logra una remoción de color del 96.54 %



- Se logra una remoción de turbiedad del 99.01%

## **ENSAYO 5**

### **Procedimiento:**

1.- Preparamos 4 jarras con 2 litros de agua cruda cada una. Adicionaremos 1 cc de cal en las jarras 3 y 4, colocaremos 80ppm de Sulfato y 0.5 ppm de polímero en todas, para luego comparar los resultados.

2.- Agitamos las jarras añadiendo sulfato a los 30 seg de la Mezcla Rápida en todas las jarras y Polímero 5 segundos antes que termine la Mezcla Rápida en las jarras 1 y 3, en las jarras 2 y 4 añadiremos el polímero 10 minutos después que inicia la Floculación Mecánica en la cámara 1, esto para determinar el punto óptimo de adición de polímero. Las dosis añadidas en cada jarra se detallan en la siguiente tabla:

*Tabla 3-20. Determinación del punto óptimo de adición de polímero*

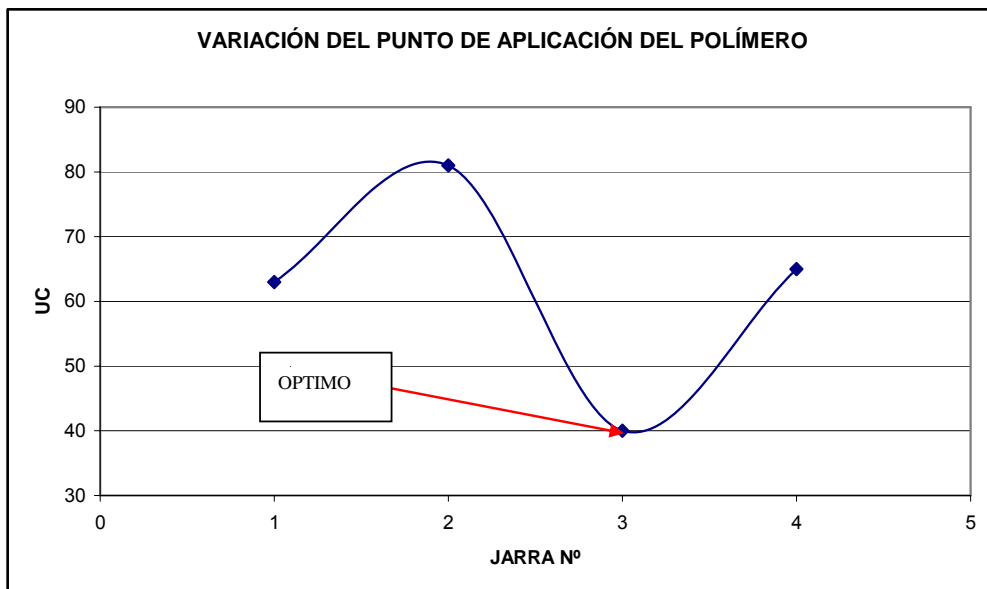
	<b>J1</b>	<b>J2</b>	<b>J3</b>	<b>J4</b>
<b>CAL 1%P/V</b>	0 cc	0 cc	1 cc	1 cc
<b>SULFATO</b>	80	80	80	80
<b>POLIMERO</b>	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>UC</b>	63	81	40	65
<b>NTU</b>	2,16	2,79	1,82	3,4
<b>pHfinal</b>			5,77	

FUENTE: AUTOR

De estos resultados obtenemos los siguientes gráficos:

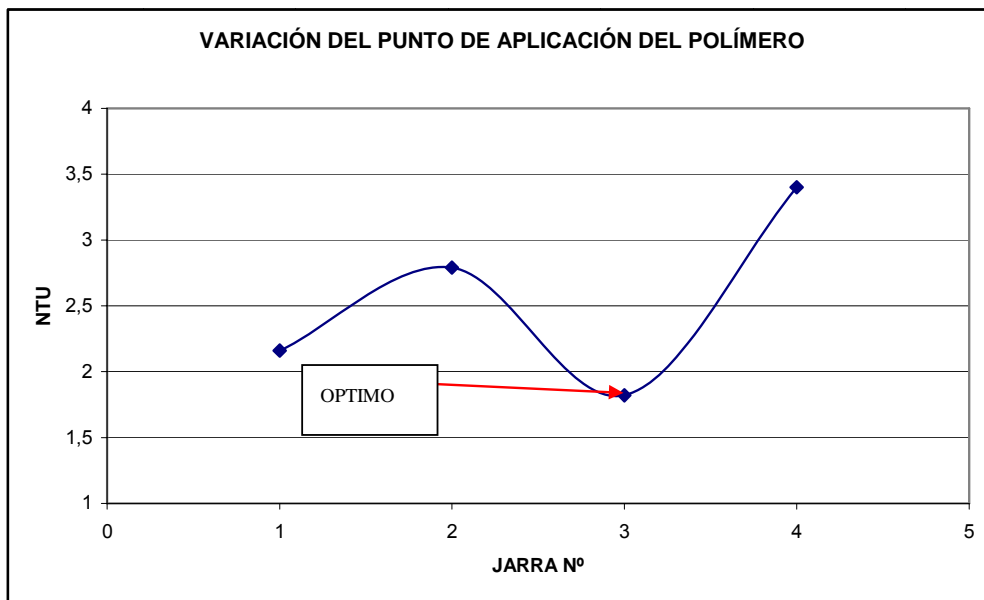


Gráfico 3-15. Punto óptimo de polímero, en función del color.



FUENTE: AUTOR

Gráfico 3-16. Punto óptimo de polímero, en función de la turbiedad.



FUENTE: AUTOR

- La jarra 3 es la mejor, en ésta se coloca el polímero 5 segundos antes de que termine la Mezcla Rápida



- Mejora la remoción con la adición de cal.
- Se logra una remoción de color del 93.08 %
- Se logra una remoción de turbiedad del 97.18%

#### **3.2.1.1.4. Ensayos con Polímero**

##### ***Métodos de ensayo:***

##### **Ensayo 1**

**Objetivo:** Determinar el punto de aplicación óptimo del polímero.

##### **Procedimiento:**

- 1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 2 jarras.
- 2.- Preparamos las dosis de Polímero de 0.3 ppm (capacidad mínima que dan las bombas). Además preparamos la dosis óptima de sulfato de aluminio, en la concentración óptima, en el punto de aplicación óptimo y con el pH óptimo.
- 3.- Colocamos las jarras en el equipo, centramos las mismas y empezamos la prueba, adicionamos el sulfato de aluminio simultáneamente en las 2 jarras en el punto de aplicación óptimo, y adicionamos el polielectrolito 5 segundos antes de empezar la floculación mecánica (M2) en la primera jarra, una vez transcurridos 10 minutos de iniciada la floculación mecánica adicionamos el polielectrolito en la segunda jarra. Una vez terminados M3 y M4, tomamos el tiempo de sedimentación.
- 4.- Una vez transcurridos los 25 minutos de sedimentación purgamos simultáneamente las 6 jarras, y procedemos a tomar las muestras en vasos de aproximadamente 100 ml.
- 5.- Procedemos a leer el color y la turbiedad de las muestras de las dos jarras, en los correspondientes equipos.

*Tabla 3-22. Punto óptimo de adición de polímero para aguas de hasta 100 UC.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Adic. Polím.	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2.07	5 seg antes F	0	0.31	7.14
2	16/11/2009	25	1.01	5 seg antes F	13	0.98	7.58
3	19/10/2009	37	2.27	5 seg antes F	5	0.792	6.97
4	22/10/2009	43	2.41	5 seg antes F	9	0.805	6.95
5	26/11/2009	45	2.28	5 seg antes F	4	0.78	6.62
6	30/11/2009	92	7	5 seg antes F	14	1.41	6.6

FUENTE: AUTOR

Grupo B: Comprende agua con color entre 100-2000 UC.

*Tabla 3-23. Punto óptimo de adición de polímero para aguas de hasta 100 UC.*

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIMOS	FINAL		
		UC	NTU	Adic. Polím.	UC	NTU	pH
1	24/12/2009	119	10	10 min de F	12	1.28	6.38
2	12/01/2010	131	12	10 min de F	9	1.32	5.9
3	31/12/2009	224	34.1	10 min de F	14	0.72	6.42
4	02/12/2009	235	27.5	10 min de F	10	1.43	6.3
5	26/02/2010	404	27	10 min desp F	8	0.75	5.73
6	02/04/2010	720	79	10 min desp F	3	1.63	5.03
7	11/12/2009	1000	221	10 min de F	18	2.85	6.58
8	03/04/2010	1720	240	10 min desp F	18	2.52	4.23

FUENTE: AUTOR

### Grupo A

Como puede observarse en la tabla 3-22, para aguas con colores de hasta 100 UC, el punto óptimo de adición de polímero es a los 5 segundos antes de que empiece la floculación mecánica (cámara 4 "arqueta de reparto").



6.- Determinamos la jarra que posea el menor color y turbiedad, y este será el valor óptimo del cuál medimos el pH final.

### Resultados:

Tabla 3-21. Punto óptimo de adición de polímero.

MUESTRA	FECHA	INICIAL		OPTIM OS					FINAL		
		UC		Dosis sulfato ppm	Conc. sulfato %V/V	pH	Tiempo MR	Adic. Polím.	UC	NTU	pH
1	14/10/2009	22	2,07	30	5	8,4	20 seg	5 seg antes F	0	0,31	7,14
2	19/10/2009	37	2,27	40	5	6,98	20 seg	5 seg antes F	5	0,792	6,97
3	22/10/2009	43	2,41	40	5	7,8 <sup>*</sup>	20 seg	5 seg antes F	9	0,805	6,95
4	16/11/2009	25	1,01	30	10	7,2	20 seg	5 seg antes F	13	0,98	7,58
5	23/11/2009	86	11,8	90	20	7,5	20 seg	10 min de F	8	0,58	6,8
6	26/11/2009	45	2,28	50	20	7,18	20 seg	5 seg antes F	4	0,78	6,62
7	30/11/2009	92	7	65	10	7,3 <sup>*</sup>	20 seg	5 seg antes F	14	1,41	6,6
8	02/12/2009	235	27,5	70	5	7,3 <sup>*</sup>	5 seg	10 min de F	10	1,43	6,2
9	11/12/2009	1000	221	80	5	7,42 <sup>*</sup>	20 seg	10 min de F	18	2,85	6,58
10	24/12/2009	119	10	70	20	7,11 <sup>*</sup>	5 seg	10 min de F	12	1,28	6,38
11	31/12/2009	224	34,1	65	10	7,5 <sup>*</sup>	5 seg	10 min de F	14	0,72	6,42
12	12/01/2010	131	12	80	20	6,64 <sup>*</sup>	5 seg	10 min de F	9	1,32	5,9
13	22/02/2010	103	1,71	50	20	7,5	30 seg	5 seg antes F	12	0,65	6,45
14	26/02/2010	404	27	90	20	6,7	5 seg	10 min desp F	8	0,75	5,73
15	01/04/2010	370	36	80	20	6,81 <sup>*</sup>	5 seg	5 seg antes F	10	1,56	5,91
16	02/04/2010	720	79	120	20	7,71	5 seg	10 min desp F	3	1,63	5,03
17	03/04/2010	1720	240	120	40	7,30	20 seg	10 min desp F	18	2,52	4,23

Nota: Los valores de pH con \*, representan el valor de pH normal con el que el agua cruda llega a la planta, es decir no han sido sujetos a adición de lechada de cal, ácido clorhídrico o de hidróxido de sodio.

FUENTE: AUTOR

Los resultados de estas pruebas se dividieron en 2 grupos, que se detallan a continuación:

Grupo A: Comprende aguas de hasta 100 UC.





## Grupo B

En la tabla 3-23 tenemos que para colores entre 100-2000 UC, el punto óptimo de adición de polímero es a los 10 minutos de iniciada la floculación. Este punto se encontraría en el comienzo de la floculación hidráulica, y de ser necesario debería implementarse a futuro.

**NOTA:** LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO A1

### **3.2.1.1.5. Ensayos con variación de Gradientes de Velocidad.**

**Objetivo:** Establecer el gradiente óptimo en la floculación mecánica.

#### **Procedimiento:**

- 1.- Medimos 2 litros de agua cruda en cada una de las 3 jarras.
- 2.- Con los resultados óptimos de los ensayos anteriores, realizamos las pruebas variando los gradientes de velocidad en el equipo y la dosis de polímero (entre 0-0.4 ppm).
- 3.- Colocamos las jarras en el equipo, centramos las mismas y empezamos la prueba, adicionamos el sulfato de aluminio simultáneamente en las 3 jarras en el punto de aplicación óptimo, y adicionamos el poli electrólito de igual manera. Una vez terminados M3 y M4, tomamos el tiempo de sedimentación.
- 4.- Una vez transcurridos los 25 minutos de sedimentación purgamos simultáneamente las 3 jarras, y procedemos a tomar las muestras en vasos de aproximadamente 100 ml.
- 5.- Medimos el color y la turbiedad de las muestras de las dos jarras, en los correspondientes equipos.
- 6.- Determinamos la jarra que posea el menor color y turbiedad, y este será el valor óptimo del cuál medimos el pH final.



**Resultados:** Los valores óptimos se resumen en tablas (ANEXO B1), en los cuales se puede observar que a mayor cantidad adicionada de polímero se obtienen mejores resultados. Además se señalan los gradientes con los cuales existió una remoción de color y turbiedad dentro de los valores requeridos en planta, es decir, color inferior a 20 UC y turbiedad menor a 2 NTU (excepto para aguas con colores superiores a 1000 UC). Nótese que estos gradientes coinciden en la mayoría de ensayos, en un porcentaje del 71.4%.

*Tabla 3-24. Gradiente óptimo.*

Muestra #	UC inicial	NTU inicial	G1(seg-1)	G2(seg-1)	G3(seg-1)	POLÍMERO	UC final	NTU final
1	25	1.06	70	30	20	0.15	9	0.66
2	22	1.11	70	60	20	0.15	2	0.64
3	25	1.01	70	30	20	0.15	15	0.97
4	45	2.28	70	30	20	0.15	4	1.03
5	92	7	70	30	20	0.15	14	1.51
6	235	27.5	70	30	20	0.15	9	1.05
7	34	1.45	70	30	20	0.15	17	1.86
8	25	1.3	70	30	20	0.15	17	1.86
9	18	1.07	60	40	20	0.15	10	1.54
10	1000	221	70	30	20	0.15	14	1.73
11	119	10	70	30	20	0.15	19	1.81
12	224	34.1	60	40	20	0.15	6	0.61
13	404	27	70	30	20	0.30	3	1.02
14	1720	240	60	50	20	0.40	32	2.98

FUENTE: AUTOR

Tenemos entonces que el gradiente óptimo que debería aplicarse en planta es de  $70 \text{ seg}^{-1}$  en la primera cámara de floculación mecánica,  $30 \text{ seg}^{-1}$  en la segunda cámara de floculación mecánica y en la floculación hidráulica siempre se tendrá un valor de  $20 \text{ seg}^{-1}$ .

**Nota:** El gráfico que relaciona RPM con los  $\text{seg}^{-1}$  se encuentra en los Anexos B1.

### 3.2.1.2. Ensayos de Demanda de Cloro

**Descripción del Equipo para DBO (HACH 280):** Para realizar este ensayo se adecuo el equipo HACH que se utiliza para la determinación de DBO, este consta de 6 frascos oscuros de vidrio de 500 ml de capacidad, la base del equipo tiene 6



espacios uno para cada botella, en cada espacio tiene un agitador magnético que es accionado por un motor eléctrico.

**Objetivo:** Determinar la demanda de cloro.

Este ensayo se efectuó con el agua filtrada antes de que entre a la cámara de contacto y con el agua cruda.

### **Materiales y Equipos.**

- Balón de 1000 ml
- Balanza
- Pipetas (1, 5 y 10 cc)
- Espátula
- Luna de reloj
- Equipo para DBO (HACH 280)
- HACH KIT CHLORINE, FREE SWIFTEST

### **Reactivos:**

- Hipoclorito de Calcio (Riqueza del 65%)
- DPD para cloro residual

**Procedimiento:** Pesar 0.154 g del Hipoclorito de Calcio y aforar a 1000 ml, para obtener una solución de 100 mg/litro.

En los 6 frascos del equipo HACH, colocar 250 cc de agua filtrada, en estas botellas se agregan dosis ascendentes de la solución de cloro desde 0.4-2.4 mg/litro con variación de 0.4 mg/litro en cada frasco. Agitar e inmediatamente medir la cantidad de cloro con el DPD.



Colocar las moscas en cada frasco y agitar durante 30 minutos y medir el cloro residual.

### Resultados:

FECHA: 01/febrero/2010

#### AGUA FILTRADA

UC	1
NTU	0,24
STD (mg/L)	43,7
pH.	7,2
Temperatura (°C)	15,4
Conductividad (μS/s)	87,4

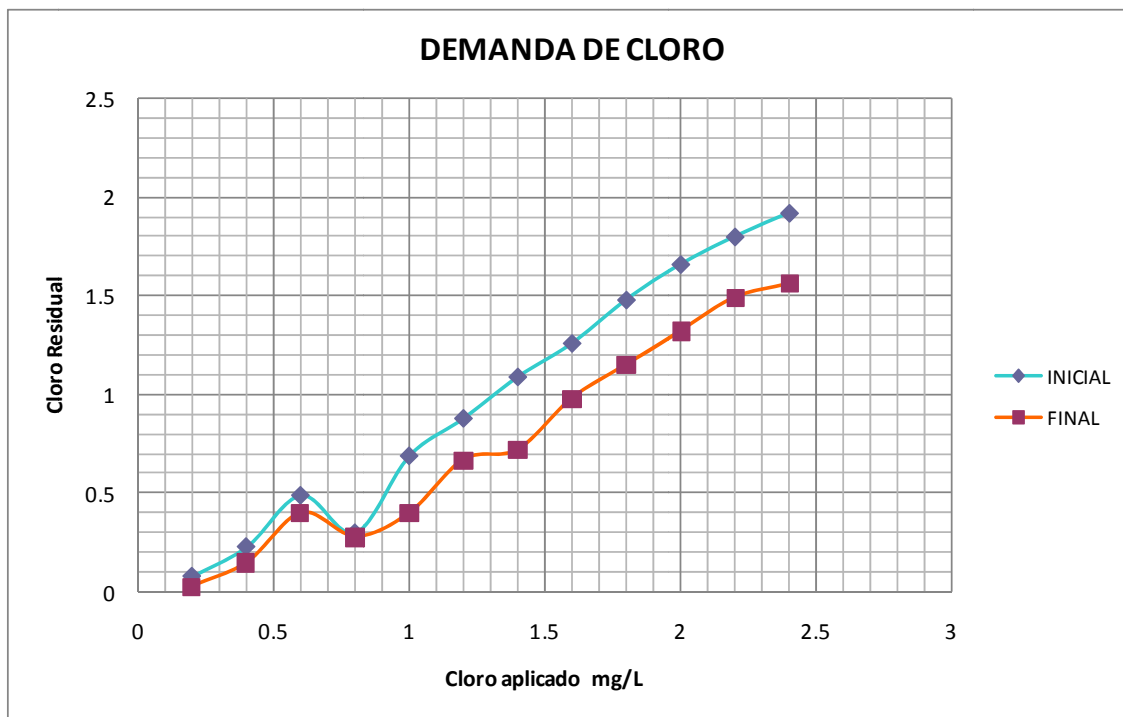
*Tabla 3-25. Demanda de cloro.*

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0.2	0.08	0.03
2	0.4	0.23	0.15
3	0.6	0.49	0.4
4	0.8	0.3	0.28
5	1	0.69	0.4
6	1.2	0.88	0.67
7	1.4	1.09	0.72
8	1.6	1.26	0.98
9	1.8	1.48	1.15
10	2	1.66	1.32
11	2.2	1.8	1.49
12	2.4	1.92	1.56

FUENTE: AUTOR



Gráfico 3-17. Punto de quiebre.



FUENTE: AUTOR

Según la tabla 3-24 y el gráfico 3-17, tenemos que en el agua filtrada para alcanzar el punto de quiebre se necesita aplicar una dosis de 0.8 mg/l y que 0.2 mg/l es la cantidad para que se consuma la materia inorgánica en el agua, constituyendo la demanda inmediata, se tiene que 0.8 mg/l se combina con la materia orgánica presente dando como cloro residual combinado 0.3 mg/l y todo valor superior a este es cloro libre disponible.

**Nota:** LOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS ESTAN EN EL ANEXO C1

### 3.2.2. Análisis Físico-Químicos

Durante el período estudiado (Noviembre 2009- Mayo 2010), se llevo un control de los siguientes parámetros en el agua cruda y en el agua tratada:

- Color



- Turbiedad
- pH
- Sólidos totales disueltos
- Dureza total
- Cloro Residual

A continuación se establece una tabla comparativa entre los parámetros obtenidos en planta y los requeridos según la NTE INEN 1 108:2006 para agua potable.

*Tabla 3-26. Comparación entre los datos de laboratorio y la NTE INEN 1 108:2006.*

<b>Parámetros</b>	<b>Planta Sústag min-máx</b>	<b>NTE INEN 1 108:2006 Lim. Máx permisible</b>
<b>NTU</b>	0.1-1.12	5
<b>Color</b>	0-4	15
<b>pH</b>	5.42-7.18	6.5-8.5
<b>STD (mg/l)</b>	25-85	1000
<b>Cloro residual (mg/l)</b>	0.7-1.95	0.3-1.5
<b>Dureza Total (mg/l)</b>	18.05-36.4	300

FUENTE: AUTOR

- ❖ Los datos obtenidos fueron proporcionados por la Ing. María Pacheco, Jefa de Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua de Sústag-Etapa, los mismos que se adjuntan en los anexos D1.

**Nota:** Se adjunta las NTE INEN 1 108:2006 (Anexo D2)



## **CAPITULO 4**

### APLICACIONES EN PLANTA

#### **4.1 APLICACIONES EN PLANTA**

##### **4.1.1. Mezcla Rápida**

###### **4.1.1.1. Determinación del Tiempo de Mezcla**

**Objetivo:** Determinar el tiempo de retención real en la mezcla rápida y comparar dicho tiempo con el tiempo teórico de retención.

###### **Tiempo teórico de mezcla rápida**

El tiempo teórico de retención de mezcla se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$T_t = \frac{V}{Q}$$

Donde  $T_t$  = Tiempo teórico de mezcla rápida

$V$  = Volumen útil

$Q$  = Caudal que entra en la zona de mezcla rápida

$$T_t = \frac{30.2m^3}{0.4m^3 / s} = 76s$$

Este resultado, se aplica para las 3 cámaras de la mezcla rápida.

###### **Cálculo del tiempo real de la mezcla rápida.**



### Materiales

- Conductímetro
- Cronómetro

### Reactivos

- Solución saturada de NaCl

### Procedimiento

Primero medimos la conductividad del agua cruda (inicial), la cual nos dio un valor de 82  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , luego probamos en 1 litro de agua diferentes cantidades de sal y medimos la conductividad con el fin de establecer la variación de la conductividad de acuerdo a la concentración de sal, con ello determinamos la cantidad necesaria de sustancia trazadora a utilizar en esta prueba.

*Tabla 4-1. Aumento de conductividad con aplicación de sal.*

Sal $\text{g}/\text{m}^3$	Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$
140	351
280	624
320	886

FUENTE: AUTOR

Preparamos la solución de cloruro de sodio, la cantidad empleada se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\text{KgNaCl} = \frac{V(\text{m}^3) * c(\text{g} / \text{m}^3) * 1.65}{1000}$$

Teniendo que:

V=volumen de la unidad a aplicar el trazador

c=concentraciones de cloruros que se quiere obtener ( $140\text{g}/\text{m}^3$ )





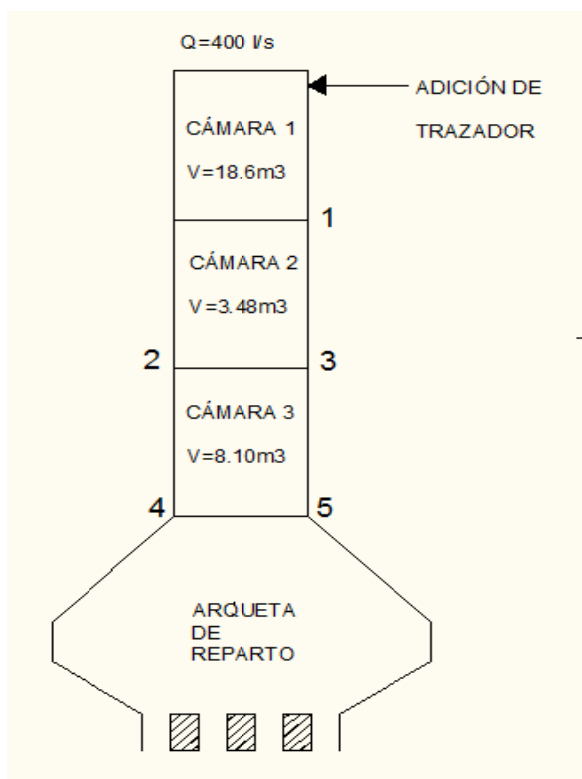
k=constante utilizada para el cloruro de sodio (1.65)

$$KgNaCl = \frac{30.2m^3 * 140g / m^3 * 1.65}{1000} = 6.9$$

Para mantener un margen de seguridad se utilizó 8 Kg. de sal.

Una vez preparada la solución de NaCl, procedemos a medir la conductividad inicial del agua cruda, en la mezcla rápida, y adicionamos la solución trazadora en la cámara 1 e inmediatamente recolectamos las muestras cada 3 segundos en el punto 1; y cada 10 segundos en los puntos 2, 3, 4 y 5. Luego medimos la conductividad de cada muestra.

Gráfico 4-1. Esquema de los puntos de toma de muestras en la mezcla rápida



FUENTE: AUTOR

## Resultados.



De acuerdo a las pruebas realizadas el tiempo real de mezcla rápida es de 40 segundos, cabe recalcar que el tiempo utilizado en la planta para las pruebas de jarras realizadas por parte de los operarios es de un minuto. Esta diferencia se debe a la existencia de una zona muerta en la cámara uno, ya que según la tabla que se presenta a continuación, es en esta cámara que se observa una clara diferencia entre el tiempo teórico y el real.

*Tabla 4-2. Comparación entre el tiempo teórico y el real en la mezcla rápida.*

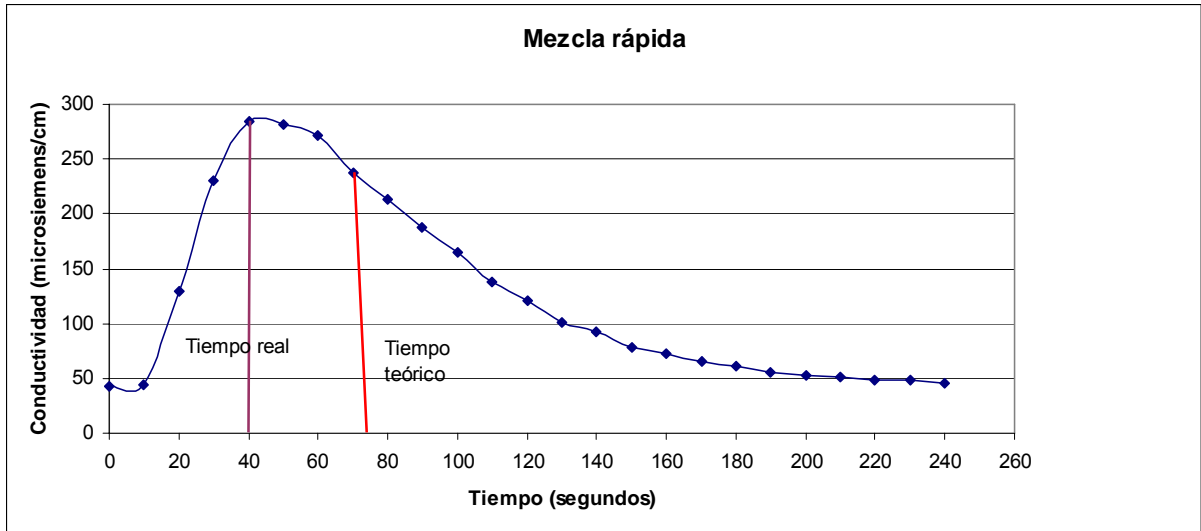
	m3	Tiempo	
		Teórico	Real
<b>Vcam 1</b>	18,6	47	9
<b>Vcam 2</b>	3,48	9	11
<b>Vcam 3</b>	8,1	20	20
<b>VT=</b>	30,18	76	40

FUENTE: AUTOR

Gráficamente:



Gráfico 4-2. Comparación entre el tiempo real y el teórico en la mezcla rápida.



FUENTE: AUTOR

En la práctica, los puntos de aplicación del sulfato están a la salida de la cámara 1 y a la salida de la cámara 2.

Es por ello que consideramos un tiempo de mezcla rápida aproximado de 30 segundos, valor que empleamos en el equipo de jarras, para las pruebas descritas en el capítulo 3.

#### 4.1.1.2. Determinación de Condiciones Hidráulicas en Mezcla Rápida

**Objetivo:** Determinar el tipo de flujo con el que trabaja la mezcla rápida.

##### **Materiales:**

- Conductímetro
- Cronómetro

##### **Reactivos:**

- Trazador: NaCl



**Procedimiento:** Adicionamos la solución trazadora en la cámara 1 e inmediatamente recolectamos las muestras cada 3 segundos en el punto 1; y cada 10 segundos en los puntos 2, 3, 4, 5 y medimos la conductividad de cada muestra. Posteriormente promediamos los resultados de los puntos 4 y 5, con mencionado promedio realizamos el análisis de Wolf Resnick.

Estos datos se encuentran en el ANEXO E1

**Cálculos:** Utilizamos el Modelo de Wolf Resnick, para lo cual procesamos los datos obtenidos de la forma que se muestra en la siguiente tabla (tabla 4-3):

Tabla 4-3. Aplicación del Modelo de Wolf Resnick, en la mezcla rápida (promedio de los puntos 4 y 5-gráfico4-3).

PROMEDIO PUNTO 4 Y 5									
$V_e$	11.58	m <sup>3</sup>							
$C_0$	43	µs/cm							
$t_0$	0.52	min							
t	$\Delta t$	C	C-C <sub>0</sub>	$(C-C_0)/\Delta t/2$	$\sqrt{(C-C_0)/\Delta t/2}$	F(t)	t/t <sub>0</sub>	1-F(t)	Log(1-F(t))
min	min	µs/cm	µs/cm						
0.00	0.00	42.5	-0.5	0.000	0.000	0	0.000	1	0
0.17	0.17	43	0	0.000	0.000	0	0.327	1	0
0.33	0.16	149	106	8.480	8.480	0.04904853	0.635	0.95095147	-0.02184164
0.50	0.17	237	194	16.490	24.970	0.14442709	0.962	0.85557291	-0.06774298
0.67	0.17	289.5	246.5	20.953	45.923	0.26561687	1.288	0.73438313	-0.13407731
0.83	0.16	286	243	19.440	65.363	0.3780683	1.596	0.6219417	-0.20625033
1.00	0.17	274	231	19.635	84.998	0.49162762	1.923	0.50837238	-0.29381806
1.17	0.17	241.5	198.5	16.873	101.870	0.58921858	2.250	0.41078142	-0.38638921
1.33	0.16	216	173	13.840	115.710	0.66926948	2.558	0.33073062	-0.48062572
1.50	0.17	187.5	144.5	12.283	127.993	0.74031176	2.885	0.25968824	-0.58554772
1.67	0.17	162	119	10.115	138.108	0.79881717	3.212	0.20118283	-0.69640908
1.83	0.16	137.5	94.5	7.560	145.668	0.84254439	3.519	0.15745561	-0.80284187
2.00	0.17	119	76	6.460	152.128	0.87990919	3.846	0.12009081	-0.92049023
2.17	0.17	103	60	5.100	157.228	0.90940772	4.173	0.09069228	-1.04290879
2.33	0.16	90	47	3.760	160.988	0.93115565	4.481	0.06884435	-1.16213168
2.50	0.17	78	35	2.975	163.963	0.94836312	4.808	0.05163688	-1.28704002
2.67	0.17	72.5	29.5	2.508	166.470	0.96286656	5.135	0.03713344	-1.43023485
2.83	0.16	64	21	1.680	168.150	0.97258372	5.442	0.02741628	-1.56199153
3.00	0.17	59.5	16.5	1.403	169.553	0.98069582	5.769	0.01930418	-1.7143486
3.17	0.17	55.5	12.5	1.063	170.615	0.98684134	6.096	0.01315866	-1.88078847
3.33	0.16	51.5	8.5	0.680	171.295	0.99077448	6.404	0.00922522	-2.03500919
3.50	0.17	50	7	0.595	171.890	0.99421598	6.731	0.00578402	-2.23776987
3.67	0.17	48.5	5.5	0.468	172.358	0.99692001	7.058	0.00307999	-2.51145026
3.83	0.16	47	4	0.320	172.678	0.99877089	7.365	0.00122911	-2.91041094
4.00	0.17	45.5	2.5	0.213	172.890		1	7.692	0

FUENTE: AUTOR



En esta tabla tendremos que:

V= Volumen de la unidad analizada

Co= Conductividad inicial del agua cruda

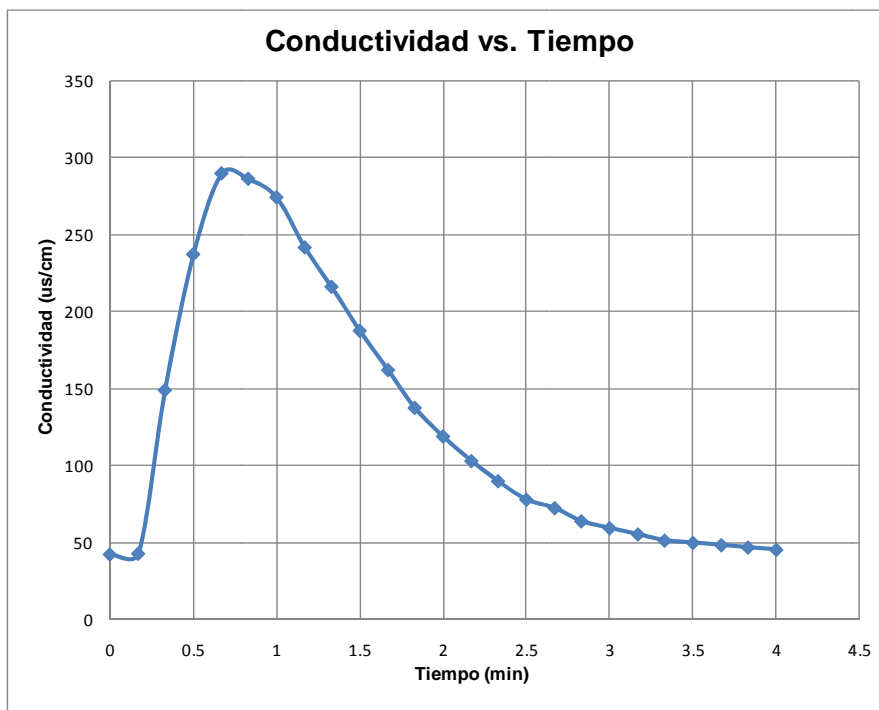
to= Tiempo real de retención

t= tiempo medido a partir del ingreso de la sustancia trazadora hasta la salida de la misma.

$\Delta t = t - t_0$

Con estos resultados procedemos a graficar la curva de Concentración del trazador en el reactor analizado frente al tiempo que transcurre durante su recorrido por el mismo. Gráfico 4-4

Gráfico 4-4. Curva de Concentración del trazador en el efluente de la mezcla rápida (Promedio de los puntos 4 y 5, gráfico 4-1)

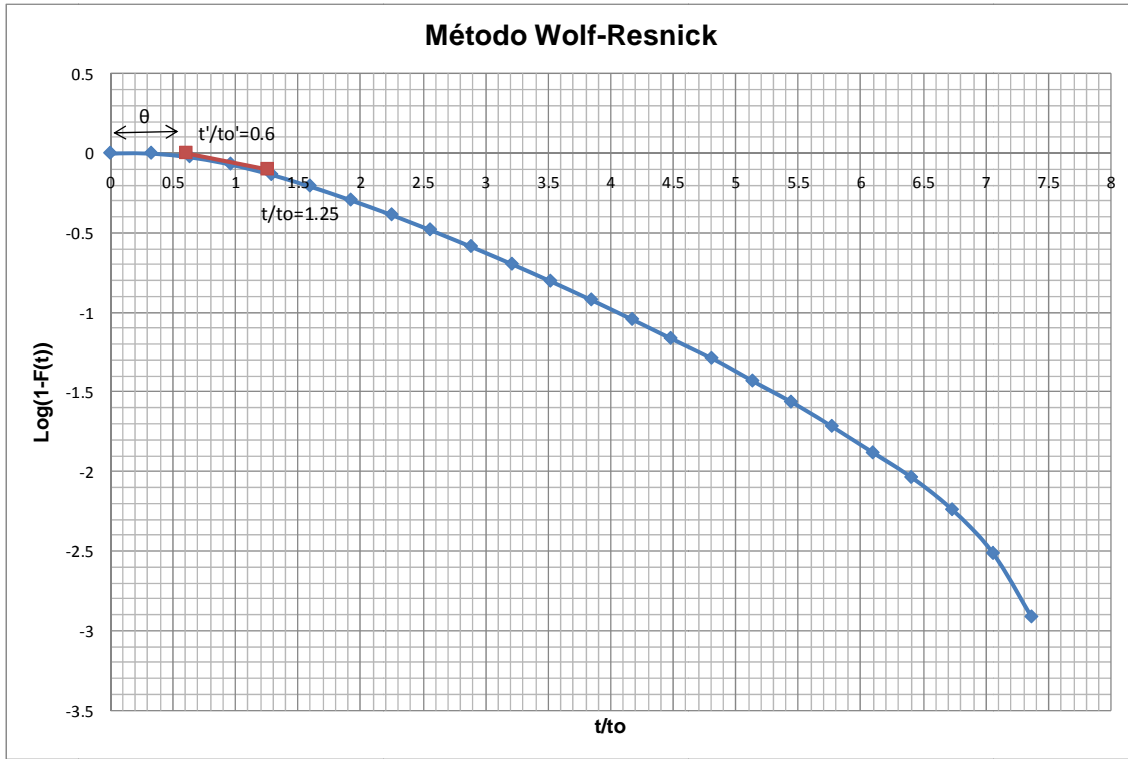


FUENTE: AUTOR



Graficamos entonces la fracción remanente de conductividad en la mezcla rápida.

Gráfico 4-5. Determinación de los parámetros  $\theta$  y  $\alpha$  del Modelo de Wolf y Resnick (Promedio de los puntos 4 y 5, gráfico 4-1)



FUENTE: AUTOR

Se traza la línea tangente en el punto donde la línea comienza a ponerse vertical, prolongamos la tangente hasta que corte en el eje x, y la distancia del origen al corte será el valor de  $\theta$  (gráfico 4-6).

$$\theta = 0.6$$

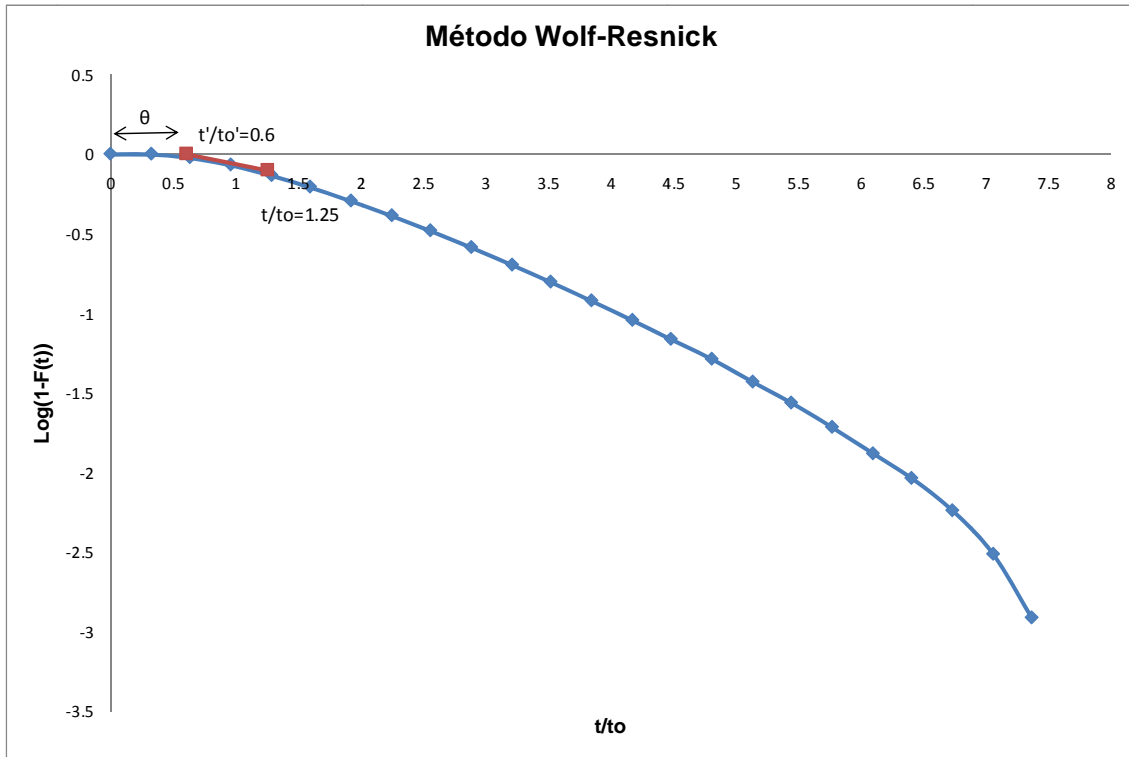
El valor de la  $\text{tag } \alpha$  se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\text{tag } \alpha = \frac{1}{\frac{t}{t_0} - \frac{t'}{t_0'}}$$

Para lo cual;



Gráfico 4-6. Puntos empleados para la obtener taga.



FUENTE: AUTOR

De donde se tiene que:

$$\text{tag } \alpha = 1.5$$

Con estos resultados pueden determinarse los demás parámetros para el modelo de Wolf Resnick, de la siguiente manera:

$$p = \frac{\theta * \text{tag } \alpha}{0.434 + (\theta * \text{tag } \alpha)}$$

$$p = 0.6$$

ZONA MUERTA

$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$



### ZONA MUERTA

$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$

$$m = 0.11$$

### FRACCIÓN DE FLUJO TIPO PISTÓN

$$\theta = p(1 - m)$$

$$\theta = 0.6$$

### FRACCIÓN DE FLUJO MEZCLADO

$$M = (1 - p)(1 - m)$$

$$M = 0.2893$$

### COMPROBACIÓN

$$M + m + \theta = 1$$

$$1 = 1$$

**Resultados:** El porcentaje de zonas muertas considerando que el tiempo real es menor que el teórico en la mezcla rápida, nos indica que la sustancia trazadora no esta ocupando todo el volumen de la unidad. Existe además predominio de Flujo Pistón frente al Flujo mezclado.

*Tabla 4-4. Resultados expresados en %.*

<b>Zona Muerta</b>	11.07
<b>Flujo Pistón</b>	67.47
<b>Flujo Mezclado</b>	28.93

FUENTE: AUTOR





## 4.1.2. Floculación

### 4.1.2.1. Distribución de Caudales en los Floculadores

**Objetivo:** Verificar la distribución uniforme del caudal de agua de ingreso hacia cada floculador.

#### Tiempo teórico de retención.

El tiempo teórico de retención del agua en la arqueta de reparto y canales de ingreso hasta los floculadores mecánicos se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$T_t = \frac{V}{Q}$$

Donde  $T_t$  = Tiempo teórico de distribución

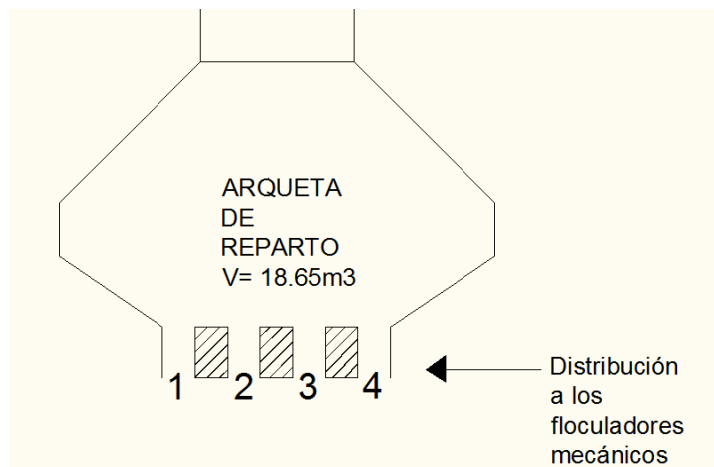
$V$  = Volumen útil

$Q$  = Caudal que se distribuirá a los floculadores mecánicos.

$$T_t = \frac{18.65m^3}{0.4m^3 / s} = 47s$$

Para la determinación del % de repartición del agua a los floculadores mecánicos, se dispone de los siguientes puntos, esquematizados a continuación:

*Gráfico 4-7. Esquema de los puntos de muestreo en el ingreso del agua cruda desde la arqueta de reparto hacia los distintos floculadores hidráulicos.*



FUENTE: AUTOR

De donde el % de repartición viene dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ repartición} = \frac{\text{Conductividad en cada punto}}{\sum \text{Conductividad de todos los puntos}}$$

### Cálculo del tiempo real de distribución.

#### Materiales

- Conductímetro
- Cronómetro

#### Reactivos

- Solución saturada de NaCl

#### Procedimiento

De la determinación del tiempo real de la mezcla rápida, se continuó con la recolección de datos en los puntos asignados. (Gráfico 4-7)

Las muestras fueron tomadas cada 20 segundos.

**Resultados.**

El tiempo en el que se obtuvo la mayor conductividad, se encuentra a los 100 segundos, en los 4 puntos. Y ese es el tiempo desde la aplicación del trazador hasta la entrada a los floculadores mecánicos.

A continuación exponemos los resultados en las tablas, y a la sumatoria de las conductividades en cada punto, con esos resultados y haciendo uso de la fórmula indicada anteriormente tendremos que:

*Tabla 4-5. Puntos 1 y 2, empleados para determinar la distribución del caudal de agua cruda, desde la arqueta de reparto hacia los floculadores de las líneas 1 y 2.*

PUNTO 1		PUNTO 2	
Tiempo	Conductividad	Tiempo	Conductividad
Segundos	$\mu\text{s/cm}$	Segundos	$\mu\text{s/cm}$
20	83	20	85
40	108	40	150
60	226	60	264
80	342	80	347
100	381	100	386
120	382	120	375
140	347	140	330
160	296	160	285
180	252	180	236
200	213	200	203
220	180	220	168
240	153	240	143
260	130	260	126
280	116	280	110
300	108	300	103
320	98	320	97
340	94	340	93
360	91	360	90
380	88	380	88
400	87	400	87
Cond. Total	3775	Cond. Total	3766

FUENTE: AUTOR

*Tabla 4-6. Puntos 3 y 4, empleados para determinar la distribución del caudal de agua cruda, desde la arqueta de reparto hacia los floculadores de las líneas 3 y 4.*



PUNTO 3		PUNTO 4	
Tiempo	Conductividad	Tiempo	Conductividad
Segundos	$\mu\text{s/cm}$	Segundos	$\mu\text{s/cm}$
20	83	20	84
40	144	40	100
60	269	60	181
80	367	80	310
100	394	100	388
120	381	120	373
140	336	140	357
160	286	160	311
180	233	180	259
200	197	200	214
220	160	220	181
240	143	240	155
260	126	260	136
280	111	280	118
300	104	300	109
320	97	320	99
340	92	340	94
360	90	360	91
380	88	380	88
400	86	400	87
Cond. Total	3787	Cond. Total	3733

FUENTE: AUTOR

$$\sum \text{Conductividad en todos los puntos} = 3775 + 3766 + 3787 + 3733 = 15061 \mu\text{s/c}$$

De donde, se tiene que:

$$\% \text{repartición punto 1} = \frac{3775}{15061} = 25.06$$

$$\% \text{repartición punto 2} = \frac{3766}{15061} = 25$$

$$\% \text{repartición punto 3} = \frac{3787}{15061} = 25.14$$

$$\% \text{repartición punto 4} = \frac{3733}{15061} = 24.79$$

Tabla 4-7. % de ingreso del agua cruda hacia las distintas líneas de floculación.

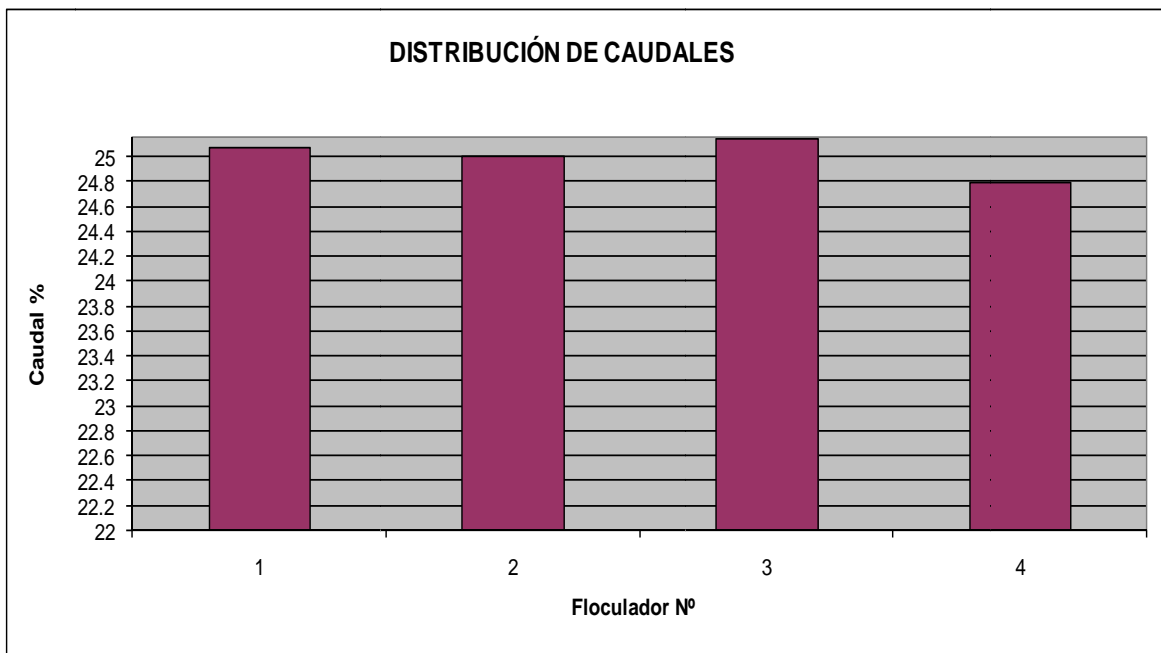


Referencia	Ingreso a	Caudal %
Punto 1	Floculador 1	25.06
Punto 2	Floculador 2	25
Punto 3	Floculador 3	25.14
Punto 4	Floculador 4	24.79

FUENTE: AUTOR

Gráficamente tendremos entonces:

*Gráfico 4-8.*



FUENTE: AUTOR

Finalmente se tiene que, la distribución de caudales a los floculadores mecánicos, es prácticamente del 25% en cada punto analizado, por ende se tendrá una distribución eficiente.



#### 4.1.2.2. Determinación del Tiempo de Retención en los Floculadores

**Objetivo:** Determinar el tiempo de retención real en los floculadores mecánicos y en los floculadores hidráulicos y compararlos con el tiempo teórico.

##### **Cálculo del tiempo teórico de retención en las cámaras de floculación mecánica de la línea # 3.**

Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$T_{tm} = \frac{V}{Q}$$

Donde  $T_{tm}$  = Tiempo teórico de floculación mecánica

$V$  = Volumen útil

$Q$  = Caudal que entra en el floculador # 3

$$T_{tm} = \frac{124m^3}{0.1m^3/s} = 1240s = 20'40''$$

Los 20'40'' representan el tiempo total de retención en los floculadores mecánicos.

##### **Cálculo del tiempo teórico de retención en la cámara de floculación hidráulica de la línea # 3.**

Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$T_{th} = \frac{V}{Q}$$

Donde  $T_{th}$  = Tiempo teórico de floculación hidráulica

$V$  = Volumen útil

$Q$  = Caudal que entra en el floculador hidráulico # 3



$$T_{th} = \frac{58.56m^3}{0.1m^3 / s} = 586s = 9'46''$$

Los 9'46'' representan el tiempo total de retención en los floculadores hidráulicos.

### **Cálculo del tiempo teórico de retención en los floculadores (mecánicos e hidráulico) de la línea # 3.**

Este tiempo viene dado por la siguiente expresión:

$$T_t = T_{tm} + T_{th} = 20'40'' + 9'46'' = 30'26''$$

### **Tiempo real de retención en el floculador de la línea # 3.**

#### **Materiales**

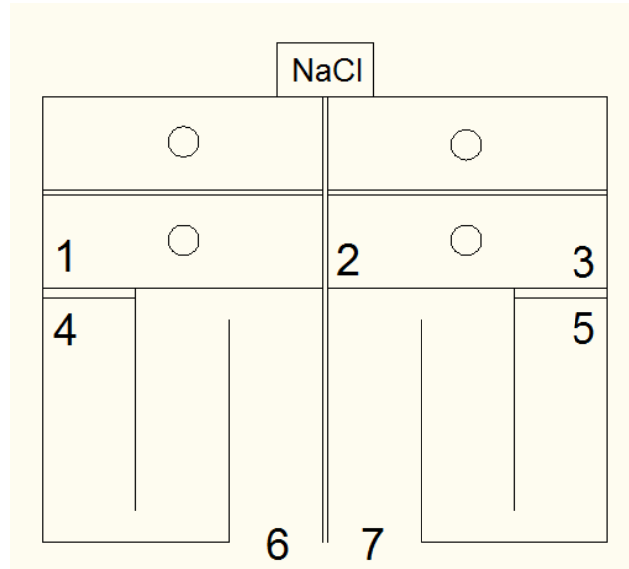
- Conductímetro
- Cronómetro

#### **Reactivos**

- Solución saturada de NaCl

**Procedimiento:** Se coloca la sustancia trazadora en el canal de distribución que se dirige hacia el floculador #3, y se toman las muestras cada 15 segundos en los puntos 1, 2 y 3, teniendo que estos puntos nos servirán para determinar el tiempo de retención en la primera cámara de floculación mecánica. Cada 30 segundos se toman las muestras en los puntos 4 y 5; y con ello determinaremos el tiempo de retención en la segunda cámara de floculación mecánica, por último cada minuto en los puntos 6 y 7, y con ello determinaremos el tiempo de retención en la cámara de floculación hidráulica.

*Gráfico 4-9. Puntos de muestreo en las cámaras de floculación mecánica 1, 2; y en la cámara de floculación hidráulica.*



FUENTE: AUTOR

### Resultados:

Para la primera cámara de floculación mecánica se obtuvo que la sustancia trazadora atravesó los puntos de estudio 1, 2 y 3 aproximadamente a los 2'30" (puede observarse en la tabla inferior, la cual representa un promedio de los resultados obtenidos en los puntos ya mencionados), por lo tanto el tiempo de retención en la primera cámara de floculación estudiada, está muy por debajo de los 9 minutos que son empleados para realizar las pruebas de jarras por parte de los operarios de la planta.

*Tabla 4-8. Promedio de los puntos 1, 2, y 3 (gráfico 4-9) empleado para la determinación del tiempo real en la primera cámara de floculación mecánica.*



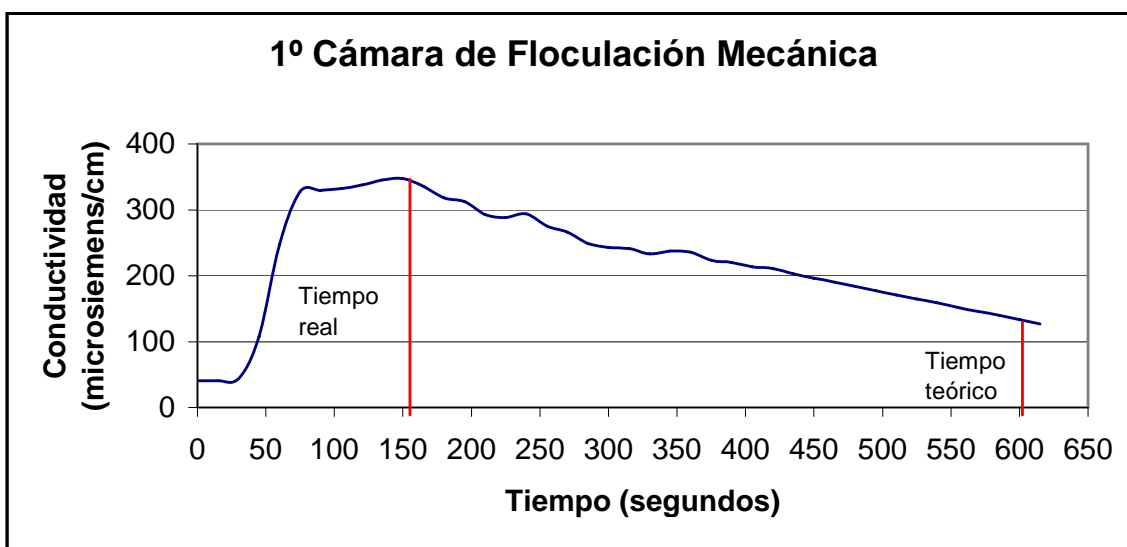


1º Cámara F. Mecánica	
Tiempo	Conductiv
Segundos	$\mu\text{s/cm}$
0	41
15	41
30	44
45	108
60	247
75	328
90	330
105	332
120	338
135	346
150	348
165	336
180	318
195	312
210	293
225	289
240	294

FUENTE: AUTOR

Representando el tiempo teórico vs tiempo real tenemos el siguiente gráfico.

Gráfico 4-10. Comparación entre el tiempo real y el tiempo teórico de retención de la primera cámara de floculación mecánica.



FUENTE: AUTOR



*Tabla 4-9. Tiempo teórico y tiempo real en la primera cámara de floculación mecánica.*

Tiempo teórico	Tiempo real
10'20"	2'30"

FUENTE: AUTOR

Para la segunda cámara de floculación mecánica se obtuvo que la sustancia trazadora atravesó los puntos de estudio 4 y 5 aproximadamente a los 9'15" (puede observarse en las tablas inferiores, un promedio de los resultados obtenidos en mencionados puntos), por lo tanto el tiempo de retención en la segunda cámara de floculación estudiada, está muy próximo a los 9 minutos que son empleados para realizar las pruebas de jarras por parte de los operarios de la planta.

*Tabla 4-10. Promedio de los puntos 4 y 5 (gráfico 4-9) empleado para la determinación del tiempo real en la segunda cámara de floculación mecánica.*

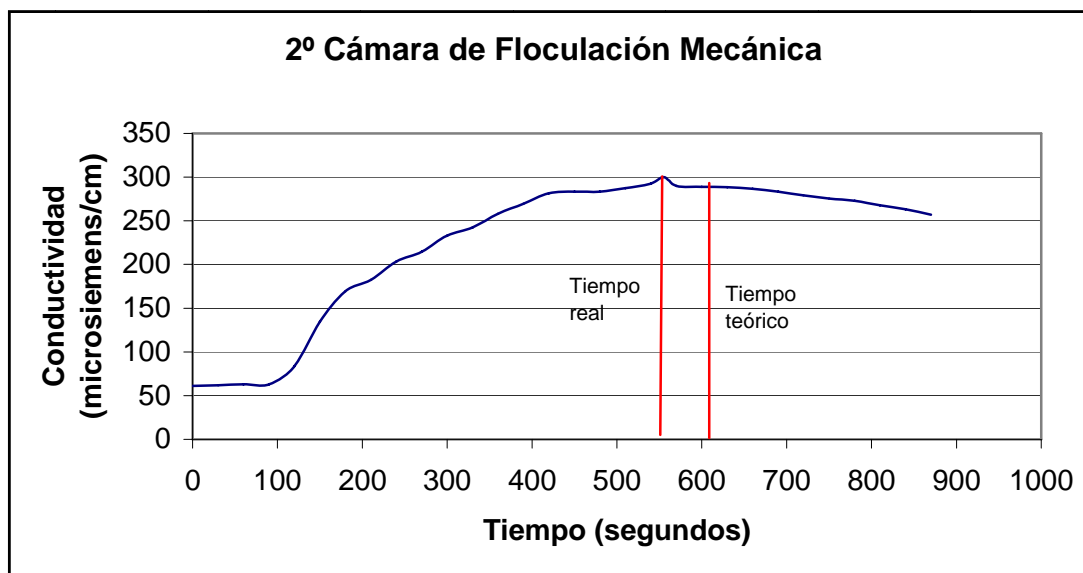
2° Cámara F. Mecánica	
Tiempo	Conductiv
Segundos	$\mu\text{s/cm}$
0	61
30	62
60	63
90	63
120	84
150	135
180	170
210	183
240	204
270	215
300	233
330	243
360	258
390	270
420	282
450	284
480	284
510	288
540	293
555	300
570	290
600	289
630	289
660	287
690	284
720	279
750	276
780	273

FUENTE: AUTOR



Gráficamente, tenemos lo siguiente:

Gráfico 4-11. Comparación entre el tiempo real y el tiempo teórico de retención de la segunda cámara de floculación mecánica



FUENTE: AUTOR

Tabla 4-11. Tiempo teórico y tiempo real en la segunda cámara de floculación mecánica.

Tiempo teórico	Tiempo real
10'20"	9'15"

FUENTE: AUTOR

Para la floculación hidráulica se obtuvo que la sustancia trazadora atravesó los puntos de estudio 6 y 7 aproximadamente a los 17 minutos (puede observarse en la siguiente tabla).



Tabla 4-12. Promedio de los puntos 6 y 7 (gráfico 4-9) empleado para la determinación del tiempo real en la cámara de floculación hidráulica.

<b>Hidraulico</b>	
Tiempo minutos	Conductiv
5	84
6	86
7	97
8	122
9	164
10	211
11	261
12	300
13	338
14	356
15	372
16	380
17	380
18	377
19	370
20	362
21	352

FUENTE: AUTOR

Por lo tanto el tiempo de retención en la floculación hidráulica, se obtiene restando el tiempo real que se obtuvo promediando los puntos 6 y 7 del tiempo real de retención de la segunda cámara de floculación mecánica (promedio de los resultados de los puntos 4 y 5).

De donde se obtiene lo siguiente:

$$T_{real} = 17' - 9'15'' = 7'45''$$

Tabla 4-13. Tiempo teórico y tiempo real en la cámara de floculación hidráulica.

Tiempo teórico	Tiempo real
9'46''	7'45''

FUENTE: AUTOR



### Tiempo real de floculación.

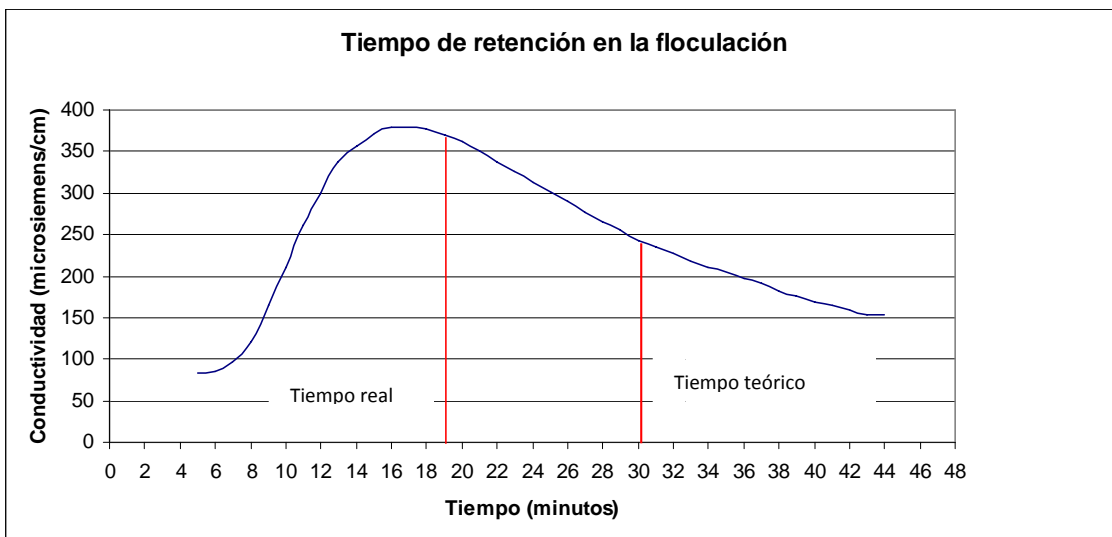
Este tiempo se obtiene por la sumatoria de los tiempos reales de las 2 cámaras de floculación hidráulica y del tiempo real de floculación hidráulica.

$$T_{real} = T_{mecánica1} + T_{mecánica2} + T_{hidráulico} = 2'30'' + 9'15'' + 7'45'' = 19'30''$$

Gráficamente con respecto a la floculación en general (mecánica cámara 1 y 2 e hidráulica) tenemos lo siguiente:

*Gráfico 4-12. Comparación entre el tiempo real y el tiempo teórico de retención de la*

*floculación mecánica e hidráulica*



FUENTE: AUTOR



*Tabla 4-14. Tiempo teórico y tiempo real en la floculación mecánica e hidráulica en general.*

Tiempo teórico	Tiempo real
30'46''	19'30''

FUENTE: AUTOR

#### **4.1.2.3. Determinación de Condiciones Hidráulicas en Floculadores**

**Objetivo:** Determinar el tipo de flujo con el que trabaja la cámara de floculación hidráulica de la línea #3.

**Materiales:**

- Conductímetro
- Cronómetro

**Reactivos:**

- NaCl

**Procedimiento:** Se coloca la sustancia trazadora en el canal de distribución que se dirige hacia el floculador #3, y se toman las muestras cada 15 segundos en los puntos 1, 2 y 3, teniendo en cuenta que estos puntos nos sirvieron para determinar el tiempo de retención en la primera cámara de floculación mecánica. Cada 30 segundos se toman las muestras en los puntos 4 y 5; y con ello determinamos el tiempo de retención en la segunda cámara de floculación mecánica, por último cada minuto en los puntos 6 y 7, y con ello determinamos el tiempo de retención en la cámara de floculación hidráulica.

Para el análisis del Modelo de Wolf Resnick tomamos como punto de estudio el #7 del gráfico 4-9.



Estos datos se encuentran en el ANEXO E1.

**Cálculos y Resultados:** Utilizamos el Modelo de Wolf Resnick, para lo cual procesamos los datos obtenidos de la forma que se muestra en la siguiente tabla (tabla 4-14):

Tabla 4-15. Aplicación del Modelo de Wolf Resnick, en la cámara de floculación hidráulica de la línea #3 (punto #7, gráfico 4-9).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

F. Hidráulica									
V=	58.56	m <sup>3</sup>							
Co=	41	µs/cm							
D=	18	m/h							
t	Δt	C	C-Co	C-Co/Δt <sup>2</sup>	F(C-Co)/Δt <sup>2</sup>	F(t)	V(t)	1-F(t)	Log(1-F(t))
min	min	µs/cm	µs/cm						
0	0.00	41	0	0.000	0.000	0.000	0	1.000	0
5	0.00	81	40	0.000	0.000	0.000	0.27777778	1.000	0
6	1.00	83	42	11.000	11.000	0.005	0.33333333	0.995	-0.00100531
7	1.00	92	51	25.500	46.500	0.010	0.38888889	0.990	-0.00445187
8	1.00	112	71	35.500	82.000	0.018	0.44444444	0.982	-0.00788337
9	1.00	143	102	51.000	133.000	0.029	0.5	0.971	-0.01285961
10	1.00	185	144	72.000	205.000	0.045	0.55555556	0.955	-0.01998341
11	1.00	228	187	93.500	298.500	0.065	0.61111111	0.935	-0.02941236
12	1.00	267	226	113.000	411.500	0.090	0.66666667	0.910	-0.04108792
13	1.00	309	268	134.000	545.500	0.120	0.72222222	0.880	-0.0553528
14	1.00	327	286	143.000	688.500	0.151	0.77777778	0.849	-0.07111099
15	1.00	349	308	154.000	842.500	0.185	0.83333333	0.815	-0.08874625
16	1.00	361	320	160.000	1002.500	0.220	0.88888889	0.780	-0.10788021
17	1.00	367	326	163.000	1165.500	0.256	0.94444444	0.744	-0.1282381
18	1.00	369	328	164.000	1329.500	0.292	1	0.708	-0.14975391
19	1.00	365	324	162.000	1491.500	0.327	1.05555556	0.673	-0.17210828
20	1.00	360	319	159.500	1651.000	0.362	1.11111111	0.638	-0.19530234
21	1.00	352	311	155.500	1808.500	0.396	1.16666667	0.604	-0.21917353
22	1.00	342	301	150.500	1957.000	0.429	1.22222222	0.571	-0.24359813
23	1.00	331	290	145.000	2102.000	0.461	1.27777778	0.539	-0.26850519
24	1.00	322	281	140.500	2242.500	0.492	1.33333333	0.508	-0.2940834
25	1.00	312	271	135.500	2378.000	0.522	1.38888889	0.478	-0.32026587
26	1.00	301	260	130.000	2508.000	0.550	1.44444444	0.450	-0.34696219
27	1.00	290	249	124.500	2632.500	0.577	1.5	0.423	-0.37416568
28	1.00	279	238	119.000	2751.500	0.604	1.55555556	0.396	-0.40186381
29	1.00	268	227	113.500	2865.000	0.628	1.61111111	0.372	-0.43003676
30	1.00	256	215	107.500	2972.500	0.652	1.66666667	0.348	-0.45851878
31	1.00	248	207	103.500	3076.000	0.675	1.72222222	0.325	-0.48782726
32	1.00	237	196	98.000	3174.000	0.696	1.77777778	0.304	-0.517529
33	1.00	227	186	93.000	3267.000	0.717	1.83333333	0.283	-0.54772755
34	1.00	220	179	89.500	3356.500	0.736	1.88888889	0.264	-0.57891749
35	1.00	212	171	85.500	3442.000	0.755	1.94444444	0.245	-0.61096323
36	1.00	203	162	81.000	3523.000	0.773	2	0.227	-0.64367186
37	1.00	198	157	78.500	3601.500	0.790	2.05555556	0.210	-0.67791002
38	1.00	189	148	74.000	3675.500	0.806	2.11111111	0.194	-0.71286126
39	1.00	182	141	70.500	3746.000	0.822	2.16666667	0.178	-0.7499859
40	1.00	175	134	67.000	3813.000	0.836	2.22222222	0.164	-0.78837431
41	1.00	169	128	64.000	3877.000	0.850	2.27777778	0.150	-0.8253561
42	1.00	164	123	61.500	3938.500	0.864	2.33333333	0.136	-0.8643027
43	1.00	160	119	59.500	3998.000	0.877	2.38888889	0.123	-0.91024634
44	1.00	154	113	56.500	4054.500	0.889	2.44444444	0.111	-0.95639142
45	1.00	148	107	53.500	4108.000	0.901	2.5	0.099	-1.00512716
46	1.00	142	101	50.500	4158.500	0.912	2.55555556	0.088	-1.05676197
47	1.00	136	95	47.500	4206.000	0.923	2.61111111	0.077	-1.11166284
48	1.00	130	89	44.500	4250.500	0.933	2.66666667	0.068	-1.17027124
49	1.00	124	83	41.500	4292.000	0.942	2.72222222	0.060	-1.23132475
50	1.00	118	77	38.500	4330.500	0.950	2.77777778	0.050	-1.30088711
51	1.00	112	71	35.500	4366.000	0.958	2.83333333	0.042	-1.37439123
52	1.00	106	65	32.500	4398.500	0.965	2.88888889	0.035	-1.45470198
53	1.00	100	59	29.500	4428.000	0.971	2.94444444	0.029	-1.54321145
54	1.00	94	53	26.500	4454.500	0.977	3	0.023	-1.64178862
55	1.00	88	47	23.500	4478.000	0.982	3.05555556	0.018	-1.75202608
56	1.00	82	41	20.500	4498.500	0.987	3.11111111	0.013	-1.88067071
57	1.00	76	35	17.500	4516.000	0.991	3.16666667	0.009	-2.03043303
58	1.00	70	29	14.500	4530.500	0.994	3.22222222	0.006	-2.21166393
59	1.00	64	23	11.500	4542.000	0.996	3.27777778	0.004	-2.44133801
60	1.00	58	17	8.500	4550.500	0.998	3.33333333	0.002	-2.75573197

FUENTE: AUTOR





En esta tabla tendremos que:

V= Volumen de la unidad analizada

Co= Conductividad inicial del agua cruda

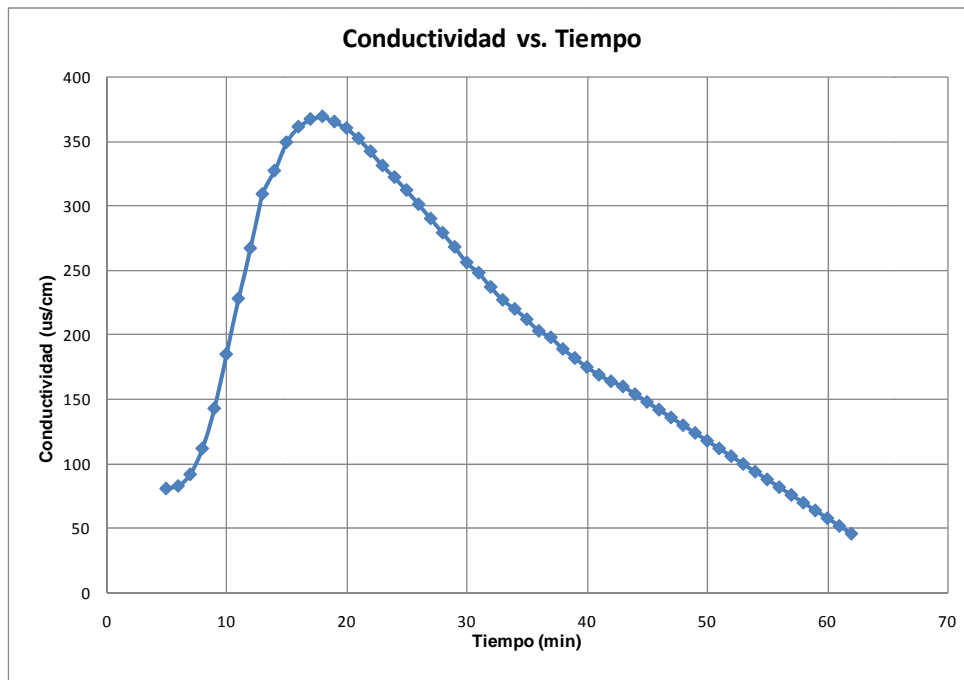
to= Tiempo real de retención

t= tiempo medido a partir del ingreso de la sustancia trazadora hasta la salida de la misma.

$\Delta t = t - t_0$

Con estos resultados procedemos a graficar la curva de Concentración del trazador en el reactor analizado frente al tiempo que transcurre durante su recorrido por el mismo. Gráfico 4-13

Gráfico 4-13. Curva de Concentración del trazador en el efluente de la cámara de floculación hidráulica de la línea #3 (Punto #7, gráfico 4-9).

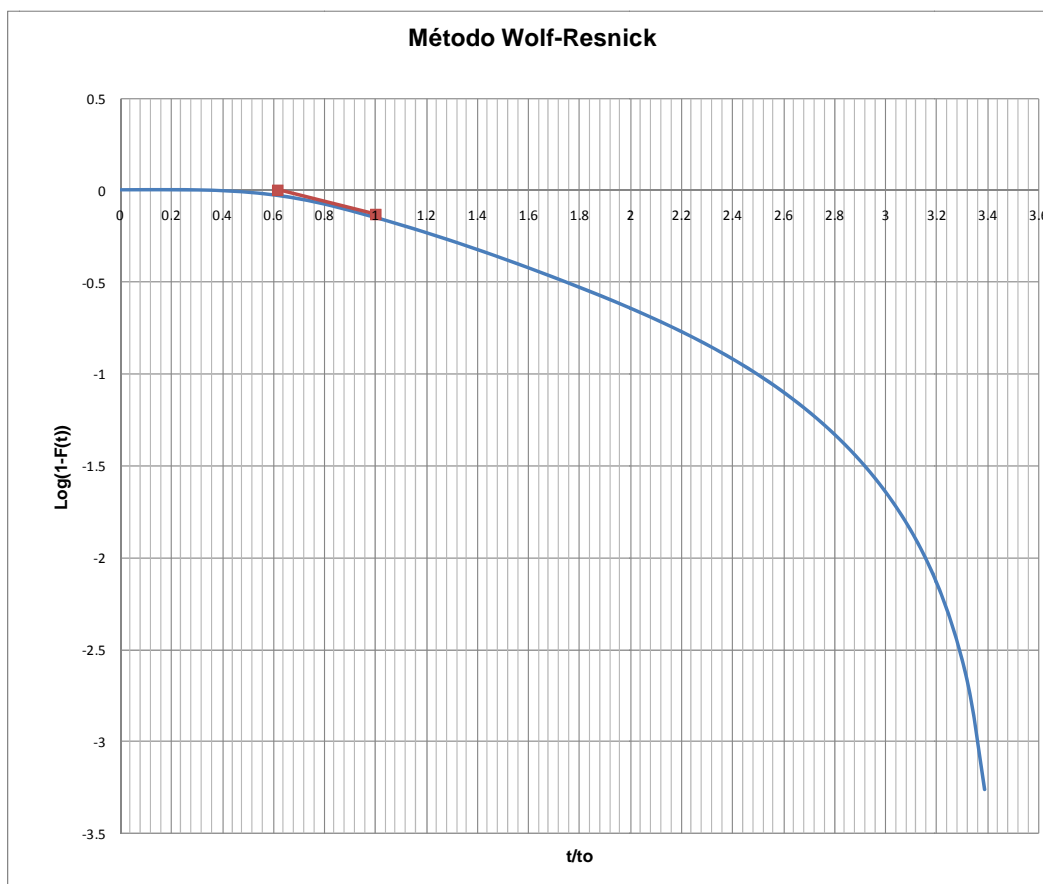


FUENTE: AUTOR



Graficamos entonces la fracción remanente de conductividad en la cámara de floculación hidráulica de la línea #3 (gráfico 4-14).

Gráfico 4-14. Determinación de los parámetros  $\text{taga}$  y  $\theta$  del Modelo de Wolf y Resnick (Punto #7, gráfico 4-9)



FUENTE: AUTOR

Se traza la línea tangente en el punto donde la línea comienza a ponerse vertical, prolongamos la tangente hasta que corte en el eje x, y la distancia del origen al corte será el valor de  $\theta$  (gráfico 4-15).

$$\theta = 0.62$$

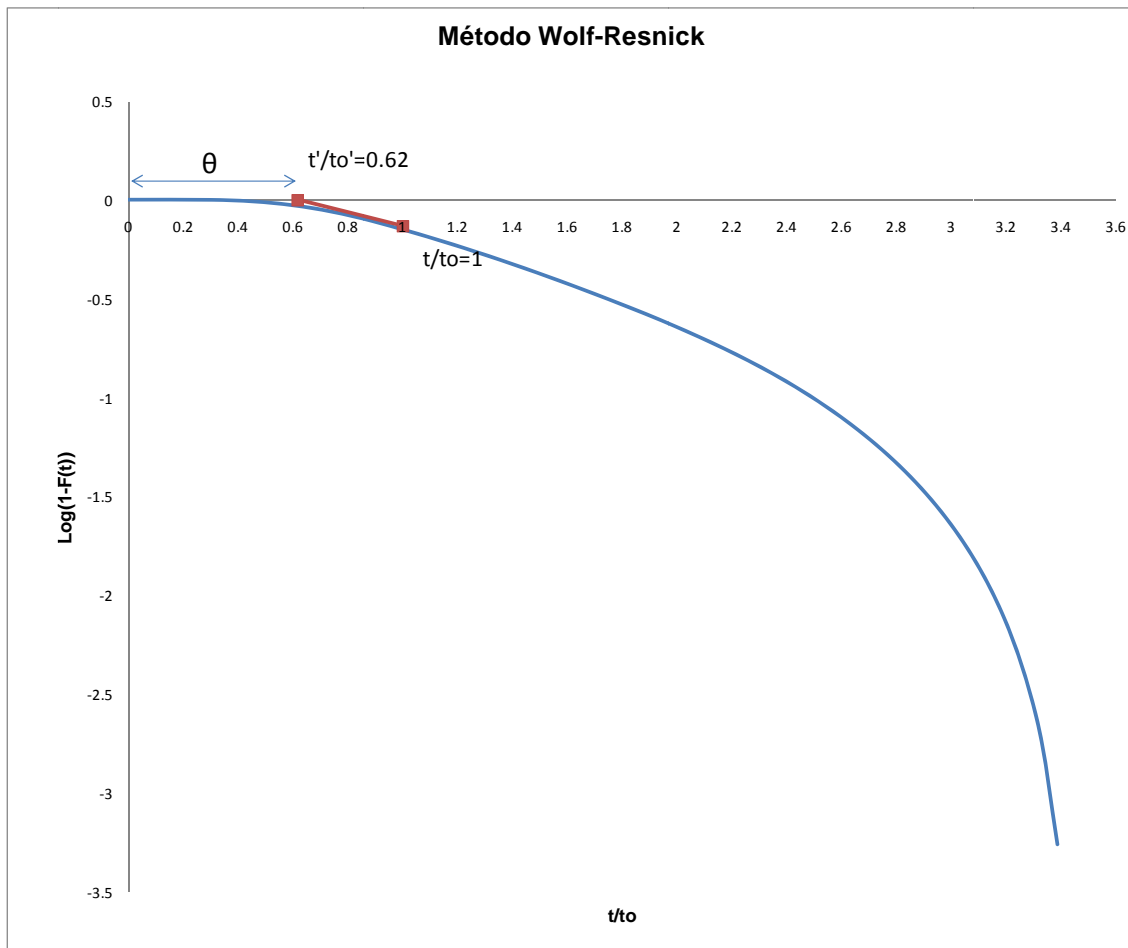
El valor de la  $\text{taga}$  se obtiene mediante la siguiente relación:



$$\text{tag } \alpha = \frac{1}{\frac{t}{t_0} - \frac{t'}{t_0}}$$

Para lo cual;

Gráfico 4-15. Esquema de los puntos usados para calcular  $\text{tag } \alpha$ .



FUENTE: AUTOR

De donde se tiene que:

$$\text{tag } \alpha = 2.63$$

Con estos resultados pueden determinarse los demás parámetros para el modelo de Wolf Resnick, de la siguiente manera:



$$p = \frac{\theta * \text{tag} \alpha}{0.434 + (\theta * \text{tag} \alpha)}$$

$$p = 0.789$$

ZONA MUERTA

$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$

$$m = 0.215$$

FRACCIÓN DE FLUJO TIPO PISTÓN

$$\theta = p(1 - m)$$

$$\theta = 0.5$$

FRACCIÓN DE FLUJO MEZCLADO

$$M = (1 - p)(1 - m)$$

$$M = 0.164$$

COMPROBACIÓN

$$M + m + \theta = 1$$

$$1 = 1$$

**Resultados:** El porcentaje de zonas muertas considerando que el tiempo real es menor que el teórico en la floculación, nos indica que la sustancia trazadora no esta ocupando todo el volumen de la unidad. Existe además predominio de Flujo Pistón frente al Flujo mezclado

*Tabla 4-16. Resultados expresados en %.*

<b>Zona Muerta</b>	21.508
<b>Flujo Pistón</b>	79.0
<b>Flujo Mezclado</b>	16.5

FUENTE: AUTOR



### 4.1.3. Sedimentación

#### 4.1.3.1. Determinación del Tiempo de Retención de Sedimentadores

**Objetivo:** Determinar el tiempo de retención real en los sedimentadores y compararlos con el tiempo teórico.

#### **Cálculo del tiempo teórico de retención en las cámaras de sedimentación de la línea # 3.**

Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$T_t = \frac{V}{Q}$$

Donde  $T_t$  = Tiempo teórico de sedimentación

$V$  = Volumen útil

$Q$  = Caudal que entra en un sedimentador

$$T_t = \frac{99.1m^3}{0.05m^3/s} = 1982s = 33'$$

#### **Tiempo real de retención en el sedimentador de la línea # 3.**

##### **Materiales**

- Conductímetro
- Cronómetro

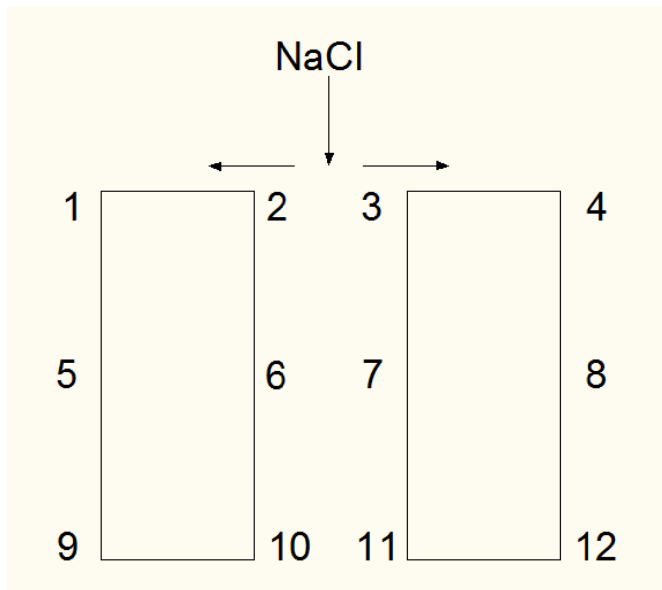
##### **Reactivos**

- Solución saturada de NaCl

**Procedimiento:** Colocamos la solución trazadora al ingreso del sedimentador # 3, recolectamos las muestras en todos los puntos con el mismo lapso de tiempo, las primeras 15 muestras cada minuto y las siguientes 15 cada dos minutos dando un total de 30 muestras y 45 minutos en todo el muestreo, con estos datos determinamos el tiempo de retención.



Gráfico 4-16. Puntos de muestreo en la cámara de sedimentación de la línea #3.



FUENTE: AUTOR

**Resultados:**

Con los datos obtenidos se elaboró una curva Tiempo vs. Conductividad para el ingreso al sedimentador (considerando los puntos 1,2,3 y 4 y promediándolos); otro gráfico se obtuvo con los puntos 5,6,7 y 8 para el centro del sedimentador, finalmente con los puntos 9,10,11 y 12 para la salida del sedimentador.



Tabla 4-17. Puntos 1, 2, y 3 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3.

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
Tiempo	Conductu	Tiempo	Conductu	Tiempo	Conductu
0	97	0	97	0	97
1	97	1	97	1	97
2	97	2	97	2	97
3	97	3	97	3	97
4	97	4	97	4	97
5	97	5	97	5	97
6	97	6	97	6	97
7	97	7	97	7	97
8	97	8	97	8	97
9	97	9	97	9	97
10	97	10	97	10	97
11	97	11	97	11	97
12	97	12	97	12	97
13	97	13	97	13	97
14	97	14	97	14	97
16	97	16	102	16	97
18	97	18	102	18	97
20	101	20	115	20	97
22	126	22	166	22	107
24	230	24	216	24	118
26	230	26	257	26	127
28	272	28	276	28	172
30	270	30	275	30	230
32	253	32	265	32	227
34	249	34	265	34	228
36	243	36	265	36	227
38	242	38	245	38	227
40	230	40	243	40	219
42	225	42	237	42	219
44	220	44	247	44	216

FUENTE: AUTOR

Tabla 4-18. Puntos 4, 5, y 6 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3.

PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
Tiempo	Conductu	Tiempo	Conductu	Tiempo	Conductu
0	97	0	97	0	97
1	97	1	97	1	97
2	97	2	97	2	97
3	97	3	97	3	97
4	97	4	97	4	97
5	97	5	97	5	97
6	97	6	97	6	97
7	97	7	97	7	97
8	97	8	97	8	97
9	97	9	97	9	97
10	97	10	97	10	97
11	97	11	97	11	97
12	97	12	97	12	97
13	100	13	97	13	97
14	101	14	97	14	100
16	114	16	97	16	110
18	105	18	97	18	116
20	112	20	97	20	119
22	126	22	107	22	148
24	130	24	142	24	244
26	208	26	265	26	265
28	235	28	262	28	291
30	225	30	259	30	276
32	224	32	254	32	278
34	222	34	245	34	272
36	220	36	241	36	267
38	214	38	237	38	273
40	212	40	226	40	253
42	207	42	222	42	253
44	204	44	212	44	249

FUENTE: AUTOR



Tabla 4-19. Puntos 7, 8, y 9 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3.

PUNTO 7	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	102
20	109
22	124
24	126
26	181
28	252
30	250
32	240
34	243
36	242
38	241
40	227
42	225
44	222

PUNTO 8	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	103
24	124
26	149
28	241
30	238
32	233
34	229
36	227
38	220
40	217
42	210
44	210

PUNTO 9	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	99
16	100
18	101
20	100
22	105
24	264
26	274
28	268
30	264
32	248
34	245
36	240
38	230
40	224
42	221
44	211

FUENTE: AUTOR

Tabla 4-20. Puntos 10, 11, y 12 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3.

PUNTO 10	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	103
22	174
24	267
26	277
28	288
30	289
32	286
34	273
36	262
38	250
40	245
42	230
44	230

PUNTO 11	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	97
24	109
26	222
28	263
30	258
32	268
34	260
36	254
38	249
40	247
42	231
44	226

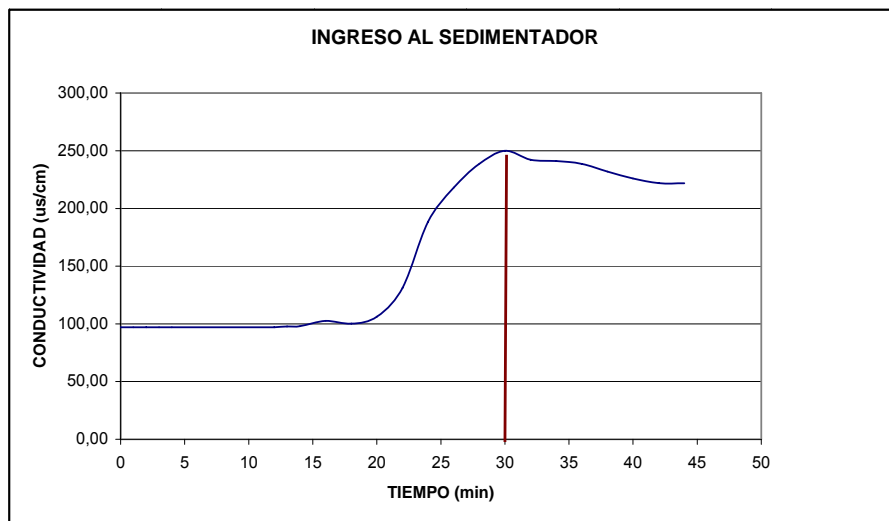
PUNTO 12	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	100
16	103
18	102
20	102
22	116
24	123
26	146
28	259
30	250
32	244
34	242
36	234
38	224
40	216
42	214
44	210

FUENTE: AUTOR



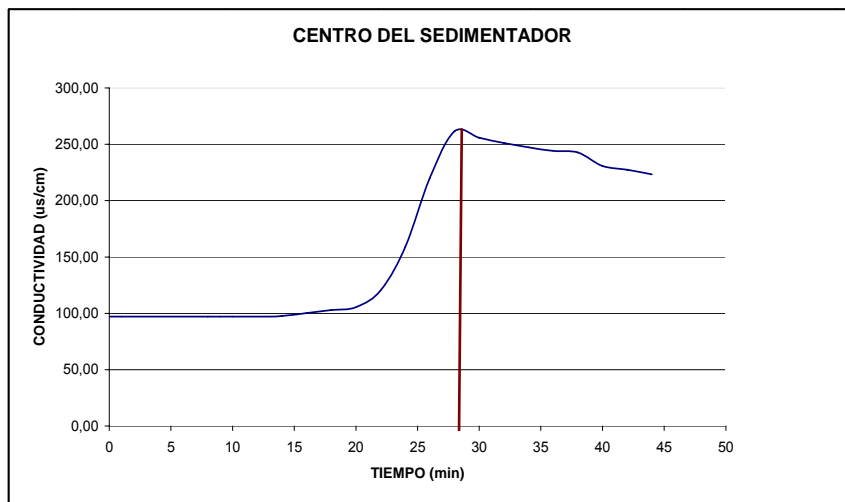


Gráfico 4-17. Puntos 1, 2,3 y 4 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3 (ingreso al sedimentador, gráfico 4-16).



FUENTE: AUTOR

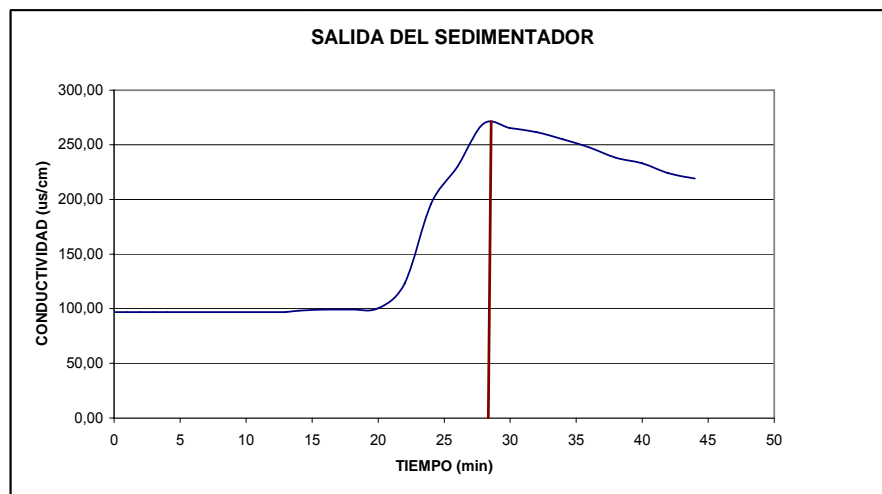
Gráfico 4-18. Puntos 5, 6, 7 y 8 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3 (ingreso al centro del sedimentador; gráfico 4-16).



FUENTE: AUTOR



Gráfico 4-19. Puntos 9, 10, 11 y 12 usados para determinar el tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3 (salida del sedimentador; gráfico 4-16).



FUENTE: AUTOR

De acuerdo con estos resultados se obtiene un promedio general para todo el sedimentador dando un tiempo promedio real de 28 minutos

Tabla 4-21. Tiempo teórico y tiempo real de retención en la cámara de sedimentación de la línea #3.

Tiempo teórico	Tiempo real
33'	28'

FUENTE: AUTOR



#### 4.1.3.2. Comportamiento Hidráulico de los Sedimentadores

**Objetivo:** Determinar el tipo de flujo con el que trabaja la cámara de sedimentación de la línea #3.

**Materiales:**

- Conductímetro
- Cronómetro

**Reactivos:**

- NaCl

**Procedimiento:** Colocamos la solución trazadora al ingreso del sedimentador # 3, recolectamos las muestras en todos los puntos con el mismo lapso de tiempo, las primeras 15 muestras cada minuto y las siguientes cada dos minutos dando un total de 34 muestras, estos datos se encuentran en el ANEXO E1

**Cálculos:** Utilizamos el Modelo de Wolf Resnick, para lo cual procesamos los datos obtenidos de la forma que se muestra en la siguiente tabla (tabla 4-22):



Tabla 4-22. Aplicación del Modelo de Wolf Resnick, en el sedimentador #3 (promedio de los puntos 1, 2, 5, 6, 9 y 10; gráfico 4-16).

PROMEDIO PUNTOS (1, 2, 5, 6, 9, 10)									
		V=	99.1	m <sup>3</sup>					
		Co =	97	µs/cm					
		to =	28	min					
t	t-t <sub>0</sub>	C	C-Co	(C-Co)t/2	√(C-Co)t/2	F(t)	t/t <sub>0</sub>	1-F(t)	Log (1-F(t))
min	min	µs/cm	µs/cm						
0	0.00	97	0	0.000	0.000	0.000	0	1.000	0
1	1.00	98	1	0.500	0.500	0.000	0.035714	1.000	-0.000111
2	1.00	101	4	2.000	2.500	0.001	0.071429	0.999	-0.000554
3	1.00	102	5	2.500	5.000	0.003	0.107143	0.997	-0.001108
4	1.00	106	9	4.500	9.500	0.005	0.142857	0.995	-0.002108
5	1.00	138	41	20.500	30.000	0.015	0.178571	0.985	-0.006694
6	1.00	241	144	72.000	102.000	0.052	0.214286	0.948	-0.023192
7	1.00	273	176	88.000	190.000	0.097	0.25	0.903	-0.044247
8	1.00	276	179	89.500	279.500	0.142	0.285714	0.858	-0.066762
9	1.00	272	175	87.500	367.000	0.187	0.321429	0.813	-0.089964
10	1.00	264	167	83.500	450.500	0.230	0.357143	0.770	-0.113324
11	1.00	258	161	80.500	531.000	0.271	0.392857	0.729	-0.1371
12	1.00	253	156	78.000	609.000	0.310	0.428571	0.690	-0.161451
13	1.00	246	149	74.500	683.500	0.348	0.464286	0.652	-0.186057
14	1.00	237	140	70.000	753.500	0.384	0.5	0.616	-0.210521
16	2.00	231	134	134.000	887.500	0.452	0.571429	0.548	-0.261584
18	2.00	225	128	128.000	1015.500	0.518	0.642857	0.482	-0.316697
20	2.00	216	119	119.000	1134.500	0.578	0.714286	0.422	-0.375063
22	2.00	208	111	111.000	1245.500	0.635	0.785714	0.365	-0.437675
24	2.00	201	104	104.000	1349.500	0.688	0.857143	0.312	-0.505837
26	2.00	191	94	94.000	1443.500	0.736	0.928571	0.264	-0.578259
28	2.00	184	87	87.000	1530.500	0.780	1	0.220	-0.658111
30	2.00	176	79	79.000	1609.500	0.821	1.071429	0.179	-0.746046
32	2.00	168	71	71.000	1680.500	0.857	1.142857	0.143	-0.843882
34	2.00	159	62	62.000	1742.500	0.888	1.214286	0.112	-0.952144
36	2.00	151	54	54.000	1796.500	0.916	1.285714	0.084	-1.075104
38	2.00	143	46	46.000	1842.500	0.939	1.357143	0.061	-1.217041
40	2.00	134	37	37.000	1879.500	0.958	1.428571	0.042	-1.378774
42	2.00	126	29	29.000	1908.500	0.973	1.5	0.027	-1.568312
44	2.00	119	22	22.000	1930.500	0.984	1.571429	0.016	-1.801227
46	2.00	113	16	16.000	1946.500	0.992	1.642857	0.008	-2.116497
48	2.00	107	10	10.000	1956.500	0.997	1.714286	0.003	-2.593618
50	2.00	102	5	5.000	1961.500	1.000	1.785714	0.000	
52	2.00	97	0	0.000	1961.500	1.000	1.857143	0.000	

FUENTE: AUTOR

En esta tabla tendremos que:

V= Volumen de la unidad analizada

Co= Conductividad inicial del agua cruda

to= Tiempo real de retención

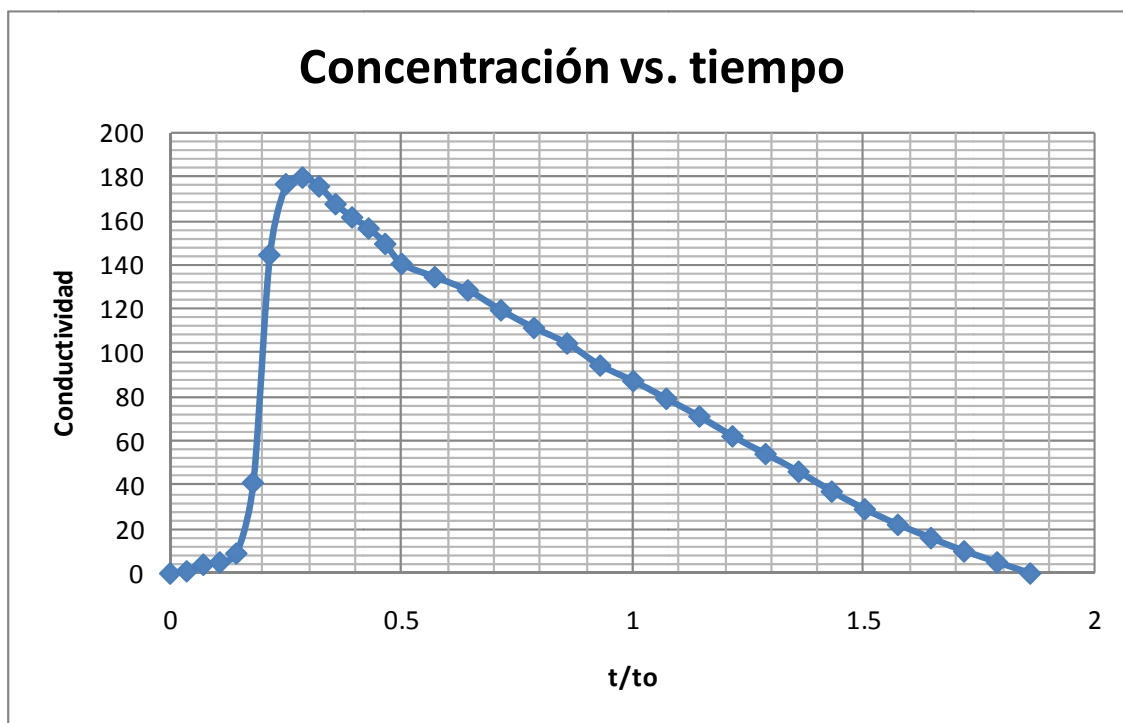


$t$ = tiempo medido a partir del ingreso de la sustancia trazadora hasta la salida de la misma.

$$\Delta t = t - t_0$$

Con estos resultados procedemos a graficar la curva de Concentración del trazador en el reactor analizado frente al tiempo que transcurre durante su recorrido por el mismo. Gráfico 4-20

Gráfico 4-20. Curva de Concentración del trazador en el efluente del sedimentador de la línea #3 (Promedio de los puntos 1, 2, 5, 6, 9 y 10; gráfico 4-16)

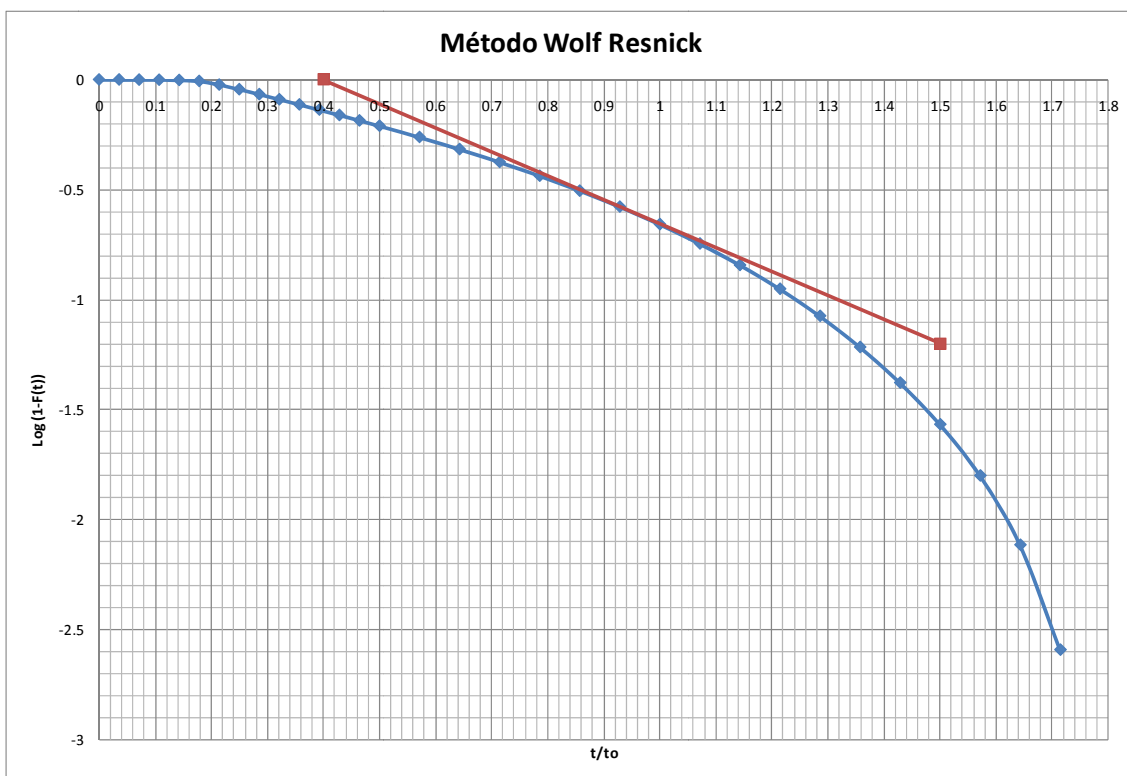


FUENTE: AUTOR

Graficamos entonces la fracción remanente de conductividad en el sedimentador de la línea #3 (gráfico 4-21).



Gráfico 4-21. Determinación de los parámetros  $\text{tag}\alpha$  y  $\theta$  del Modelo de Wolf y Resnick (Promedio de los puntos 1, 2, 5, 6, 9 y 10; gráfico 4-16)



FUENTE: AUTOR

Se traza la línea tangente en el punto donde la línea comienza a ponerse vertical, prolongamos la tangente hasta que corte en el eje x, y la distancia del origen al corte será el valor de  $\theta$  (gráfico 4-22).

$$\theta = 0.4$$

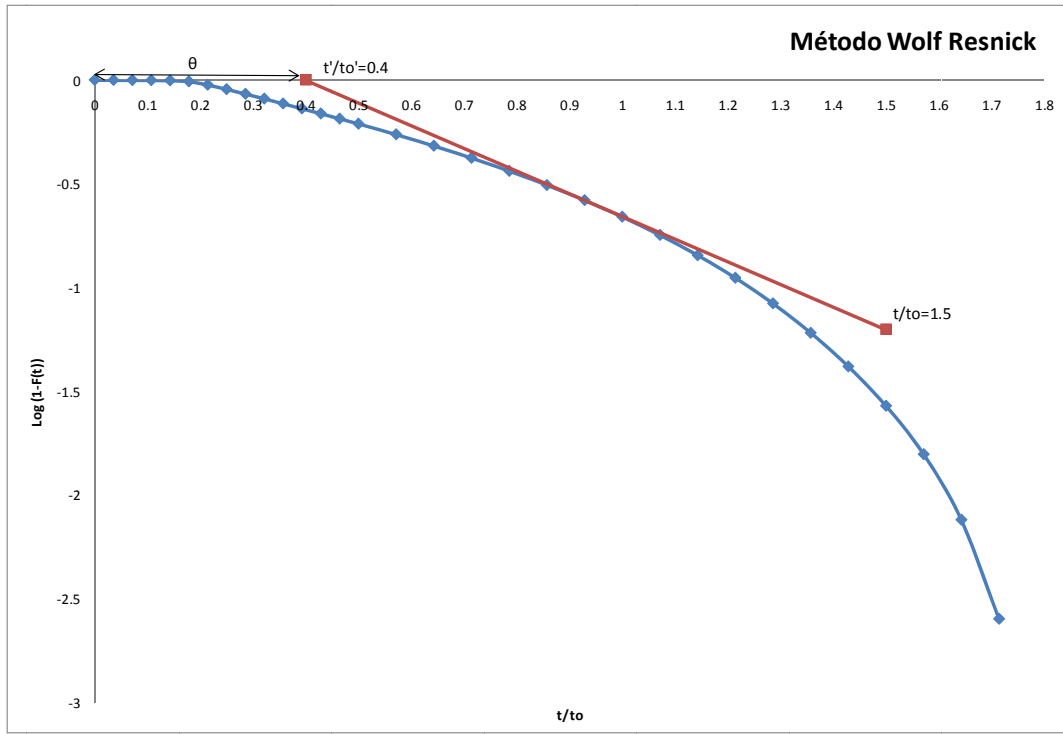
El valor de la  $\text{tag}\alpha$  se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\text{tag}\alpha = \frac{1}{\frac{t}{to} - \frac{t'}{to'}}$$

Para lo cual;



Gráfico 4-22. Esquema de los puntos 1, 2, 5, 6, 9 y 10 (gráfico 4-16) usados para obtener  $\text{tag } \alpha$ , en el sedimentador de la línea #3.



FUENTE: AUTOR

De donde se tiene que:

$$\text{tag } \alpha = 0.909$$

Con estos resultados pueden determinarse los demás parámetros para el modelo de Wolf Resnick, de la siguiente manera:

$$p = \frac{\theta * \text{tag } \alpha}{0.434 + (\theta * \text{tag } \alpha)}$$

$$p = 0.4558$$

### ZONA MUERTA



$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$

$$m = 0.1226$$

### FRACCIÓN DE FLUJO TIPO PISTÓN

$$\theta = p(1 - m)$$

$$\theta = 0.4$$

### FRACCIÓN DE FLUJO MEZCLADO

$$M = (1 - p)(1 - m)$$

$$M = 0.4774$$

### COMPROBACIÓN

$$M + m + \theta = 1$$

$$1 = 1$$

**Resultados:** El porcentaje de zonas muertas considerando que el tiempo real es menor que el teórico en la primera cámara de sedimentación de la línea #3, nos indica que la sustancia trazadora no está ocupando todo el volumen de la unidad. Tanto el Flujo pistón como el mezclado tienen valores aproximados.

*Tabla 4-23. Resultados expresados en %.*

Zona Muerta	12.26
Flujo Pistón	45.6
Flujo Mezclado	47.7

FUENTE: AUTOR

Repetimos el mismo procedimiento para el promedio de los puntos 3, 4, 7, 8, 11, 12.





Tabla 4-24. Aplicación del Modelo de Wolf Resnick, en el sedimentador #3 (promedio de los puntos 3, 4, 7, 8, 11, 12; gráfico 4-16).

PROMEDIO (3, 4, 7, 8, 11, 12)									
V=		99.1		m <sup>3</sup>					
Co =		97		µs/cm					
to=		28		min					
t	Δt	C	C-Co	(C-Co)Δt <sup>2</sup>	Σ(C-Co)Δt <sup>2</sup>	F(t)	t/to	1-F(t)	Log(1-F(t))
min	min	µs/cm	µs/cm						
0	0.00	97	0	0.000	0.000	0.000	0	1.000	0
1	1.00	98	1	0.500	0.500	0.000	0.035714	1.000	-0.000129
2	1.00	98	1	0.500	1.000	0.001	0.071429	0.999	-0.000258
3	1.00	101	4	2.000	3.000	0.002	0.107143	0.998	-0.000774
4	1.00	100	3	1.500	4.500	0.003	0.142857	0.997	-0.001162
5	1.00	102	5	2.500	7.000	0.004	0.178571	0.996	-0.001809
6	1.00	112	15	7.500	14.500	0.009	0.214286	0.991	-0.003756
7	1.00	122	25	12.500	27.000	0.016	0.25	0.984	-0.00702
8	1.00	172	75	37.500	64.500	0.038	0.285714	0.962	-0.016961
9	1.00	237	140	70.000	134.500	0.080	0.321429	0.920	-0.036151
10	1.00	242	145	72.500	207.000	0.123	0.357143	0.877	-0.056962
11	1.00	239	142	71.000	278.000	0.165	0.392857	0.835	-0.078357
12	1.00	235	138	69.000	347.000	0.206	0.428571	0.794	-0.100211
13	1.00	231	134	67.000	414.000	0.246	0.464286	0.754	-0.122538
14	1.00	224	127	63.500	477.500	0.284	0.5	0.716	-0.144815
16	2.00	220	123	123.000	600.500	0.357	0.571429	0.643	-0.191513
18	2.00	210	113	113.000	713.500	0.424	0.642857	0.576	-0.239347
20	2.00	202	105	105.000	818.500	0.486	0.714286	0.514	-0.289075
22	2.00	198	101	101.000	919.500	0.546	0.785714	0.454	-0.342965
24	2.00	192	95	95.000	1014.500	0.602	0.857143	0.398	-0.400592
26	2.00	185	88	88.000	1102.500	0.655	0.928571	0.345	-0.461792
28	2.00	177	80	80.000	1182.500	0.702	1	0.298	-0.526071
30	2.00	173	76	76.000	1258.500	0.747	1.071429	0.253	-0.597443
32	2.00	168	71	71.000	1329.500	0.789	1.142857	0.211	-0.676726
34	2.00	162	65	65.000	1394.500	0.828	1.214286	0.172	-0.764694
36	2.00	155	58	58.000	1452.500	0.863	1.285714	0.137	-0.861791
38	2.00	150	53	53.000	1505.500	0.894	1.357143	0.106	-0.974704
40	2.00	142	45	45.000	1550.500	0.921	1.428571	0.079	-1.100861
42	2.00	134	37	37.000	1587.500	0.943	1.5	0.057	-1.241815
44	2.00	129	32	32.000	1619.500	0.962	1.571429	0.038	-1.416782
46	2.00	122	25	25.000	1644.500	0.977	1.642857	0.023	-1.629745
48	2.00	116	19	19.000	1663.500	0.988	1.714286	0.012	-1.914588
50	2.00	110	13	13.000	1676.500	0.996	1.785714	0.004	-2.351281
52	2.00	104	7	7.000	1683.500	1.000	1.857143	0.000	-3.527372
54	2.00	97.5	0.5	0.500	1684.000	1.000	1.928571	0.000	

FUENTE: AUTOR

En esta tabla tendremos que:

V= Volumen de la unidad analizada



$C_0$ = Conductividad inicial del agua cruda

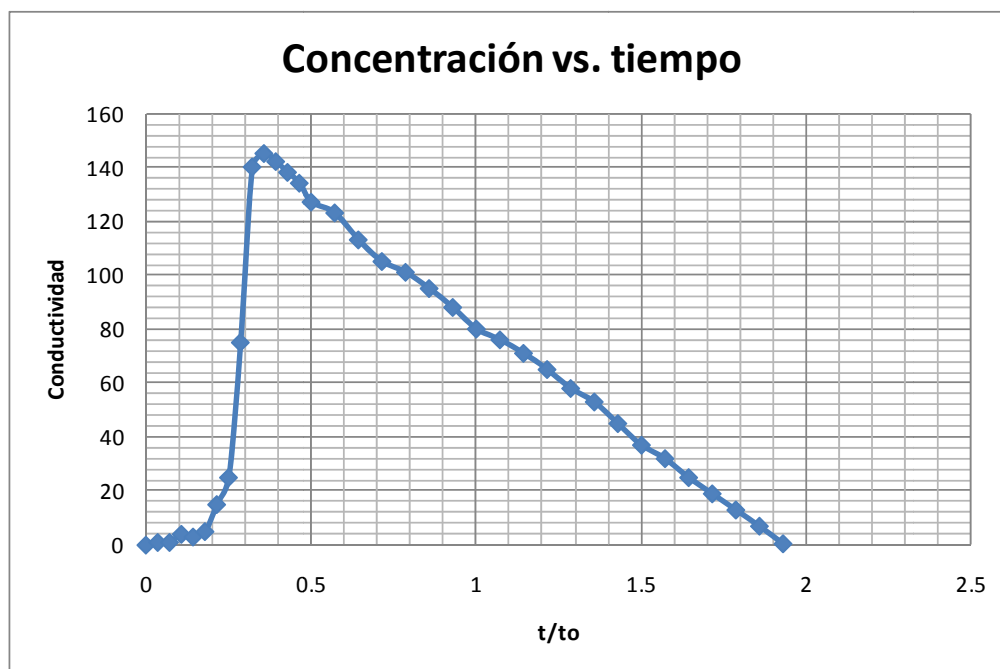
$t_0$ = Tiempo teórico de retención (obtenido en el ítem 4.1.3.1)

$t$ = tiempo medido a partir del ingreso de la sustancia trazadora hasta la salida de la misma.

$\Delta t = t - t_0$

Con estos resultados procedemos a graficar la curva de Concentración del trazador en el reactor analizado frente al tiempo que transcurre durante su recorrido por el mismo. Gráfico 4-23

Gráfico 4-23. Curva de Concentración del trazador en el efluente del sedimentador de la línea #3 (promedio de los puntos 3, 4, 7, 8, 11, 12; gráfico 4-16)

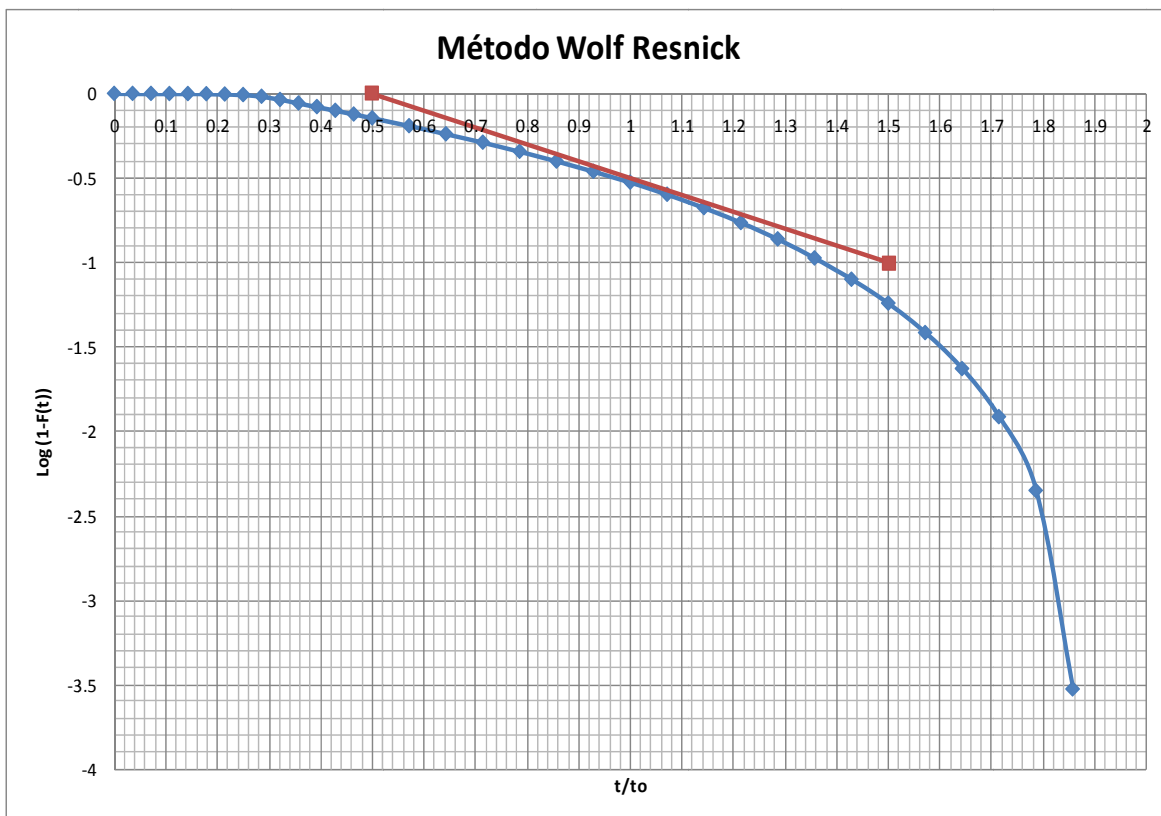


FUENTE: AUTOR

Graficamos entonces la fracción remanente de conductividad en el sedimentador de la línea #3 (gráfico 4-24).



Gráfico 4-24. Determinación de los parámetros  $\text{tag}\alpha$  y  $\theta$  del Modelo de Wolf y Resnick (promedio de los puntos 3, 4, 7, 8, 11, 12; gráfico 4-16 )



FUENTE: AUTOR

Se traza la línea tangente en el punto donde la línea comienza a ponerse vertical, prolongamos la tangente hasta que corte en el eje x, y la distancia del origen al corte será el valor de  $\theta$  (gráfico 4-23).

$$\theta = 0.5$$

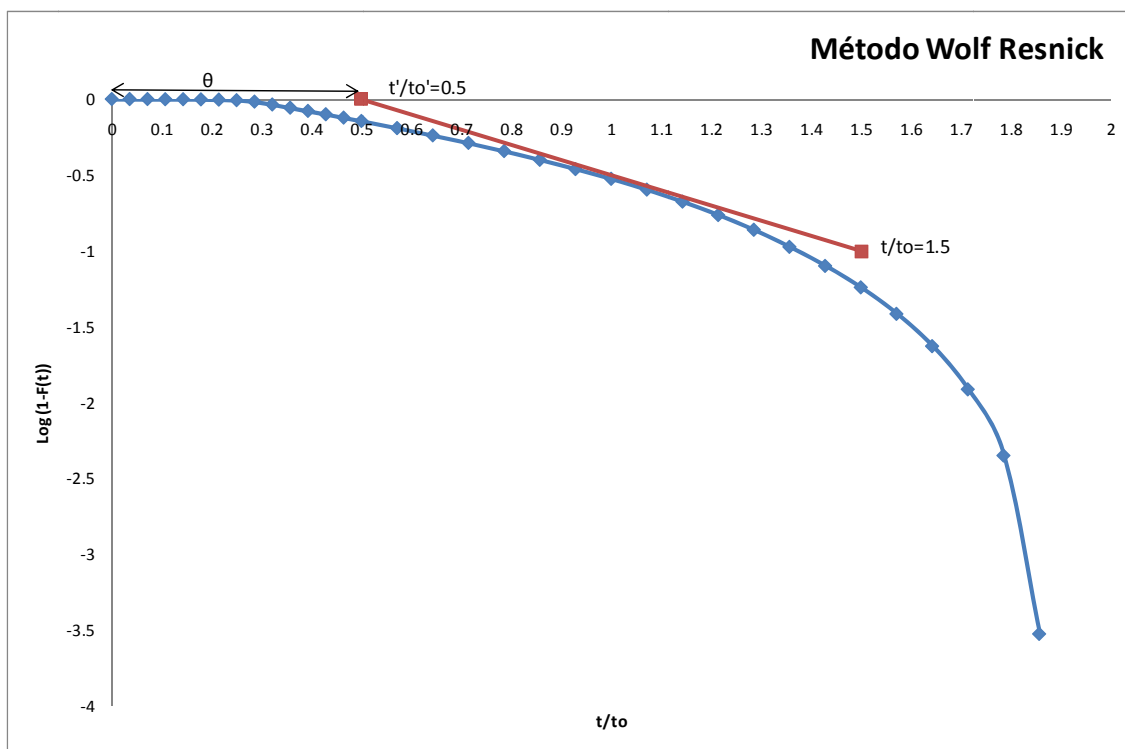
El valor de la  $\text{tag}\alpha$  se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\text{tag}\alpha = \frac{1}{\frac{t}{t_0} - \frac{t'}{t_0'}}$$

Para lo cual;



Gráfico 4-23. Esquema de los puntos 3, 4, 7, 8, 11, 12 (gráfico 4-16) usados para obtener  $\text{tag } \alpha$ , en el sedimentador de la línea #3.



FUENTE: AUTOR

De donde se tiene que:

$$\text{tag } \alpha = 1$$

Con estos resultados pueden determinarse los demás parámetros para el modelo de Wolf Resnick, de la siguiente manera:

$$p = \frac{\theta * \text{tag } \alpha}{0.434 + (\theta * \text{tag } \alpha)}$$

$$p = 0.5353$$



### ZONA MUERTA

$$m = 1 - \frac{\theta}{p}$$

$$m = 0.066$$

### FRACCIÓN DE FLUJO TIPO PISTÓN

$$\theta = p(1 - m)$$

$$\theta = 0.5$$

### FRACCIÓN DE FLUJO MEZCLADO

$$M = (1 - p)(1 - m)$$

$$M = 0.434$$

### COMPROBACIÓN

$$M + m + \theta = 1$$

$$1 = 1$$

**Resultados:** El porcentaje de zonas muertas considerando que el tiempo real es menor que el teórico en la segunda cámara de sedimentación de la línea #3, nos indica que la sustancia trazadora no está ocupando todo el volumen de la unidad. Existe además predominio de Flujo Pistón frente al Flujo mezclado.

*Tabla 4-25. Resultados expresados en %.*

<b>Zona Muerta</b>	6.6
<b>Flujo Pistón</b>	53.5
<b>Flujo Mezclado</b>	43.4

FUENTE: AUTOR



Comparando los resultados de la tabla 4-23 con los de la tabla 4-25 podemos observar que en la primera cámara de sedimentación de la línea 3 existe aproximadamente el doble del % de zonas muertas. No existe un predominio claro del tipo de flujo.

#### 4.1.4. Filtración

##### 4.1.4.1. Velocidad y Caudal de Filtrado

###### 4.1.4.1.1. Velocidad y Caudal de Filtrado en un filtro colmatado.

**Objetivo:** Determinar la velocidad y el caudal con el que opera una unidad de filtración (en este caso será el filtro #5), cuando esta colmatado.

**Materiales:**

- Mira graduada
- Cronómetro.

**Procedimiento:** Colocamos la mira dentro del filtro #5, cerramos la válvula de ingreso del afluente y procedemos a medir el tiempo necesario para que el nivel de agua baje de una marca de la regla a la siguiente ( $\Delta h$ ).

**Cálculos y resultados:**

La velocidad de filtración y el caudal serán calculados mediante la siguiente fórmula:

$$V_F = \frac{\Delta h(cm)}{t(s)}$$

De donde se tiene que:

$$V_F = \frac{65cm}{849(s)}$$

$$V_F = 0.077cm / s$$



Ahora para el obtener el caudal filtrado tenemos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V(L)}{t(s)}$$

De donde: 
$$Q = \frac{28650L}{849s}$$

$$Q = 33,75L / s$$

Para el cálculo de la tasa de filtración, tenemos que:

$$T = \frac{Q_D}{A_L}$$

En donde se tiene que:

$A_L$  = Área del lecho filtrante

$Q_D$  = Caudal filtrado por día

$$T = \frac{2865m^3 / día}{36.6m^2}$$

$$T = 78.28m^3 / m^2 .día$$

Este procedimiento se realizó cuando la carrera de los filtros era de 40 horas.

#### 4.1.4.1.2. Velocidad y Caudal de Filtrado en un filtro limpio.

**Objetivo:** Determinar la velocidad y el caudal con el que opera una unidad de filtración (en este caso será el filtro #5), cuando esta limpio.

#### **Materiales:**

- Mira graduada
- Cronómetro.



**Procedimiento:** Inmediatamente después de lavar el filtro, colocamos la mira dentro del mismo (filtro #5), cerramos la válvula de ingreso del afluente y procedemos a medir el tiempo necesario para que el nivel de agua baje de una marca de la regla a la siguiente ( $\Delta h$ ).

**Cálculos y resultados:**

La velocidad de filtración y el caudal serán calculados mediante la siguiente fórmula:

$$V_F = \frac{\Delta h(cm)}{t(s)}$$

De donde se tiene que:

$$V_F = \frac{65cm}{190(s)}$$

$$V_F = 0.34cm / s$$

Ahora para el obtener el caudal filtrado tenemos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V(L)}{t(s)}$$

De donde:

$$Q = \frac{28650L}{190s}$$

$$Q = 150.79L / s$$

Para el cálculo de la tasa de filtración, tenemos que:

$$T = \frac{Q_D}{A_L}$$

En donde se tiene que:

$A_L$  = Área del lecho filtrante





$Q_D$  = Caudal filtrado por día

$$T = \frac{12973.58m^3 / día}{36.6m^2}$$

$$T = 354.47m^3 / m^2 .día$$

#### 4.1.4.2. Lavado de Filtros

**Objetivo:** Determinar el tiempo óptimo de lavado con el cual se debe lavar cada filtro.

#### Materiales y equipos

- Turbidímetro
- Cronómetro
- Vasos descartables de 7 onz.

#### Procedimiento

Una vez vaciado el filtro #5 se procede a cerrar el desfogue e inmediatamente se inyecta aire a presión; se toman 8 muestras de agua cada 30 segundos, las siguientes 6 muestras se toman cada minuto; las siguientes 11 muestras se toman cada 30 segundos; el aire se inyecta durante 4'16" luego se abre la válvula de ingreso del agua sedimentada por un lapso de 11'1".

Se lee la turbiedad del total de las muestras tomadas y se grafica una curva Tiempo vs. NTU.

#### Resultados

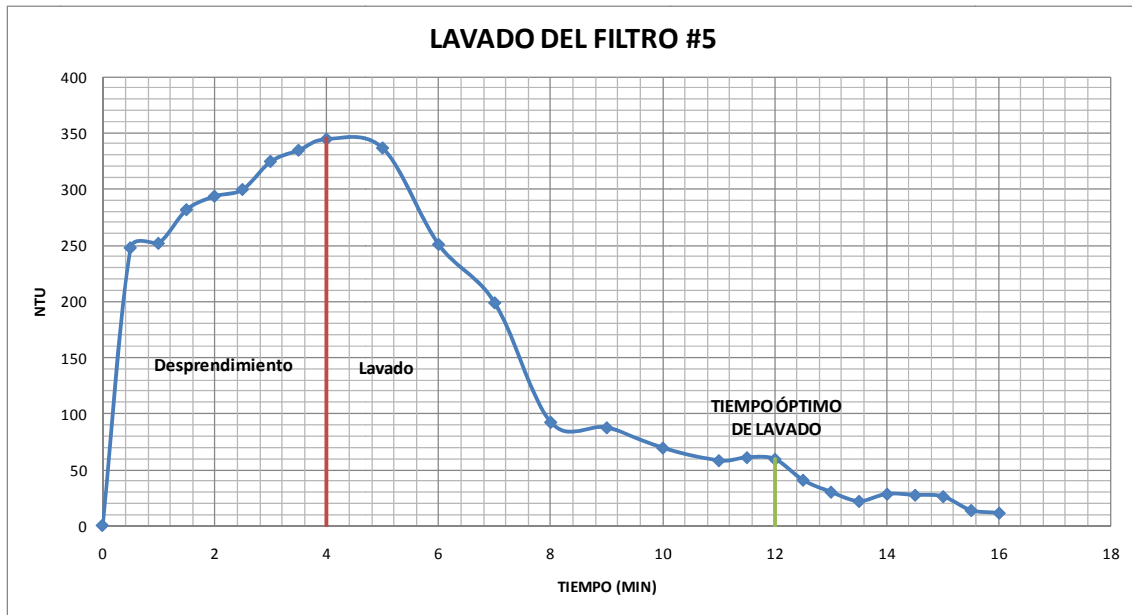
*Tabla 4-26. Valores empleados para graficar la curva del lavado del filtro #5.*



<b>LAVADO DEL FILTRO #5</b>	
<b>Carrera del filtro=40 horas</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>NTU</b>
0	0.73
0.5	248
1	252
1.5	282
2	294
2.5	300
3	325
3.5	335
4	345
5	337
6	251
7	199
8	92.5
9	87.7
10	69.6
11	58.4
11.5	61.1
12	59.6
12.5	41
13	30.3
13.5	22.1
14	28.5
14.5	27.6
15	26.3
15.5	14
16	11.6

FUENTE: AUTOR

Gráfico 4-24. Tiempo óptimo de lavado.



FUENTE: AUTOR



De acuerdo al gráfico se tiene que el tiempo de desprendimiento del floc y residuos es hasta los 4 minutos de iniciado el proceso, el lavado del filtro sería entonces desde los 4 minutos hasta los 12 minutos, siendo este último el valor óptimo de lavado; ya que posterior a este la turbiedad no varía mayormente y tiempos superiores se consideran un desperdicio del agua de lavado.

#### 4.1.5. Descripción del dosificador de Sulfato de Aluminio.

En la planta de Sústag se tienen dos alternativas sulfato de aluminio líquida Tipo B y sólido Tipo A, el sulfato aluminio líquido tiene la facilidad en la preparación y el sólido debe ser Tipo A para evitar obstrucción de las válvulas. Para el almacenamiento se dispone de dos tanques de fibra de vidrio reforzados. Cada uno tiene una longitud de 4.71 metros y un diámetro de 2.6 metros, además cuentan con: un reboce, un desagüe, aireador y un sensor de nivel. El aireador permite que el tanque tenga ventilación y no se presurice y, el sensor de nivel permite conocer la altura a la cual se encuentra el sulfato de aluminio pudiéndose visualizar tanto en el sistema SCDA y en el display del edificio de químicos. En caso de que el coagulante sobrepasara la altura a la que se encuentra el reboce, el coagulante se depositaría en el cubeto de hormigón cuya capacidad es de 50 m<sup>3</sup>, por lo que es muy importante tener la válvula del cubeto cerrada. [Manual de la Planta de Sústag]

*Gráfico 4-25. Tanques de almacenamiento de sulfato de aluminio.*



Fuente: Manual de la planta



### Datos de los Tanques de Almacenamiento o Silos de Almacenamiento

Succión de cada tanque = 0.2 m

Área del tanque = 5.31 m<sup>2</sup>

Volumen Útil del tanque = 21 m<sup>3</sup>

De los silos de almacenamiento el sulfato de aluminio pasa a una de las 2 cubas de dilución las cuales poseen agitadores mecánicos para mantener la solución homogénea se procede a preparar al 20%. En la tabla 4-27 se detalla lo siguiente:

*Tabla 4-27. Datos de las cubas de dilución.*

Datos de la Cuba de Dilución	
Altura	1.7 metros
Diámetro	1.4 metros
Area	1.54 m <sup>2</sup>

FUENTE: AUTOR

Una vez alcanzada la concentración deseada, el sulfato de Aluminio se dosifica directamente a la mezcla rápida a través de bombas. [Manual de la Planta de Sústag]

*Gráfico 4-26. Cubas de preparación del Sulfato de Aluminio.*



Fuente: Manual de la Planta.



#### 4.1.5.1. Preparación en planta de la solución de Sulfato de Aluminio.

Identificar la cuba en la cual se va a preparar la solución, siempre debe estar la una cuba de dilución dosificando y la otra en reserva nunca se usan ambas para dosificar. Una vez definida la concentración que se va a preparar, el operador para conocer la cantidad de sulfato que debe agregar en la cuba de dilución y la cantidad de solución que va a preparar debe usar la tabla 4-28 la misma que varía en función de la densidad y la concentración. Esta tabla está elaborada para una concentración del 20%. [Manual de la Planta de Sústag]

SOLUCION		Concentracion 20			
SULFATO DE ALUMINIO					
h(m)	h(cm)	Volumen(m3)	Volumen(m3)	Altura (m)	Altura (cm)
0.01	1	0.02	0.002	0.002	0.152
0.1	10	0.15	0.023	0.015	1.515
0.2	20	0.31	0.047	0.030	3.030
0.3	30	0.46	0.070	0.045	4.545
0.4	40	0.62	0.093	0.061	6.061
0.5	50	0.77	0.117	0.076	7.576
0.6	60	0.92	0.140	0.091	9.091
0.7	70	1.08	0.163	0.106	10.606
0.8	80	1.23	0.187	0.121	12.121
0.9	90	1.39	0.210	0.136	13.636
1	100	1.54	0.233	0.152	15.152
1.1	110	1.69	0.257	0.167	16.667
1.2	120	1.85	0.280	0.182	18.182
1.3	130	2.00	0.303	0.197	19.697
1.4	140	2.16	0.327	0.212	21.212
1.5	150	2.31	0.350	0.227	22.727
1.6	160	2.46	0.373	0.242	24.242
1.7	170	2.62	0.397	0.258	25.758

Tabla 4-28. Datos de las cubas de dilución para una solución al 20%, y una densidad de 1320 kg/m<sup>3</sup>.

Fuente: Manual de la Planta de Sústag



### **a. Sulfato de Aluminio líquido tipo B**

Verificar en Touch Panel (Tablero de reactivos), los niveles de las cubas de dilución #1 y # 2 dado por los medidores hidrostáticos dispuestos en la base de cada cuba. En la pantalla se verá la altura en (m). Alturas detalladas en la tabla 4-28. Verificar el estado de las válvulas para ingreso de sulfato a la cuba de dilución seleccionada para la preparación.

### **b. Agua**

Verificar en Touch Panel los niveles de las cubas de dilución #1 o # 2 dadas por los medidores hidrostáticos dispuestos en la base de cada cuba. En la pantalla se verá la altura en (m).

Verificar el estado de las válvulas para ingreso de agua a la cuba de dilución seleccionada para la preparación.

Completar con agua de acuerdo a la tabla 4-28 de acuerdo al volumen de la solución que se va a preparar. Registrar los niveles.

### **c. Agitación.**

Prender en el tablero el agitador de la cuba de dilución en la cual se preparo la solución. [Manual de la Planta de Sústag]

### **4.1.5.2. Calibración de las bombas de dosificación de Sulfato de Aluminio.**

**Objetivo:** Elaborar la curva de calibración de las bombas de sulfato de Aluminio.

#### **Materiales**

- Cronómetro

**Procedimiento:** Se debe llenar el cilindro de aforo, luego se procede a aforar la bomba. En la bomba que se desea calibrar se varía la frecuencia en un rango de 30-60 Hz.



Medir el tiempo en que se consume un volumen determinado, para este caso tomaremos un volumen de 3 litros.

Calcular los litros/ hora

Establecer una tabla de datos y graficar la curva de calibración HERTZ Vs. Litros/hora.

Nota: en cada calibración se especifica el porcentaje en que trabaja la bomba.

### Cálculos:

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (l/h)}$$

V = 3 litros                      t= TP (tiempo promedio)

### Resultados:

*Tabla 4-29. Calibración de la Bomba #1 de sulfato de aluminio.*

<b>BOMBA # 1</b>					
213 GPH	100%		V=3 Litros		
Hertz	T1 (seg)	T2 (seg)	TP (seg)	PSI	Q (l/h)
30	36.58	38.01	37.295	35	289.58
35	30.2	30.91	30.555	38	353.46
40	25.69	25.64	25.665	38	420.81
45	21.97	22.24	22.105	40	488.58
50	19.33	19.84	19.585	40	551.44
55	17.92	17.61	17.765	40	607.94
60	16.24	16.62	16.43	42	657.33

FUENTE: AUTOR

*Tabla 4-30. Calibración de la Bomba #2 de sulfato de aluminio. Fuente: Autor*

<b>BOMBA # 2</b>					
213 GPH	50%		V=3 Litros		
Hertz	T1 (seg)	T2 (seg)	TP (seg)	PSI	Q (l/h)
30	68.48	68.43	68.455	30	157.77
35	57.71	57.98	57.845	32	186.71
40	51.17	51.1	51.135	34	211.21
45	46.15	46.58	46.365	35	232.93
50	41.23	40.92	41.075	36	262.93
55	37.29	36.99	37.14	36	290.79
60	32.86	33	32.93	35	327.97

*Tabla 4-31. Calibración de la Bomba #3 de sulfato de aluminio.*



**BOMBA #3**

Hertz	T1 (seg)	T2 (seg)	TP (seg)	PSI	Q (l/h)
30	34.98	35.21	35.095	35	307.74
35	29.5	29.35	29.425	35	367.03
40	24.81	25.18	24.995	35	432.09
45	22.3	21.45	21.875	38	493.71
50	19.59	19.76	19.675	39	548.92
55	18.4	17.57	17.985	40	600.50
60	16.02	17.5	16.76	43	644.39

FUENTE: AUTOR

Gráfico 4-27. Calibración de las bombas de sulfato de aluminio. Fuente: Autor

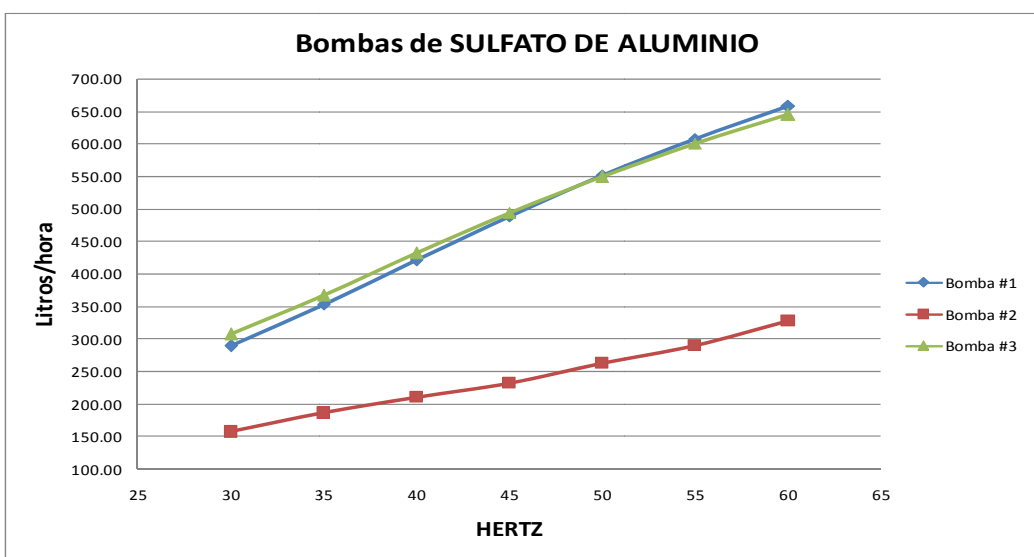


Tabla N°3	DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO ppm																				CONCE: 20%		
Caudal l/s	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115		120	125
460	166	207	248	290	331	373	414	455	497	538	580	621	662	704	745	787	828	869	911	952	994	1035	Litros/ hora
	144	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	756	792	828	864	900	
300	108	135	162	189	216	243	270	297	324	351	378	405	432	459	486	513	540	567	594	621	648	675	
200	72	90	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288	306	324	342	360	378	396	414	432	450	
100	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	

Tabla 4-33. Relación entre la dosis de sulfato de aluminio ppm y el Caudal del mismo en l/h.

Fuente: Manual de la Planta de Sústag.





#### **4.1.6. Descripción del dosificador de Polímero.**

Conformado por un sistema automático de preparación de polímero SAPP; está compuesto por un tanque de tres compartimientos: Preparación (Humectación), Maduración y Dosificación.

Los compartimientos están interconectados por unas salidas dimensionadas para imponer un circuito preferencial al polímero, con el fin de evitar el paso directo del compartimiento de preparación al de dosificación, asegurando una producción de Polímero de buena calidad. [Manual de la Planta de Sústag]

*Gráfico 4-28. Dosificador de polímero.*



FUENTE: AUTOR

##### **4.1.6.1. Preparación en planta de Polímero.**

La preparación de polímero se lo hace a través del SAPP.

La preparación de polímero se inicia automáticamente por el accionamiento del sensor de nivel instalado en el tercer compartimiento (Dosificación) del tanque. Estando el equipo suministrando polímero al proceso, la solución alcanza el nivel bajo y el sensor de nivel da una señal que indica el inicio de la preparación: Se abre la electro válvula de entrada de agua que mantiene siempre un caudal constante e inicia el funcionamiento del dosificador de polímero que cuenta con



un tornillo sin fin el cual se mantiene a velocidad constante con lo que se consigue una concentración del 0.3%.

La solución pasa a la cámara de maduración y de esta a la de dosificación la cual se va llenando hasta llegar al sensor de nivel alto, el sensor de nivel indica el fin de la preparación. Se cierra la electro válvula de entrada de agua y para el funcionamiento del dosificador de polímero.

Cabe resaltar que el caudal de entrada de agua es siempre mayor que el caudal de dosificación.

El equipo cuenta con una parada de emergencia que consiste en una boya de nivel alto que para tanto la preparación y agitación con el fin de evitar un derrame del producto en cualquiera de sus cámaras. [Manual de la Planta de Sústag]

#### **4.1.6.2. Calibración de las bombas de dosificación de Polímero PRAESTOL 650 TR.**

**Objetivo:** Elaborar la curva de calibración de las bombas del polímero Praestol 650 TR.

##### **Materiales**

- Cronómetro

##### **Procedimiento:**

De la misma manera que con las bombas de Sulfato de Aluminio se debe llenar el cilindro de aforo. Una vez lleno el cilindro se procede a aforar la bomba y en la misma se varía la frecuencia en un rango de 30-60 Hz.

Medir el tiempo en que se consume un volumen determinado, en este caso tomaremos 1 litro. Calcular los litros/ hora. Establecer una tabla de datos y graficar la curva de calibración HERTZ Vs. Litros/hora.

Nota: en cada calibración se especifica el porcentaje en que trabaja la bomba.



**Cálculos:**

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (l/h)}$$

V = 1 litro

t= TP (tiempo promedio)

**Resultados:**

*Tabla 4-34. Calibración de la Bomba #1 de polímero.*

<b>BOMBA # 1</b>					
213 GPH	20%		V=1 Litros		
Hertz	T1 (seg)	T2 (seg)	TP (seg)	PSI	Q (l/h)
30	51.94	51.33	51.635	35	69.72
35	43.76	43.79	43.775	35	82.24
40	38.29	38.44	38.365	35	93.84
45	34.35	34.1	34.225	35	105.19
50	30.23	30.1	30.165	35	119.34
55	26.27	26.25	26.26	35	137.09
60	22.34	24.12	23.23	35	154.97

FUENTE: AUTOR



Tabla 4-35. Calibración de la Bomba #2 de polímero.

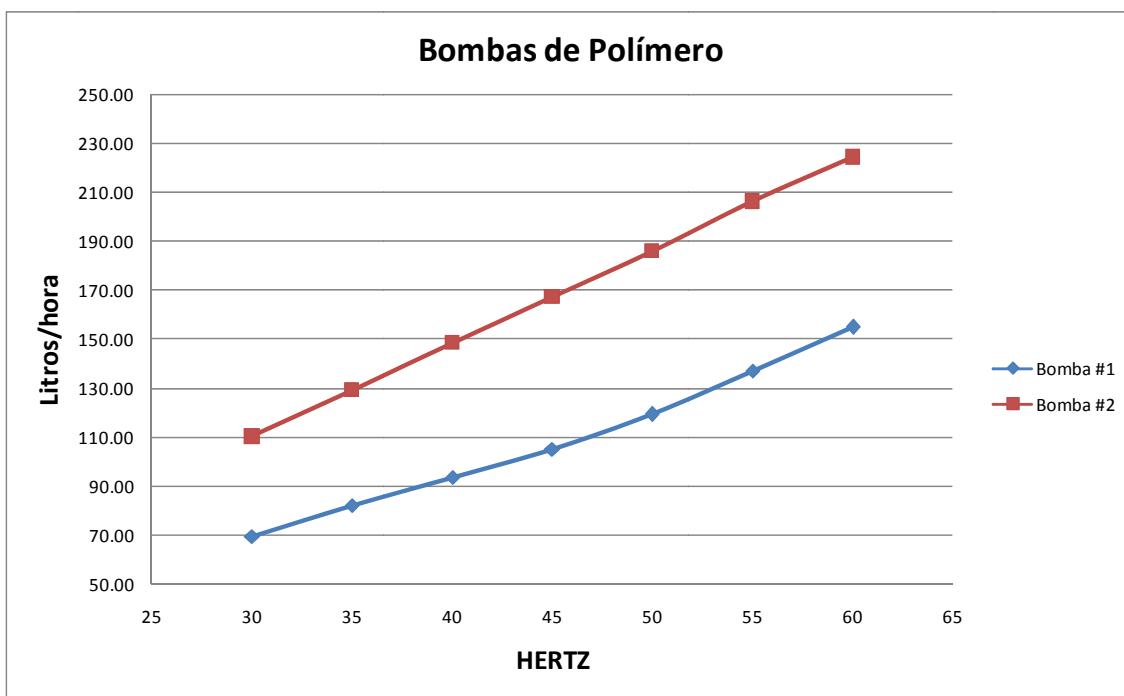
**BOMBA # 2**

213 GPH                      30%                      V=1 Litros

Hertz	T1 (seg)	T2 (seg)	TP (seg)	PSI	Q (l/h)
30	33.1	32.2	32.65	35	110.26
35	27.56	28.1	27.83	35	129.36
40	24.38	24.1	24.24	35	148.51
45	21.79	21.3	21.545	35	167.09
50	19.14	19.58	19.36	35	185.95
55	17.38	17.54	17.46	35	206.19
60	16.52	15.58	16.05	35	224.30

FUENTE: AUTOR

Gráfico 4-29. Calibración de las bombas de polímero.



FUENTE: AUTOR



Tabla 4-36. Relación entre la dosis ppm de polímero y el caudal del mismo en l/h.

Caudal	Dosis ppm							
	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
<b>l/s</b>	<b>litros/ hora</b>							
460	55.2	110.4	138.0	165.6	193.2	220.8	248.4	276.0
400	48.0	96.0	120.0	144.0	168.0	192.0	216.0	240.0
300	36.0	72.0	90.0	108.0	126.0	144.0	162.0	180.0
200	24.0	48.0	60.0	72.0	84.0	96.0	108.0	120.0
100	12.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0
50	6.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0

Fuente: Manual de la Planta de Sústag.

#### 4.1.7. Descripción del dosificador de Hidróxido de Sodio.

Para el almacenamiento del hidróxido de sodio se dispone de un tanque de fibra de vidrio con una capacidad de 35 m<sup>3</sup>, el cual está contenido en una estructura de hormigón, que en caso de un derrame contendrá el mismo. [Manual de la Planta de Sústag]

Gráfico 4-30. Silo de Almacenamiento de hidróxido de Sodio.



Fuente: Manual de la Planta de Sústag



#### **4.1.7.1. Dosificación en planta del Hidróxido de Sodio.**

- Medir el pH del agua cruda
- Identificar al pH óptimo
- Verificar el caudal que ingresa a la planta en l/s
- Calcular los( litros/ hora )de hidróxido que se aplicara al agua
- Elegir la bomba que se va a usar
- Ir a la grafica de la Bomba seleccionada con los (Litros/ hora) y leer en el eje de las ordenadas los Hz es decir la frecuencia que corresponde al variador para darnos esos litros/ hora.
- Revisar el estado de las válvulas antes de Dosificar, dependiendo si se va dosificar en la mezcla rápida o en la cámara de contacto. Siempre queda una bomba de reserva. [Manual de la Planta de Sústag]

#### **4.1.7.2. Calibración de las bombas de dosificación de Hidróxido de Sodio.**

No se realizó la calibración de las bombas de dosificación de Hidróxido de Sodio debido a que no se va a usar en planta puesto que el equipo no se encuentra en buen estado.

#### **4.1.8. Descripción del dosificador de Cal.**

El hidróxido de calcio se almacena en un silo de 35m<sup>3</sup>, ubicado fuera del edificio de químicos junto a los tanques de sulfato de aluminio. El silo descarga el hidróxido de calcio en polvo en una cuba de preparación de lechada de cal por medio de un extractor-dosificador de velocidad variable, regulable por un reductor. El aporte de agua a al cuba de preparación de lechada de cal se realiza a través de un medidor de caudal de flotador, una válvula manual de regulación de caudal y una válvula de apertura y cierre automáticos.



Dos bombas de lechada de cal que aspiran la carga de la cuba de preparación de lechada de cal, impulsa la lechada a una concentración de operación que puede estar entre 4.5 y 9%, a los dos puntos de aplicación opcionales: a la mezcla rápida o al saturador de cal.

El saturador de cal es del tipo de turbina y funciona mediante aporte de agua de dilución y lechada de cal a una boquilla central de recirculación, donde el agua se satura en hidróxido de calcio. En la zona de decantación se separa el agua saturada en cal en la fase de lechada de cal, la cual se recircula a la parte central del aparato. El agua de cal se recoge en un canal circular periférico y se conduce por gravedad hasta el punto de aplicación en la cámara de salida de la tubería que conduce al tanque de almacenamiento principal. [Manual de la Planta de Sústag]

Gráfico 4-31. Cuba de preparación de lechada de cal.



FUENTE: AUTOR



#### 4.1.8.1. Preparación en planta de Cal.

La preparación de lechada de cal es automática e independiente del bombeo, arranca y para automáticamente en función de los niveles de la cuba reponiendo el volumen útil de preparación (definido por los niveles alto y bajo) la concentración de la lechada preparada por diseño del equipo varía entre 4.5 y 9% P/V, la misma que puede regularse a través de la perilla que se encuentra en el tablero de cal cada posición de la perilla equivale a ciertos kilos/hora con su respectiva concentración.

*Tabla 4-37.Regulación tornillo sin fin para lechada de cal.*

Kilos/hora	Regulación tornillo sin fin	Concentración
200	0.5	4.5
213.16	1	4.737
226.32	1.5	4.974
239.47	2	5.211
252.63	2.5	5.447
265.79	3	5.684
278.95	3.5	5.921
292.11	4	6.158
305.26	4.5	6.395
318.42	5	6.632
331.58	5.5	6.868
344.74	6	7.105
357.39	6.5	7.342
371.05	7	7.579
384.21	7.5	7.816
397.37	8	8.053
410.53	8.5	8.289
423.68	9	8.526
436.84	9.5	8.763

Fuente: Manual de la planta de Sústag

Seleccionar la concentración a aplicar en el agua cruda o tratada, de acuerdo a las condiciones del agua cruda. [Manual de la Planta de Sústag]





UNIVERSIDAD DE CUENCA

La aplicación de lechada de cal en el agua cruda se realiza para elevar el pH y mejorar la floculación. En el agua tratada se aplica el agua de cal que sale del saturador de cal, con el fin de elevar el pH a la salida y cumplir con la norma.



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **ENSAYOS EN LABORATORIO**

De acuerdo a las pruebas realizadas durante Septiembre 2009 - Abril 2010, podemos concluir lo siguiente:

En lo que respecta a la dosificación del sulfato de aluminio se tiene que para aguas con valores de hasta 100 UC y 10 NTU las dosis de sulfato oscilan entre 30-70 ppm.

Cabe añadir que cuando se utilizan dosis inferiores a 30 ppm no se produce remoción de color y la turbiedad del agua tratada tiende a aumentar su valor inicial. En cambio cuando se usan dosis superiores a los 70 ppm, en algunos casos se tiene que el color y la turbiedad aumentan en lugar de disminuir, aunque existen excepciones en las que se produce una remoción adecuada con dosis superiores, pero no resulta económicamente conveniente su aplicación en planta.

Para aguas con valores de color entre 100-2000 UC y turbiedad de 10-240 NTU, la dosis de sulfato varía entre 70-240 ppm.

En cuanto a la concentración de sulfato de aluminio, se tiene que, para aguas de hasta 100 UC la concentración óptima oscila entre el 5-10%. En este caso se debe considerar la capacidad de las cubas para la preparación de la solución de sulfato en las concentraciones ya mencionadas, ya que trabajar bajo estas condiciones implicaría el monitoreo constante por parte de un operario en esta unidad, causando aumento en los costos de producción.

Para aguas con colores entre 100-2000 UC la concentración óptima de sulfato varía entre 20-40%. En la práctica solo se utiliza la concentración del sulfato al 20% debido a cuestiones de operación ya que es la concentración requerida con más frecuencia.

Para el pH se puede observar que la floculación se da con valores comprendidos entre 6.5-8.5. Generalmente el agua cruda llega a la mezcla rápida con valores



semejantes a los ya mencionados, por lo tanto no es necesario en todos los casos ajustar el pH.

Con las pruebas realizadas no es necesaria la adición de HCl, ya que a pHs menores a 6.5 no flocula.

De la misma manera se debe tener especial cuidado con la adición de la lechada de cal, ya que a pHs elevados (mayores a 8.5) no flocula con las dosis de sulfato obtenidas.

En los ensayos de punto óptimo de aplicación de sulfato de aluminio, se tiene que, para aguas con colores de hasta 100 UC, el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio está a los 20 segundos antes de que termine la mezcla rápida (cámara 2).

Para aguas con colores entre 100-1000 UC, el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio es a los 5 segundos antes que termine la mezcla rápida (entrada a la arqueta de reparto).

En aguas con colores entre 1000-2000 UC, nuevamente se tiene que el punto óptimo de aplicación del sulfato de aluminio se encuentra a los 20 segundos antes de que termine la mezcla rápida (cámara 2).

Los ensayos con lechada de cal fueron realizados en aguas de baja alcalinidad. De estos se puede concluir que:

Tanto color y turbiedad bajan considerablemente al adicionar cal en solución al 1%, con soluciones mayores al 1% se produce una elevación considerable del pH lo cual dificulta la remoción de color y aumenta el valor de la turbiedad. Soluciones inferiores al 1% no mejoran el proceso. La remoción de color y turbiedad con la solución de cal del 1% oscila entre el 91-99%

En los ensayos de punto óptimo de aplicación del polímero puede observarse que para aguas con colores de hasta 100 UC, el punto óptimo de adición de polímero



es a los 5 segundos antes de que empiece la floculación mecánica (cámara 4 “arqueta de reparto”).

Para colores entre 100-2000 UC, el punto óptimo de adición de polímero es a los 10 minutos de iniciada la floculación mecánica. Este punto se encontraría en el inicio de la floculación hidráulica.

De las pruebas realizadas de demanda de cloro concluimos que en el agua filtrada para alcanzar el punto de quiebre se necesita aplicar una dosis de 0.8 mg/l y que 0.2 mg/l es la cantidad para que se consume como demanda inmediata, se tiene que hasta 0.8 mg/l se combina con la materia orgánica presente dando como cloro residual combinado 0.3 mg/l y toda dosis mayor a 0.8 mg/l es cloro libre disponible.

Recomendamos realizar más pruebas de demanda de cloro para verificar los resultados, cuando la planta tenga una operación normal de 24 horas y la calidad del agua tratada sea estable.

De los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio se estableció un cuadro comparativo con las NTE INEN 1 108:2006, de donde se observó que en cuanto a color, turbiedad, STD, dureza total, la planta opera satisfactoriamente en los ya mencionados aspectos puesto que los valores del agua tratada se encuentran dentro del límite máximo permisible.

### ENSAYOS EN PLANTA

De las pruebas de trazadores en la mezcla rápida, tenemos que el tiempo real de retención del trazador en los resaltos hidráulicos antes de la distribución a los floculadores mecánicos es de 40 segundos, y el tiempo teórico de retención es de 76 segundos, esta diferencia esta dada en la cámara de llegada antes del primer punto de aplicación del sulfato por lo tanto no influye en el proceso de mezcla rápida.



Del análisis hidráulico en la mezcla rápida se obtiene que la zona muerta es del 11.07%, el flujo pistón 67.47% y flujo mezclado 28.93%. Teniendo un claro predominio del flujo pistón en esta zona. La presencia de zonas muertas hace que el agua pase en un tiempo de retención real menor al teórico.

En el canal de repartición de caudal (arqueta de reparto) hacia las 4 líneas de floculación se verificó que dicha repartición se da uniformemente hacia cada línea en un porcentaje aproximado del 25%, teniendo entonces una distribución eficiente.

En la primera cámara de floculación mecánica el tiempo de retención teórico es de 10'20" y el tiempo de retención real es de 2'30". Mientras que en la segunda cámara de floculación mecánica se obtuvo que el tiempo teórico de retención es de 10'20" y el tiempo real de retención es de 9'15".

Para la floculación hidráulica el tiempo teórico de retención es de 9'46" frente a un tiempo real de retención de 7'45".

En definitiva para la floculación en general el tiempo teórico de retención es de 30'46" y el tiempo real de retención es de 19'30".

Del análisis hidráulico concluimos que el % de zonas muertas en los floculadores hidráulicos es del 21.5%, con predominio del flujo pistón 79% frente a un flujo mezclado del 16.5%.

En los Sedimentadores se obtuvo que el tiempo teórico es de 33' y el real de 28'.

Del análisis hidráulico del sedimentador de la línea 3 se consideró por separado las 2 cámaras que lo conforman. De lo observado en la primera cámara el % de zonas muertas es del 12.26%. En lo que respecta al flujo pistón frente al mezclado no se tiene un claro predominio puesto que sus respectivos porcentajes son del 45.6 y 47.7%.



Para el caso de la segunda cámara del mismo sedimentador, el % de zonas muertas es del 6.6%, y se obtuvo un ligero predominio del flujo pistón 53.5% frente al flujo mezclado 43.4%.

Comparando los resultados anteriores podemos observar que en la primera cámara de sedimentación existe aproximadamente el doble del % de zonas muertas. No existe un predominio claro del tipo de flujo.

En los filtros obtuvimos que la tasa de filtración cuando está sucio es de 78.28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día, y cuando el filtro está limpio la tasa de filtración resultante es de 354.47 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día.

Del lavado de los filtros se tiene que el tiempo de desprendimiento del floc y residuos es hasta los 4 minutos de iniciado el proceso, el lavado del filtro sería entonces desde los 4 minutos hasta los 12 minutos, siendo este último el valor óptimo de lavado; ya que posterior a este la turbiedad no varía mayormente y tiempos superiores se consideran un desperdicio del agua de lavado.

En general se podría decir que el agua tratada en la planta es apta para el consumo humano en lo que respecta al color y turbiedad, ya que cumplen con la Norma. No mencionamos el análisis bacteriológico debido a que este fue tratado por una compañera bioquímica como su tema de tesis.

A continuación tenemos un cuadro comparativo que respalda lo antes mencionado:

PARÁMETROS	CONDICIONES INICIALES	CONDICIONES FINALES	NTE INEN 1 108:2006
UC	20-1720	0-4	15
NTU	1-240	0.1-1.12	5
pH	6.09-7.8	5.42-7.18	6.5-8.5
Cloro residual (mg/L)	0	0.7-1.95	0.3-1.5

Para el caso del cloro residual, vemos que se encuentra fuera de norma debido a que excede el límite máximo permisible (supera el valor de 1.5 mg/l); esto es



debido a los procesos de arranque del sistema por motivo de desinfectar tanques y redes de distribución.

En cambio el valor mínimo de pH se encuentra fuera del rango permitido por la norma en la mayoría de los casos analizados los mismos que pueden observarse en el anexo D1, siendo su valor inferior a 6.5.

Se recomienda implementar a la entrada del floculador hidráulico un punto de aplicación de polímero para el tratamiento de aguas con colores superiores a 100 UC.

En el dosificador de polímero se debería probar la preparación del mismo a concentraciones menores del 0.3% (concentración actual), ya que esta concentración hace que se apliquen dosis muy altas en relación a las usadas en otras plantas.

Implementar un punto de aplicación de Sulfato de Aluminio en la entrada a la arqueta de reparto para mejorar el tratamiento de aguas con colores entre 100-1000 UC.

Se deben seguir haciendo pruebas de jarras, especialmente para aguas con colores altos. Recomendamos verificar la concentración óptima de Sulfato de aluminio para colores superiores a 1000 UC.

Cuando el agua cruda llega con alcalinidad menor a 20, se recomienda alcalinizar con lechada de cal en dosis entre 5-10 mg/L.

Mejorar el pH a la salida para que se encuentre dentro de la norma, en caso de ser menor a 6.5 ajustar con agua de cal a la salida.

Dar mantenimiento al equipo de dosificación de Hidróxido de Sodio, e implementar un equipo adicional para la dilución del mismo, con el fin de que sea operacional.



## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

CAMINOSCA Caminos y Canales C. LTDA, ETAPA, Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Agua Potable de Sústag (Proyecto Yanuncay). [1]

ROMERO Rojas, Jairo Alberto, Calidad del Agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia 2005. [2]

ARBOLEDA Valencia, Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua, Editorial McGRAW-HILL, Colombia 2000. [3]

TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA. (<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/002320/002320-02b.pdf>). [4]

AMIRHARAJAH, A.; Mills, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal of the American Water Works Association*, vol. 74, 1982. [5]

MARCA, Mónica y Orellana Ximena, Optimización de los Procesos de Potabilización de Agua en la Planta de Agua "Tixan Etapa", Tesis, Universidad de Cuenca 1998. [6]

Bratby, J. R. Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems. *Journal of the American Water Works Association*, vol. 73, n.o 6, junio, 1981. [7]

Harris, H. S.; Kaufman, W. J. y Krone, R. B. Orthokinetic flocculation in water purification. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings, ASCE*, diciembre, 1966. [8]

TeKippe, R. J. y Ham, R. K. Velocity-gradient paths in coagulation. *Journal AWWA*, julio, 1971 [9]

[www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/seis.pdf) [10]

PÉREZ, José; Avances en filtración, CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). [11]

ARBOLEDA, Valencia, Jorge; Teoría Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua; Lima, CEPIS, 1972. [12]





UNIVERSIDAD DE CUENCA

MEJIA, Reinoso, Jackelin y Segarra Anguisaca Rocío, Optimización de los Procesos de Potabilización de Agua en la Planta de “El Cebollar”, Tesis, Universidad de Cuenca 2002. [13]

RUBIO, Ramirez, Ricardo; Determinación Experimental de las Propiedades Hidráulicas de los Floculadores Mecánicos de la Planta de Tratamiento de Agua Sústag-Etapa, Tesina, Universidad de Cuenca 2009. [14]

DEGRÉMONT, Manual Técnico del agua, España 1979. [15]

**ANEXOS****ANEXO A1****MUESTRA** 1                    **FECHA:** 14/Octubre/2009

Agua cruda    Color 22        Turbiedad 2,07    pH 7,73    Alcalinidad 36,18 (1,6)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm ), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	20	19	2.12	
2	25	14	1.96	
3	30	4	1.12	6.96
4	35	9	1.39	
5	40	11	1.42	
6	45	11	2.51	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	30(vol, 30)	20	6	1.35	
2	30(vol, 60)	10	6	1.33	
3	30(vol, 120)	5	5	1.12	7.1
4	30(vol, 600)	1	9	1.56	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	6.28	30 (5%)	14	2.82	
2	6.69	31 (5%)	13	2.15	
3	N 7,89	32 (5%)	11	1.86	
4	8.12	33 (5%)	11	1.89	
5	8.4	34 (5%)	7	1.23	7.58
6	8.52	35 (5%)	8	1.5	

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	30 (5%)	35 seg	7	1.34	
2	30 (5%)	25 seg	4	1.24	7.11
3	30 (5%)	5 seg	14	1.57	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	30 (5%)	5 seg antes F	0	0.31	7.14
2	31 (5%)	10 mint F	1	0.78	

**OBSERVACIONES:** Turbiedad cruda 2,07; dosis 30 (5%) pH 8,4; MR: 25 polímero 5 seg

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 2                      **FECHA:** 19/Octubre/2009

Agua cruda    Color 37      Turbiedad 2,27    pH 7,8      Alcalinidad 40,71 (1,8)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,25 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**      Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	30	41	3.08	
2	40	18	2.07	6.74
3	50	20	2.66	
4	60	23	2.86	
5	70	23	2.77	
6	80	29	2.94	

**Ensayo 2**      Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	40	20	25	2.34	
2	40	10	30	2.37	
3	40	5	23	2.07	6.76
4	40	1	25	2.36	

**Ensayo 3**      pH óptimo      (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	6.18	40	23	2.65	
2	6.8	40	20	2.1	
3	N 7,84	40	25	2.19	
4	7.9	40	28	2.15	
5	8	40	23	2.13	
6	8.24	40	20	1.97	6.98

**Ensayo 4**      Tiempo óptimo de MR      (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	40	30 seg	31	2.18	
2	40	20 seg	26	1.88	7.08
3	40	5 seg	35	2.48	

**Ensayo 5**      Tiempo óptimo de MR      (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	40	5 seg antes F	5	0.792	6.97
2	40	10 min de F	7	0.793	

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 3                      **FECHA:** 22/Octubre/2009

Agua cruda    Color 43      Turbiedad 2,41    pH 7,86    Alcalinidad 37,38 (1,9)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	30	39	2.65	
2	40	20	1.7	6.99
3	50	19	1.82	
4	60	20	1.99	
5	70	21	2.01	
6	80	25	2.2	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	40( 0,4cc)	20	20	1.62	
2	40( 0,8cc)	10	19	1.72	
3	40( 1,6cc)	5	17	1.58	6.98
4	40( 8cc)	1	18	1.69	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	6.03	40	20	1.97	
2	7.03	40	20	1.83	
3	N 7,8	40	19	1.56	6.95
4	8.36	40	19	1.6	
5	8.53	40	21	1.64	
6	8.76	40	23	1.88	

} HCl 10%  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	40 (5%)	30 seg	19	1.59	
2	40 (5%)	20 seg	20	1.51	6.91
3	40 (5%)	5 seg	21	1.62	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	40	5 seg antes F	9	0.805	6.95
2	40	10 min de F	20	1.13	

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 4                      FECHA: 16/Noviembre/2009****Agua cruda    Color 25    Turbiedad 1,01    pH 7,2    Alcalinidad 39,35 (2)****35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm),  
7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S****Ensayo 1    Dosis óptima de sulfato**

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	20	25	1,5	
2	25	24	1,83	
3	30	22	1,54	7,4
4	35	23	1,68	
5	40	25	1,96	
6	45	25	2,03	

**Ensayo 2    Concentración óptima de sulfato**

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	30( 0,3cc)	20	24	1,35	
2	30( 0,6cc)	10	22	1,38	7,39
3	30( 1,2cc)	5	21	1,3	
4	30( 6cc)	1	22	1,36	

**Ensayo 3    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)**

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	5,93	30 (10%)	21	2,05	
2	6,96	30 (10%)	21	1,7	
3	7,2	30 (10%)	23	1,88	7,54
4	8,15	30 (10%)	22	1,75	
5	8,35	30 (10%)	26	1,87	
6	8,7	30 (10%)	25	1,79	

} HCl 10%  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)**

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	30 (10%)	30 seg	23	1,26	
2	30 (10%)	20 seg	23	1,26	7,57
3	30 (10%)	5 seg	24	1,33	

**Ensayo 5    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo +  
tiempo óptimo MR + 0,3 polimero)**

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	30	5 seg antes F	13	0,98	7,58
2	30	10 min de F	30	2,16	

**OBSERVACIONES:** Tomamos como óptima la concentración del 10% en lugar de la del 5% por cuanto es lo que se puede operar en la planta.

Escogimos el pH normal como el óptimo, debido a que el pH-metro no estaba dando resultados confiables

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 5                      **FECHA:** 23/Noviembre/2009

Agua cruda    Color 86      Turbiedad 11,8    pH 7,2      Alcalinidad 41,32 (2,1)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**      Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	60	13	2.3	
2	70	12	2.01	
3	80	11	1.89	
4	90	10	1.75	6.78
5	100	12	2.24	
6	110	12	2.26	

**Ensayo 2**      Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	90( 0,9cc)	20	0	1,14	7,8
2	90(1,8cc)	10	11	2,31	
3	90( 3,6cc)	5	7	1,52	
4	90( 18cc)	1	0	1,21	

**Ensayo 3**      pH óptimo      (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	5.58	90 (20%)	3	2.35	} HCl 10%
2	5.85	90 (20%)	65	9.87	
3	7.5	90 (20%)	0	1.43	
4	7.8	90 (20%)	0	1.2	} NaOH 0,02N
5	8.2	90 (20%)	0	1.26	
6	8.5	90 (20%)	0	1.03	

**Ensayo 4**      Tiempo óptimo de MR      (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	90 (20%)	30 seg	17	1.85	
2	90 (20%)	20 seg	13	1.46	6.23
3	90 (20%)	5 seg	15	1.64	

**Ensayo 5**      Tiempo óptimo de MR      (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	90 (20%)	5 seg antes F	20	0.97	
2	90 (20%)	10 min de F	8	0.58	6.8

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 6                      **FECHA:** 26/Noviembre/2009

Agua cruda    Color 45      Turbiedad 2,28    pH 7,74    Alcalinidad 37,38 (1,9)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	25	42	2.23	
2	30	44	2.88	
3	35	48	3.53	
4	40	40	2.72	
5	45	19	1.77	
6	50	17	1.63	6.3

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	50( 0,5cc)	20	16	1.86	6.65
2	50(1cc)	10	20	1.68	
3	50( 2cc)	5	25	2.07	
4	50( 4cc)	1	24	1.81	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	5.03	50 (20%)	43	3.17	
2	6.13	50 (20%)	13	2.01	
3	7.18	50 (20%)	16	1.82	
4	7.51	50 (20%)	18	2.12	
5	7.91	50 (20%)	8	1.43	6.51
6	8.4	50 (20%)	16	1.71	

} HCl 10%  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	30 seg	26	2.02	
2	50 (20%)	20 seg	22	1.63	6.52
3	50 (20%)	5 seg	27	2.23	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	5 seg antes F	4	0.78	6.62
2	50 (20%)	10 min de F	10	1.43	

**OBSERVACIONES:** La muestra de agua fue recogida a la 1 am.

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 7                      **FECHA:** 30/Noviembre/2009

Agua cruda    Color 92      Turbiedad 7      pH 7,30      Alcalinidad 27,54 (1,4)

35 seg MR, 2,5 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	50	69	5.6	
2	55	41	3.6	
3	60	35	3.68	
4	65	30	3.56	6.36
5	70	37	3.96	
6	75	27	2.91	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	65( 0,65cc)	20	33	3.56	
2	65(1,3cc)	10	30	3.45	6.27
3	65( 2,6cc)	5	32	3.29	
4	65( 13cc)	1	32	3.18	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	4.15	65 (10%)	76	5.82	
2	5.3	65 (10%)	79	6.3	
3	6.3	65 (10%)	27	3.4	
4	7.3	65 (10%)	21	2.8	6.64
5	8.23	65 (10%)	30	3.1	
6	8.7	65 (10%)	30	3	

} HCl 10%  
 } pH normal  
 } NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	65 (10%)	30 seg	32	2.94	
2	65 (10%)	20 seg	24	2.29	6.54
3	65 (10%)	5 seg	24	2.01	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	65 (10%)	5 seg antes F	14	1.41	6.6
2	65 (10%)	10 min de F	20	1.77	

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR





**MUESTRA** 8                      **FECHA:** 2/Diciembre/2009

Agua cruda    Color 235    Turbiedad 27,5    pH 7,10    Alcalinidad 27,54 (1,4)

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	70	17	2.24	
2	75	18	2.13	
3	80	16	2.15	
4	85	17	2.24	6.5
5	90	16	2.23	
6	95	20	2.85	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	85( 0.85cc)	20	20	1.96	
2	85(1.7cc)	10	23	2.6	
3	85( 3.4cc)	5	13	1.52	6.4
4	85( 17cc)	1	17	2.03	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	4.15	85 (5%)	117	8.14	
2	5.3	85 (5%)	81	6.01	
3	6.3	85 (5%)	15	1.96	
4	7.3	85 (5%)	15	2.07	6.43
5	8.23	85 (5%)	19	2.08	
6	8.7	85 (5%)	34	2.55	

} HCl 10%  
} pH normal  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	85 (5%)	30 seg	28	2.88	
2	85 (5%)	20 seg	28	2.85	
3	85 (5%)	5 seg	20	2.22	6.3

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	85 (5%)	5 seg antes F	13	1.86	
2	85 (5%)	10 min de F	10	1.43	6.3

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR

**MUESTRA** 9      **FECHA:** 11/Diciembre/2009Agua cruda    Color 1000    Turbiedad 221    pH 7,42    Alcalinidad 29,5 (1,5)

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	50	616	114	
2	60	225	39	
3	70	33	5.54	
4	80	31	5.48	6.35
5	90	32	5.59	
6	100	26	4.14	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	80( 0,8cc)	20	44	8.33	
2	80( 1,6cc)	10	22	3.8	
3	80( 3,2cc)	5	14	2.3	6.56
4	80( 16cc)	1	70	11.2	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	3.38	80 (5%)	409	7.2	
2	5.36	80 (5%)	230	40.5	
3	6.36	80 (5%)	23	5.72	
4	7.42	80 (5%)	12	2.53	6.53
5	8.34	80 (5%)	14	2.01	
6	9.02	80 (5%)	74	13.2	

} HCl 10%  
} pH normal  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	80 (5%)	30 seg	21	3.95	
2	80 (5%)	20 seg	14	2.79	6.52
3	80 (5%)	5 seg	20	3.54	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	80 (5%)	5 seg antes F	34	4.9	
2	80 (5%)	10 min de F	18	2.85	6.58

**OBSERVACIONES:** Agua tomada el 10 de diciembre a las 6:30 pm

COLOR REAL=264

COLOR APARENTE=250 (dilusión 4 veces)

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 10      **FECHA:** 24/Diciembre/2009

Agua cruda    Color 119    Turbiedad 10    pH 7,11    Alcalinidad      22.6

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	55	119	9.51	
2	60	55	4.63	
3	65	43	3.45	
4	70	17	1.81	6.34
5	75	28	3.06	
6	80	25	2.46	

**Ensayo 2**    Concentracion óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	70( 0,7cc)	20	23	2.95	6.06
2	70( 1,4cc)	10	28	3.46	
3	70( 2,8cc)	5	29	3.53	
4	70( 5,6cc)	1	108	8.23	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	3.53	70 (20%)	94	7.12	
2	3.81	70 (20%)	96	7.33	
3	5.38	70 (20%)	48	3.4	
4	7.11	70 (20%)	23	3.06	6.25
5	7.72	70 (20%)	23	3.04	
6	8.76	70 (20%)	38	3.66	

HCl 10%  
 pH normal  
 NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	70 (20%)	30 seg	34	3.59	
2	70 (20%)	20 seg	29	3.44	
3	70 (20%)	5 seg	24	3.46	6.43

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	70 (20%)	5 seg antes F	40	4.58	
2	70 (20%)	10 min de F	12	1.28	6.38

**OBSERVACIONES:** Agua tomada el 21 y 22 de diciembre

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 11      **FECHA:** 31/Diciembre/2009

Agua cruda    Color 224    Turbiedad 34,1    pH 7,59    Alcalinidad 32,46 (1,65)

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	55	17	3.07	
2	60	17	3.04	
3	65	13	2.4	6.77
4	70	10	1.76	
5	75	15	3	
6	80	16	2.73	

**Ensayo 2**    Concentracion óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	65( 0,65cc)	20	17	2.38	
2	65( 1,3cc)	10	15	2.78	6.92
3	65( 2,6cc)	5	14	2.65	
4	70( 5,2cc)	1	39	6.09	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	2.68	65 (10%)	102	14.5	
2	3.67	65 (10%)	124	19.5	
3	4.6	65 (10%)	108	15.5	
4	7.5	65 (10%)	22	2.63	6.58
5	8.09	65 (10%)	13	2.73	
6	9	65 (10%)	20	2.14	

HCl 10%  
 pH normal  
 NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	65 (10%)	30 seg	10	1.93	
2	65 (10%)	20 seg	13	3.02	
3	65 (10%)	5 seg	8	2.13	6.58

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polimero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	65 (10%)	5 seg antes F	22	2.2	
2	65 (10%)	10 min de F	14	0.72	6.42

**OBSERVACIONES:** Ninguna

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 12      **FECHA:** 12/01/2010

Agua cruda    Color 191    Turbiedad 12    pH 6.64    Alcalinidad 17,7(0,9)

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	55	180	14.2	
2	60	112	7.26	
3	65	110	7.25	
4	70	68	5.27	
5	75	55	4.99	
6	80	20	3.22	5.81

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	80(0,8cc)	20	37	3.28	5.82
2	80( 1,6cc)	10	34	3.48	
3	80( 3,2cc)	5	41	4.06	
4	80( 16cc)	1	37	3.57	

**Ensayo 3**    pH óptimo    (dosis op sulfato + conct optima)

Jarra	pH	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	3.74	80 (20%)	138	6.76	
2	4.8	80 (20%)	87	4.21	
3	5.74	80 (20%)	33	2.27	
4	6.64	80 (20%)	12	2.57	5.66
5	7.8	80 (20%)	24	3.29	
6	9.1	80 (20%)	40	3.8	

} HCl 10%  
} pH normal  
} NaOH 0,02N

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	80 (20%)	30 seg	40	3.35	
2	80 (20%)	20 seg	32	3.1	
3	80 (20%)	5 seg	23	2.75	6.14

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + conct optima + pH optimo + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	80 (20%)	5 seg antes F	13	1.82	
2	80 (20%)	10 min de F	9	1.32	5.9

**OBSERVACIONES:**    Agua con elevado color y baja turbiedad

FUENTE: AUTOR

**PRUEBAS CON LECHADA DE CAL****MUESTRA** 13      **FECHA:** 22/02/2010Agua cruda    Color 103    Turbiedad 1,71    pH 6,7    Alcalinidad 25,58 (1,3)

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO4=	Color	Turbiedad	pH
1	30	113	2,74	
2	40	93	3,2	
3	50	52	1,75	5,9
4	60	52	2,17	
5	70	72	3,1	
6	80	92	3,81	

**Ensayo 2**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + 0,3 polímero + lechada de cal)

Jarra	Dosis SO4=	Dosis polímero	ppm(vol) Cal	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	0,3 ppm	0 (0cc)	21	1,37	
2	50 (20%)	0,3 ppm	1,5 (0,19cc)	20	1,4	
3	50 (20%)	0,3 ppm	3(0,38cc)	18	1,05	
4	50 (20%)	0,3 ppm	4,5(0,6cc)	18	1,21	
5	50 (20%)	0,3 ppm	6(0,75cc)	15	1,11	
6	50 (20%)	0,3 ppm	7,5(0,95cc)	12	0,93	6,32

**Ensayo 3**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + 0,3 polímero + lechada de cal)

Jarra	Dosis SO4=	Dosis polímero	ppm(vol) Cal	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	0,3 ppm	9 (1,13cc)	22	0,58	
2	50 (20%)	0,3 ppm	10,5 (1,3cc)	19	0,54	
3	50 (20%)	0,3 ppm	12(1,5cc)	22	0,62	
4	50 (20%)	0,3 ppm	13,5(1,69cc)	23	0,59	
5	50 (20%)	0,3 ppm	15(1,9cc)	22	0,53	
6	50 (20%)	0,3 ppm	16,5(2,1cc)	24	0,56	

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + óptimo de cal + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Dosis Cal	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	7,5(0,95cc)	30 seg	21	0,92	6,43
2	50 (20%)	7,5(0,95cc)	20 seg	25	1,2	
3	50 (20%)	7,5(0,95cc)	5 seg	70	3,08	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis óptima de sulfato + óptimo de cal + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Tiempo MR	ppm(vol) Cal	Color	Turbiedad	pH
1	50 (20%)	5 seg antes F	7,5(0,95cc)	12	0,65	6,45
2	50 (20%)	10 min de F	7,5(0,95cc)	36	1,48	

**OBSERVACIONES:**    Agua con elevado color y baja turbiedad

FUENTE: AUTOR



**MUESTRA** 14      **FECHA:** 26/02/2010

Agua cruda    Color 404    Turbiedad 27    pH 6.7    Alcalinidad      19.68  
Real 206

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO4=	Color	Turbiedad	pH
1	30	285	9.7	
2	50	223	6.97	
3	70	69	3.45	
4	90	11	2.07	
5	110	4	1.58	6.1
6	130	10	2.24	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO4=	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	110(1.1cc)	20	8	1.84	6.11
2	110( 2.2cc)	10	10	1.91	
3	110( 4.4cc)	5	11	2.08	
4	110( 22cc)	1	12	2.14	

**Ensayo 3**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + conc. óptima+ lechada de cal)

Jarra	ppm(vol) Cal	Dosis SO4=	pH	Color	Turbiedad	pH
1	0(0cc)	110 (20%)	6.7	20	1.98	5.94
2	2(0,4cc)	110 (20%)	7.56	28	2.18	
3	4(0,8cc)	110 (20%)	8.97	31	1.65	
4	6(1,2cc)	110 (20%)	9.36	53	1.99	
5	8(1,4cc)	110 (20%)	9.68	96	2.89	
6	10(1,6cc)	110 (20%)	9.86	228	7.55	

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + óptimo de cal + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Dosis Cal	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	110 (20%)	0(0cc)	30 seg	38	2.12	
2	110 (20%)	0(0cc)	20 seg	29	2.16	
3	110 (20%)	0(0cc)	5 seg	20	1.32	5.87

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis óptima de sulfato + óptimo de cal + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Tiempo MR	ppm(vol) Cal	Color	Turbiedad	pH
1	110 (20%)	5 seg antes F	0(0cc)	22	1.3	
2	110 (20%)	10 min de F	0(0cc)	8	0.75	5.73

**OBSERVACIONES:**      Agua con elevado color y baja turbiedad

FUENTE: AUTOR

**MUESTRA** 15      **FECHA:** 01/04/2010Agua cruda    Color 370    Turbiedad 36    pH 6.81    Alcalinidad      17.7

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	60	221	16.1	
2	70	186	10.7	
3	80	72	4.96	
4	90	36	3.4	
5	100	24	2.06	5.62
6	110	42	3.6	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	100(1cc)	20	27	2.04	6
2	100( 2cc)	10	31	3.31	
3	100( 4cc)	5	27	2.08	
4	100( 20cc)	1	28	2.83	

**Ensayo 3**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + conc. óptima+ lechada de cal)

Jarra	ppm(vol) Cal	Dosis SO <sub>4</sub> =	pH	Color	Turbiedad	pH
1	0(0cc)	100 (20%)	6.81	28	3.53	5.76
2	(0.2cc)	100 (20%)	8	38	3.82	
3	(0.4cc)	100 (20%)	8.18	53	4.73	
4	(0.6cc)	100 (20%)	8.41	65	5.19	
5	(0.8cc)	100 (20%)	8.6	132	10.3	
6	(1cc)	100 (20%)	8.77	91	6.13	

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + óptimo de cal + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Dosis Cal	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	100 (20%)	0(0cc)	30 seg	28	2.39	
2	100 (20%)	0(0cc)	20 seg	27	3.26	
3	100 (20%)	0(0cc)	5 seg	21	2.75	5.88

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis óptima de sulfato + óptimo de cal + tiempo optimo MR + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	ppm(vol) Cal	Color	Turbiedad	pH
1	100 (20%)	5 seg antes F	0(0cc)	10	1.56	5.91
2	100 (20%)	10 min de F	0(0cc)	20	2.25	

**OBSERVACIONES:**    Agua tomada el 01 de Abril a las 10:30 pm

FUENTE: AUTOR





**MUESTRA** 16      **FECHA:** 02/04/2010

Agua cruda    Color 720    Turbiedad 79    pH 6.09    Alcalinidad      21.64  
                   Real 240

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Color	Turbiedad	pH
1	100	134	13	
2	120	35	4	
3	140	30	3.35	
4	150	25	3.34	4.71
5	160	28	2.57	
6	170	24	2.03	

**Ensayo 2**    Concentración óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	150(0.75cc)	40	24	2.37	
2	150(1.5cc)	20	21	2.44	4.76
3	150(3cc)	10	22	2.6	

**Ensayo 3**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + conc. óptima+ lechada de cal)

Jarra	ppm(vol) Cal	Dosis SO <sub>4</sub> =	pH	Color	Turbiedad	pH
1	0(0cc)	150 (20%)	6.09	32	2.34	
2	(0.1cc)	150 (20%)	6.44	38	2.15	
3	(0.2cc)	150 (20%)	6.72	27	2.45	
4	(0.3cc)	150 (20%)	7.01	27	3.27	
5	(0.4cc)	150 (20%)	7.31	21	2.58	
6	(0.5cc)	150 (20%)	7.71	16	2.54	5.52

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + óptimo de cal + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Dosis Cal	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	150 (20%)	(0.5cc)	30 seg	23	2.43	
2	150 (20%)	(0.5cc)	20 seg	25	3.65	
3	150 (20%)	(0.5cc)	5 seg	18	2.02	5.12

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis óptima de sulfato + óptimo de cal + tiempo optimo MR + polímero)

Jarra	Dosis SO <sub>4</sub> =	Tiempo MR	ppm(vol) Cal	Polímero	Color	Turbiedad	pH
1	150 (20%)	5 seg antes F	(0.5cc)	0.3 ppm	19	2.76	
2	150 (20%)	10 min de F	(0.5cc)	0.3 ppm	3	1.63	5.03
3	150 (20%)	5 seg antes F	(0.5cc)	0.4 ppm	18	3.08	
4	150 (20%)	10 min de F	(0.5cc)	0.4 ppm	6	1.46	
5	150 (20%)	5 seg antes F	(0.5cc)	0.5 ppm	18	2.51	
6	150 (20%)	10 min de F	(0.5cc)	0.5 ppm	9	1.8	

**OBSERVACIONES:**      Agua tomada el 01 de Abril a las 10:30 pm

FUENTE: AUTOR

**MUESTRA** 17      **FECHA:** 01/04/2010Agua cruda    Color 1720    Turbiedad 240    pH 6.18    Alcalinidad      17.7  
Real 430

35 seg MR, 2,30 mt a 56 seg-1 (75 rpm), 9,15 mt a 37 seg-1 (54 rpm), 7,45 mt a 20seg-1 (30 rpm), 25 S

**Ensayo 1**    Dosis óptima de sulfato al 40%

Jarra	Dosis SO4=	Color	Turbiedad	pH
1	60	74	7.18	
2	80	45	4.4	
3	100	38	3.46	
4	120	30	2.97	4.21
5	140	29	2.75	
6	160	37	2.35	

**Ensayo 2**    Concentracion óptima de sulfato

Jarra	Dosis SO4=	Conc %	Color	Turbiedad	pH
1	120(1.2cc)	40	41	2.92	4.25
2	120(2.4cc)	20	44	3.57	
3	120(4.8cc)	10	40	3.81	

**Ensayo 3**    Óptimo cal    (dosis op sulfato + conc. óptima+ lechada de cal)

Jarra	ppm(vol) Cal	Dosis SO4=	pH	Color	Turbiedad	pH
1	0(0cc)	120 (40%)	6.18	27	2.4	
2	(0.2cc)	120 (40%)	6.88	22	2.16	
3	(0.3cc)	120 (40%)	7.07	32	2.63	
4	(0.4cc)	120 (40%)	7.3	17	1.99	4.17
5	(0.5cc)	120 (40%)	7.48	32	3.64	
6	(0.7cc)	120 (40%)	7.73	25	2.41	

**Ensayo 4**    Tiempo óptimo de MR    (dosis op sulfato + óptimo de cal + 0,3 polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Dosis Cal	Tiempo MR	Color	Turbiedad	pH
1	120 (40%)	(0.4cc)	30 seg	20	2.34	
2	120 (40%)	(0.4cc)	20 seg	24	2.18	4.36
3	120 (40%)	(0.4cc)	5 seg	27	3.49	

**Ensayo 5**    Tiempo óptimo de MR    (dosis óptima de sulfato + óptimo de cal + tiempo optimo MR + polímero)

Jarra	Dosis SO4=	Tiempo MR	ppm(vol) Cal	Polímero	Color	Turbiedad	pH
1	120 (40%)	5 seg antes F	(0.4cc)	0.3 ppm	22	2.6	
2	120 (40%)	10 min de F	(0.4cc)	0.3 ppm	22	2.52	
3	120 (40%)	5 seg antes F	(0.4cc)	0.4 ppm	24	3.02	
4	120 (40%)	10 min de F	(0.4cc)	0.4 ppm	18	2.52	4.23
5	120 (40%)	5 seg antes F	(0.4cc)	0.5 ppm	33	3.21	
6	120 (40%)	10 min de F	(0.4cc)	0.5 ppm	15	2.51	

**OBSERVACIONES:**      Ninguna

FUENTE: AUTOR

**ANEXO B1 GRADIENTES****MUESTRA 1****FECHA 26/Octubre/2009**

Agua cruda      Color 25      NTU 1.08      pH 7.85      Alcalinid.      37.38

Dosis sulfato 35, concentración 5%, pH 8,3 20 segundos de MR,  
 polímero 0,15; 5 seg antes de floculación, Sedimentación 25 minutos  
 Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara  
 y 7 min 45 seg en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	80	92	60	72	20	13
2	0,10	80		60		20	13
3	0,15	80		60		20	10

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	80	92	45	60	20	32
2	0,10	80		45		20	7
3	0,15	80		45		20	8

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	80	92	30	44	20	32
2	0,10	80		30		20	12
3	0,15	80		30		20	4

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	70	82	60	72	20	32
2	0,10	70		60		20	12
3	0,15	70		60		20	9

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	70	82	45	60	20	32
2	0,10	70		45		20	14
3	0,15	70		45		20	10

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	70	82	30	44	20	32
2	0,10	70		30		20	11
3	0,15	70		30		20	9

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	60	72	50	63	20	32
2	0,10	60		50		20	12
3	0,15	60		50		20	8

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	60	72	40	53	20	32
2	0,10	60		40		20	20
3	0,15	60		40		20	13

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	60	72	30	44	20	32
2	0,10	60		30		20	26
3	0,15	60		30		20	10

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	50	63	40	53	20	32
2	0,10	50		40		20	10
3	0,15	50		40		20	7

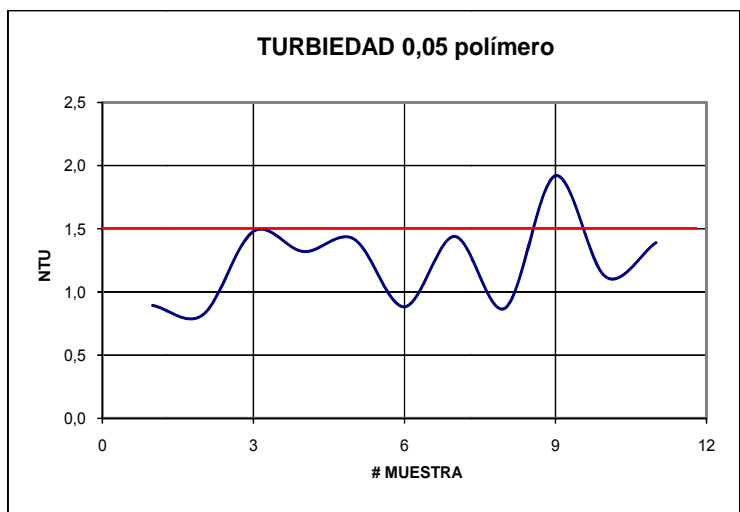
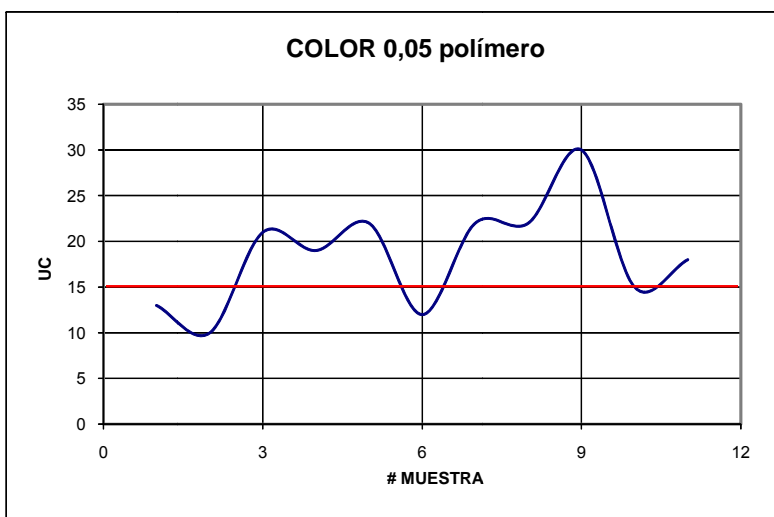
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,05	50	63	30		20	32
2	0,10	50		30		20	17
3	0,15	50		30		20	11

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,05	13	0,89
2	80	45	0,05	10	0,82
3	80	30	0,05	21	1,48
4	70	60	0,05	19	1,32
5	70	45	0,05	22	1,42
6	70	30	0,05	12	0,88
7	60	50	0,05	22	1,44
8	60	40	0,05	22	0,87
9	60	30	0,05	30	1,92
10	50	40	0,05	15	1,12
11	50	30	0,05	18	1,39

FUENTE: AUTOR

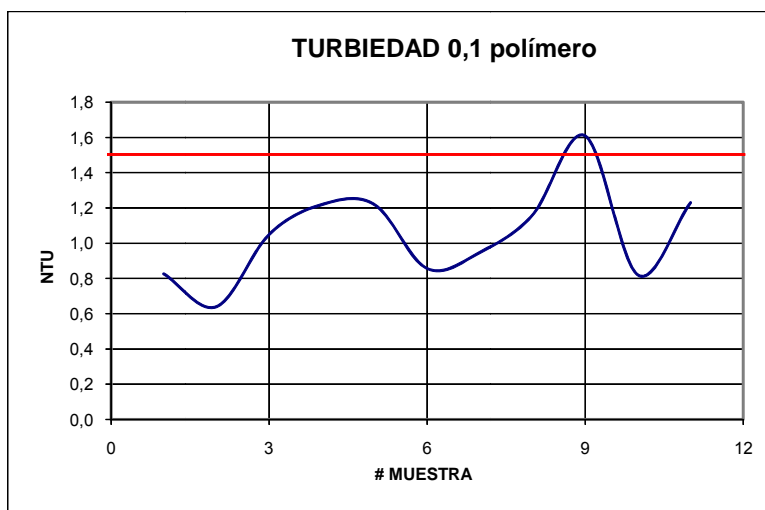
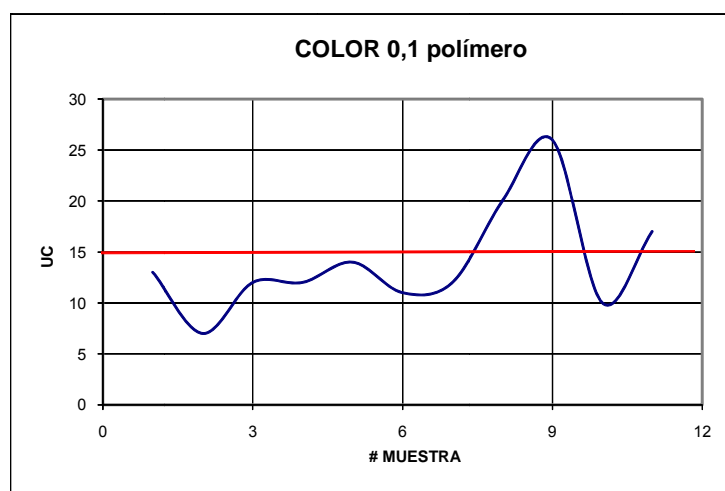


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,1	13	0,826
2	80	45	0,1	7	0,64
3	80	30	0,1	12	1,05
4	70	60	0,1	12	1,22
5	70	45	0,1	14	1,22
6	70	30	0,1	11	0,86
7	60	50	0,1	12	0,95
8	60	40	0,1	20	1,16
9	60	30	0,1	26	1,61
10	50	40	0,1	10	0,82
11	50	30	0,1	17	1,23

FUENTE: AUTOR

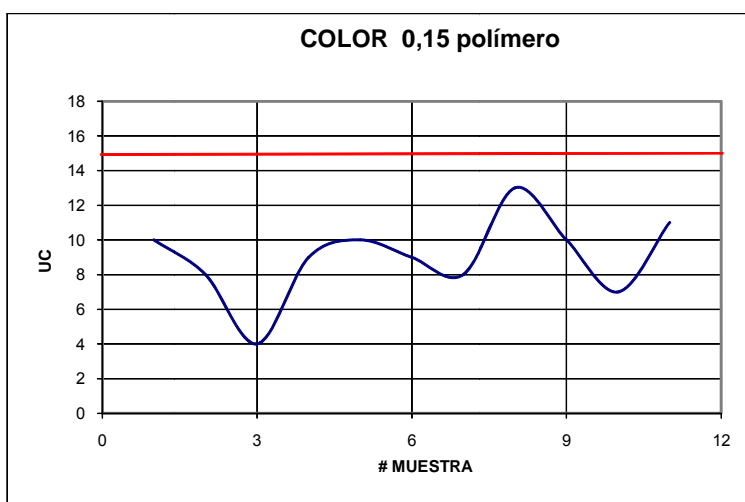


FUENTE: AUTOR

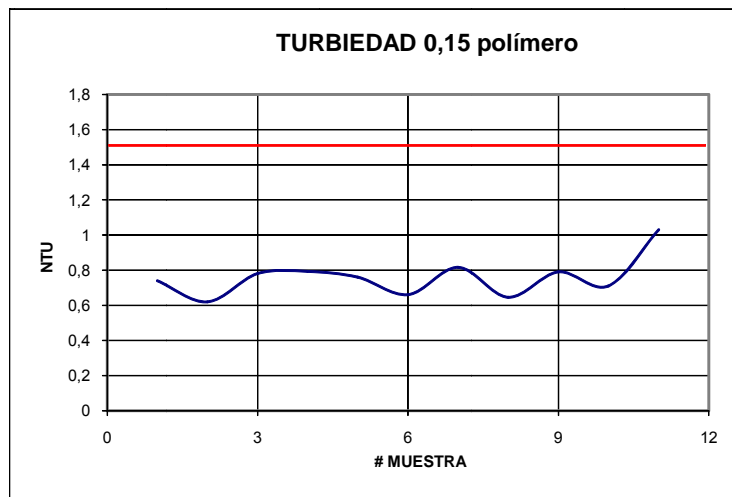


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	10	0,74
2	80	45	0,15	8	0,62
3	80	30	0,15	4	0,78
4	70	60	0,15	9	0,79
5	70	45	0,15	10	0,76
6	70	30	0,15	9	0,66
7	60	50	0,15	8	0,82
8	60	40	0,15	13	0,65
9	60	30	0,15	10	0,79
10	50	40	0,15	7	0,71
11	50	30	0,15	11	1,03

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 2****FECHA 30 Octubre 2009****Agua cruda Color 22 NTU 1.11 pH 7.83 Alcalinidad 38.37**

**Dosis sulfato 35, concentración 5%, pH 7.83 20 segundos de MR, polímero 0,15; 5 seg antes de floculación, Sedimentación 25 minutos Floculación: 2 min 30 seg 1ra cámara; 3 min 15 seg 2da cámara y 7 min 45 seg en el hidráulico**

<b>Ensayo 1</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	13	1,15
2	0,05	80		60		20		11	1,02
3	0,10	80		60		20		9	0,75
4	0,15	80		60		20		4	0,74

<b>Ensayo 2</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	15	1,41
2	0,05	80		45		20		8	1,14
3	0,10	80		45		20		6	0,72
4	0,15	80		45		20		6	0,71

<b>Ensayo 3</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	15	1,57
2	0,05	80		30		20		12	1,09
3	0,10	80		30		20		10	0,84
4	0,15	80		30		20		8	0,74

<b>Ensayo 4</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	12	1,23
2	0,05	70		60		20		8	0,72
3	0,10	70		60		20		7	0,669
4	0,15	70		60		20		2	0,64

<b>Ensayo 5</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	15	1,14
2	0,05	70		45		20		10	0,83
3	0,10	70		45		20		8	0,77
4	0,15	70		45		20		4	0,64

<b>Ensayo 6</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	15	1,31
2	0,05	70		30		20		11	0,88
3	0,10	70		30		20		8	0,77
4	0,15	70		30		20		7	0,76

<b>Ensayo 7</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	13	1,19
2	0,05	60		50		20		13	1,14
3	0,10	60		50		20		12	0,86
4	0,15	60		50		20		6	0,68

<b>Ensayo 8</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	14	1,01
2	0,05	60		40		20		9	0,8
3	0,10	60		40		20		7	0,78
4	0,15	60		40		20		5	0,76

<b>Ensayo 9</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	12	1,27
2	0,05	60		30		20		8	0,98
3	0,10	60		30		20		5	0,89
4	0,15	60		30		20		2	0,79

<b>Ensayo 10</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	16	1,51
2	0,05	50		40		20		8	1,03
3	0,10	50		40		20		5	0,89
4	0,15	50		40		20		5	0,83

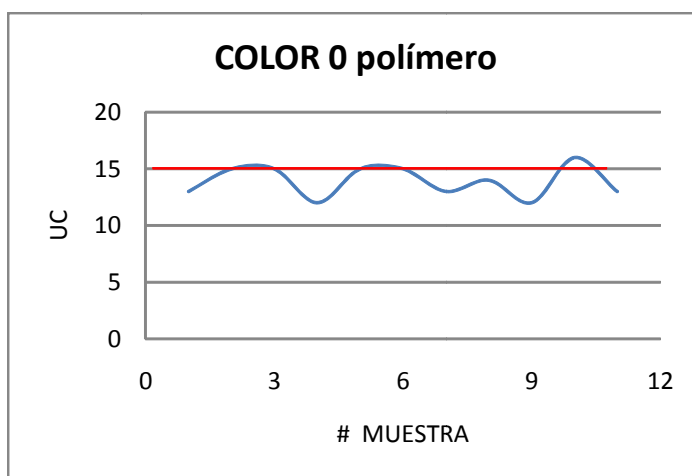
<b>Ensayo 11</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	30	44	20	32	13	1,21
2	0,05	50		30		20		10	1,05
3	0,10	50		30		20		5	0,78
4	0,15	50		30		20		4	0,71

FUENTE: AUTOR

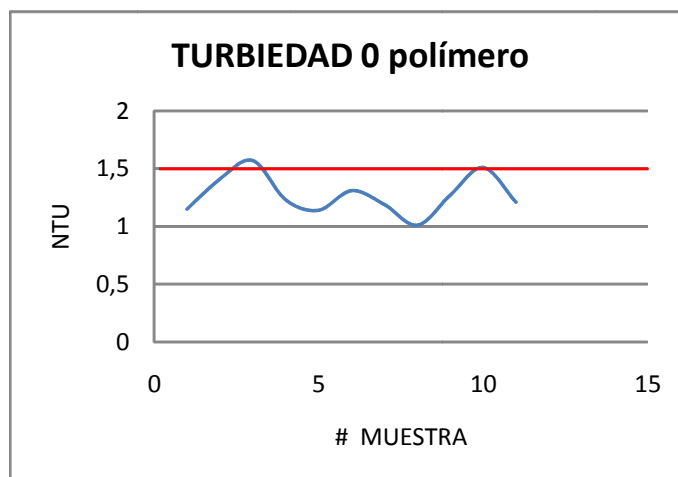


Muestra #	G1	G2	POLIMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	13	1,15
2	80	45	0,00	15	1,41
3	80	30	0,00	15	1,57
4	70	60	0,00	12	1,23
5	70	45	0,00	15	1,14
6	70	30	0,00	15	1,31
7	60	50	0,00	13	1,19
8	60	40	0,00	14	1,01
9	60	30	0,00	12	1,27
10	50	40	0,00	16	1,51
11	50	30	0,00	13	1,21

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



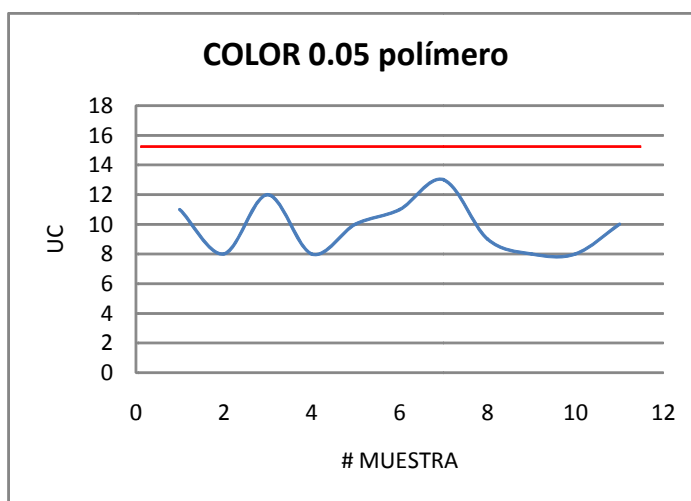
FUENTE: AUTOR



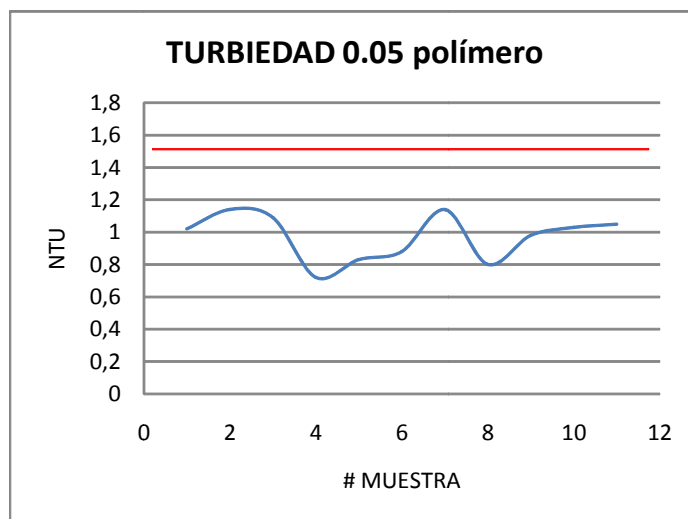


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,05	11	1,02
2	80	45	0,05	8	1,14
3	80	30	0,05	12	1,09
4	70	60	0,05	8	0,72
5	70	45	0,05	10	0,83
6	70	30	0,05	11	0,88
7	60	50	0,05	13	1,14
8	60	40	0,05	9	0,8
9	60	30	0,05	8	0,98
10	50	40	0,05	8	1,03
11	50	30	0,05	10	1,05

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

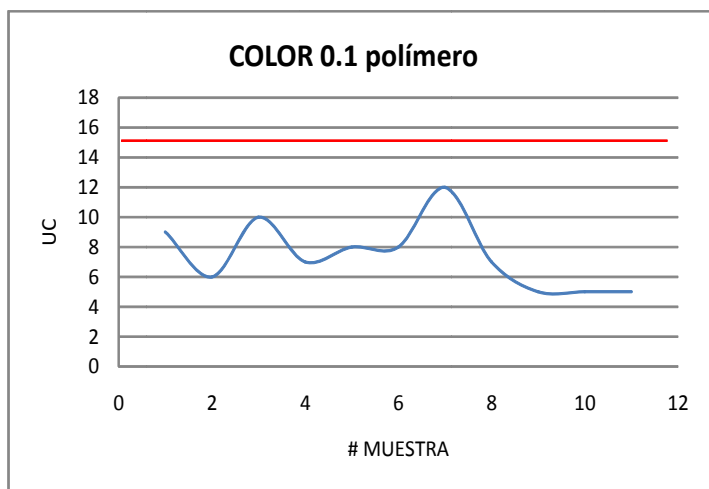


FUENTE: AUTOR

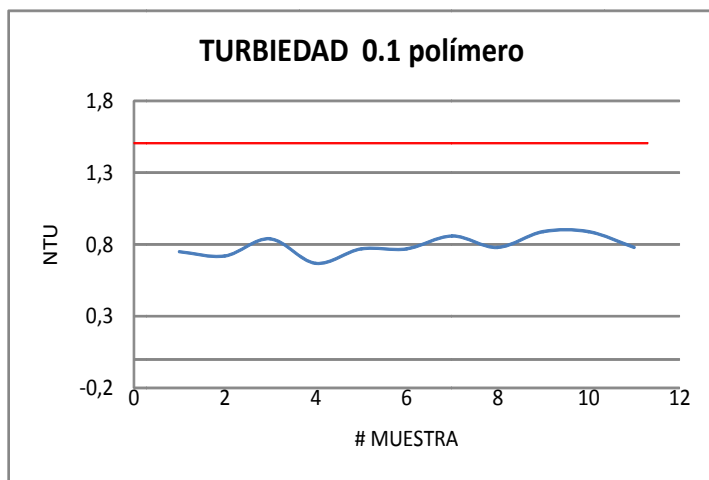


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	9	0,75
2	80	45	0,10	6	0,72
3	80	30	0,10	10	0,84
4	70	60	0,10	7	0,669
5	70	45	0,10	8	0,77
6	70	30	0,10	8	0,77
7	60	50	0,10	12	0,86
8	60	40	0,10	7	0,78
9	60	30	0,10	5	0,89
10	50	40	0,10	5	0,89
11	50	30	0,10	5	0,78

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

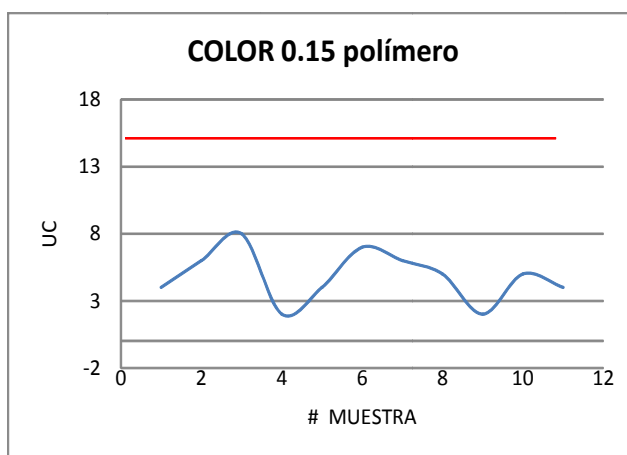


FUENTE: AUTOR

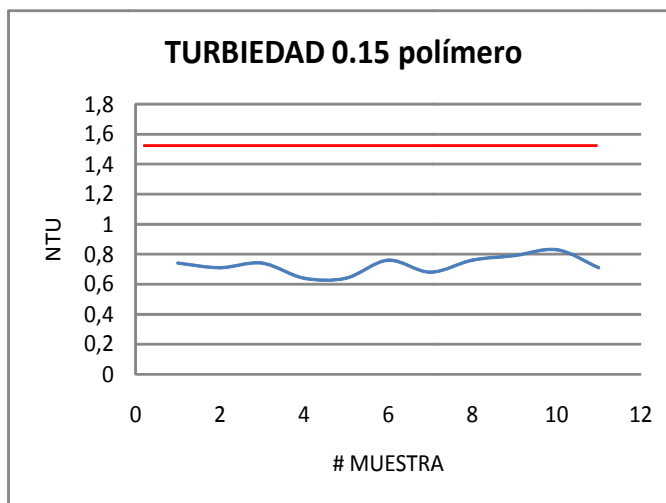


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	4	0,74
2	80	45	0,15	6	0,71
3	80	30	0,15	8	0,74
4	70	60	0,15	2	0,64
5	70	45	0,15	4	0,64
6	70	30	0,15	7	0,76
7	60	50	0,15	6	0,68
8	60	40	0,15	5	0,76
9	60	30	0,15	2	0,79
10	50	40	0,15	5	0,83
11	50	30	0,15	4	0,71

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 3****FECHA 17/Noviembre/2008****Agua cruda Color 25 NTU 1.01 pH 7.2 Alcalinidad 39.36**

**Dosis sulfato 36, concentración 6%, pH 7.83 20 segundos de MR, polímero 0,16; 6 seg antes de floculación, Sedimentación 26 minutos Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 16 seg 2da cámara y 7 min 46 seg en el hidrálulo**

Ensayo 1		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80 92	60 72	20 32	23	0,943
2	0,05	80	60	20	22	1,13
3	0,10	80	60	20	23	1,3
4	0,15	80	60	20	23	1,38

Ensayo 2		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80 92	45 60	20 32	22	1,07
2	0,05	80	45	20	25	1,17
3	0,10	80	45	20	24	1,4
4	0,15	80	45	20	26	1,67

Ensayo 3		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80 92	30 44	20 32	17	0,939
2	0,05	80	30	20	20	1,29
3	0,10	80	30	20	19	1,23
4	0,15	80	30	20	21	1,58

Ensayo 4		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70 82	60 72	20 32	20	1,28
2	0,05	70	60	20	21	1,45
3	0,10	70	60	20	21	1,48
4	0,15	70	60	20	22	1,66

Ensayo 5		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70 82	45 60	20 32	23	1,49
2	0,05	70	45	20	24	1,7
3	0,10	70	45	20	25	1,9
4	0,15	70	45	20	25	1,84

Ensayo 6		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70 82	30 44	20 32	23	1,6
2	0,05	70	30	20	25	1,8
3	0,10	70	30	20	25	1,84
4	0,15	70	30	20	15	0,97

Ensayo 7		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60 72	50 63	20 32	25	1,44
2	0,05	60	50	20	26	1,77
3	0,10	60	50	20	26	1,83
4	0,15	60	50	20	26	1,96

Ensayo 8		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60 72	40 53	20 32	25	1,3
2	0,05	60	40	20	24	1,52
3	0,10	60	40	20	26	1,92
4	0,15	60	40	20	26	1,96

Ensayo 9		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60 72	30 44	20 32	23	1,38
2	0,05	60	30	20	25	1,75
3	0,10	60	30	20	24	1,7
4	0,15	60	30	20	26	1,96

Ensayo 10		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50 63	40 53	20 32	23	1,6
2	0,05	50	40	20	24	1,75
3	0,10	50	40	20	24	1,95
4	0,15	50	40	20	26	2,15

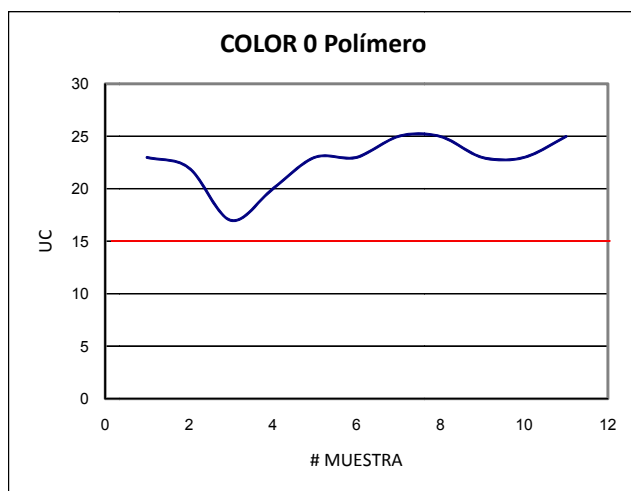
Ensayo 11		Oámara 1	Oámara 2	Hidrálulo	Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50 63	30 44	20 32	25	1,9
2	0,05	50	30	20	24	1,8
3	0,10	50	30	20	26	1,6
4	0,15	50	30	20	23	1,6

FUENTE: AUTOR

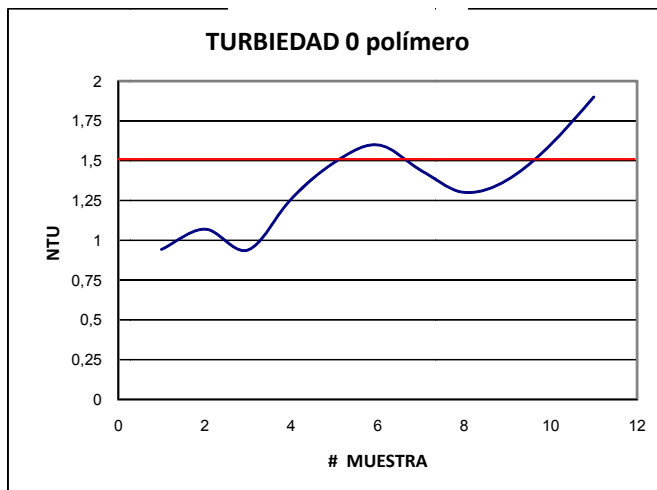


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	23	0,943
2	80	45	0,00	22	1,07
3	80	30	0,00	17	0,939
4	70	60	0,00	20	1,26
5	70	45	0,00	23	1,49
6	70	30	0,00	23	1,6
7	60	50	0,00	25	1,44
8	60	40	0,00	25	1,3
9	60	30	0,00	23	1,38
10	50	40	0,00	23	1,6
11	50	30	0,00	25	1,9

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

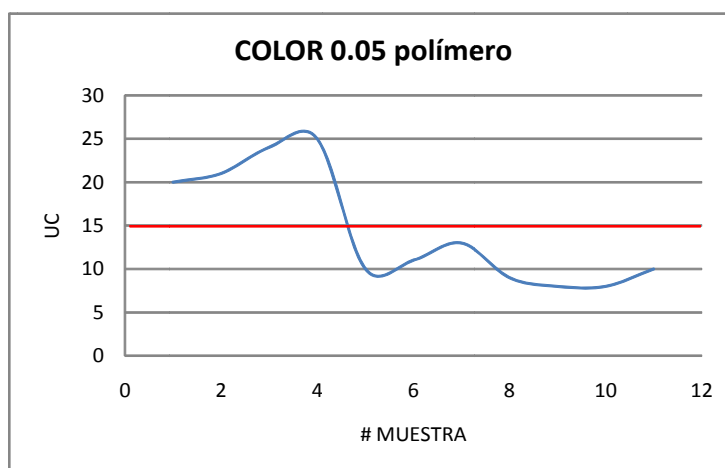


FUENTE: AUTOR

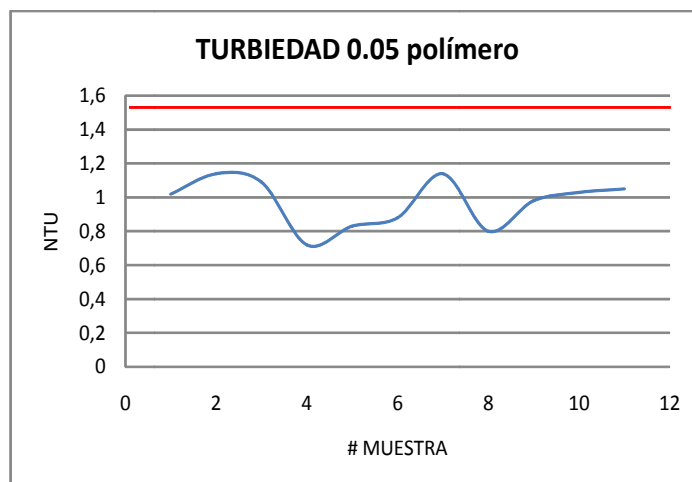


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,05	20	1,02
2	80	45	0,05	21	1,14
3	80	30	0,05	24	1,09
4	70	60	0,05	25	0,72
5	70	45	0,05	10	0,83
6	70	30	0,05	11	0,88
7	60	50	0,05	13	1,14
8	60	40	0,05	9	0,8
9	60	30	0,05	8	0,98
10	50	40	0,05	8	1,03
11	50	30	0,05	10	1,05

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



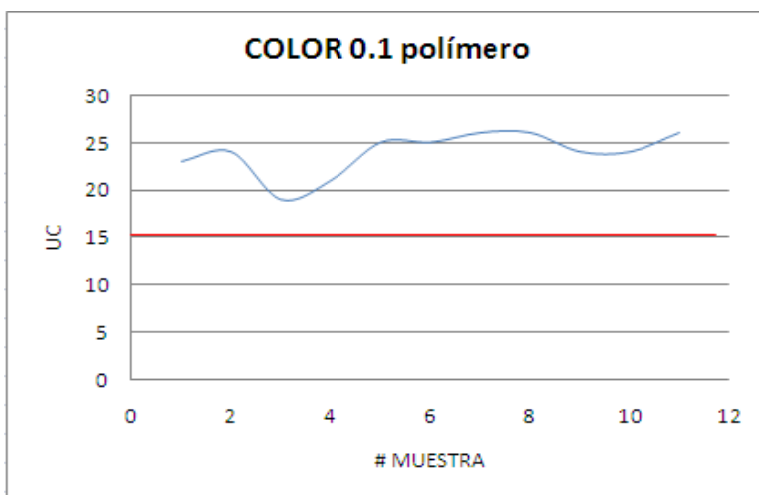
FUENTE: AUTOR



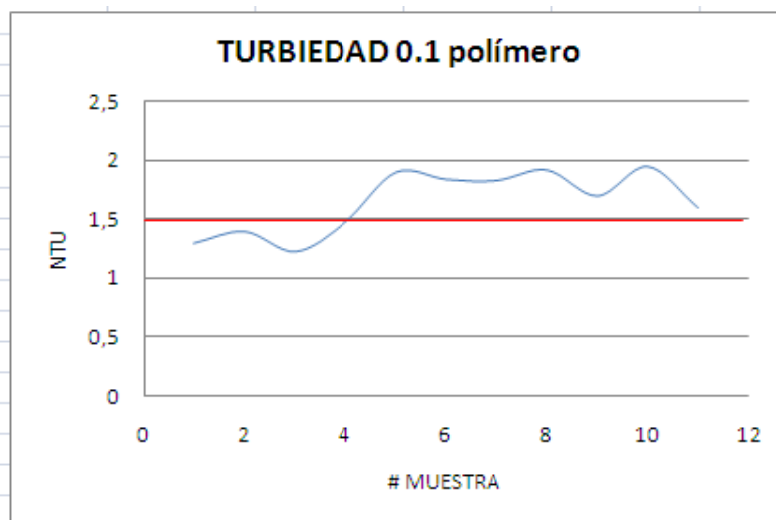
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,1	23	1,3
2	80	45	0,1	24	1,4
3	80	30	0,1	19	1,23
4	70	60	0,1	21	1,48
5	70	45	0,1	25	1,9
6	70	30	0,1	25	1,84
7	60	50	0,1	26	1,83
8	60	40	0,1	26	1,92
9	60	30	0,1	24	1,7
10	50	40	0,1	24	1,95
11	50	30	0,1	26	1,6

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

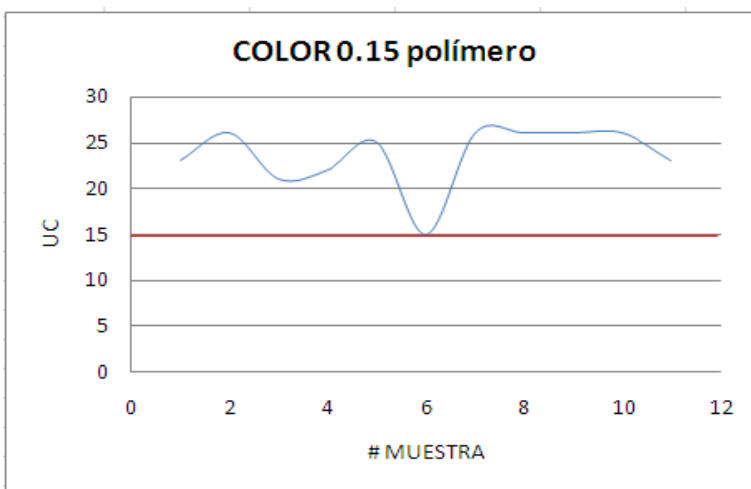


FUENTE: AUTOR

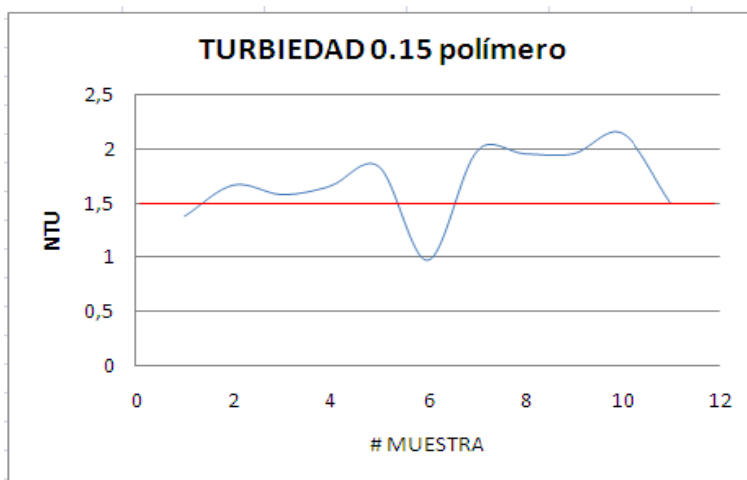


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	23	1,38
2	80	45	0,15	26	1,67
3	80	30	0,15	21	1,58
4	70	60	0,15	22	1,66
5	70	45	0,15	25	1,84
6	70	30	0,15	15	0,97
7	60	50	0,15	26	1,98
8	60	40	0,15	26	1,96
9	60	30	0,15	26	1,96
10	50	40	0,15	26	2,15
11	50	30	0,15	23	1,5

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**MUESTRA 4****FECHA 27/Noviembre/2009****Agua cruda Color 45 NTU 2,28 pH 7,74 Alcalinid. 37,38**

**Dosis sulfato 50, concentración 20%, pH 7.74 20 segundos de MR, polímero 0,15; 5 seq antes de floculación, Sedimentación 25 minutos Floculación: 2 min 30seq 1ra cámara; 9 min 15 seq 2da cámara y 7 min 45 seq en el hidráulico**

Ensayo 1		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	80 92	60 72	20 32	18	1,34
2	0,1	80	60	20	10	1,03
3	0,15	80	60	20	9	0,78

Ensayo 2		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	80 92	45 60	20 32	19	1,86
2	0,1	80	45	20	7	0,99
3	0,15	80	45	20	7	0,92

Ensayo 3		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	80 92	30 44	20 32	27	2,1
2	0,1	80	30	20	16	1,53
3	0,15	80	30	20	9	1,21

Ensayo 4		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	70 82	60 72	20 32	23	1,97
2	0,1	70	60	20	5	1,19
3	0,15	70	60	20	7	1,4

Ensayo 5		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	70 82	45 60	20 32	19	1,83
2	0,1	70	45	20	10	1,33
3	0,15	70	45	20	9	1,12

Ensayo 6		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	70 82	30 44	20 32	17	2,02
2	0,1	70	30	20	6	1,26
3	0,15	70	30	20	4	1,03

Ensayo 7		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	60 72	50 63	20 32	13	1,36
2	0,1	60	50	20	7	1,05
3	0,15	60	50	20	2	0,92

Ensayo 8		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	60 72	40 53	20 32	13	1,5
2	0,1	60	40	20	8	0,85
3	0,15	60	40	20	4	0,73

Ensayo 9		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	60 72	30 44	20 32	19	1,2
2	0,1	60	30	20	11	1,07
3	0,15	60	30	20	11	0,86

Ensayo 10		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	50 63	40 53	20 32	13	1,34
2	0,1	50	40	20	6	0,94
3	0,15	50	40	20	9	0,86

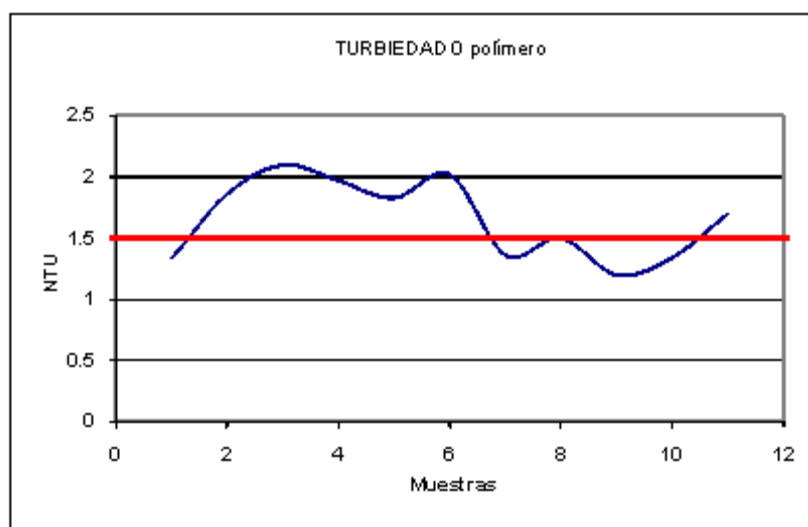
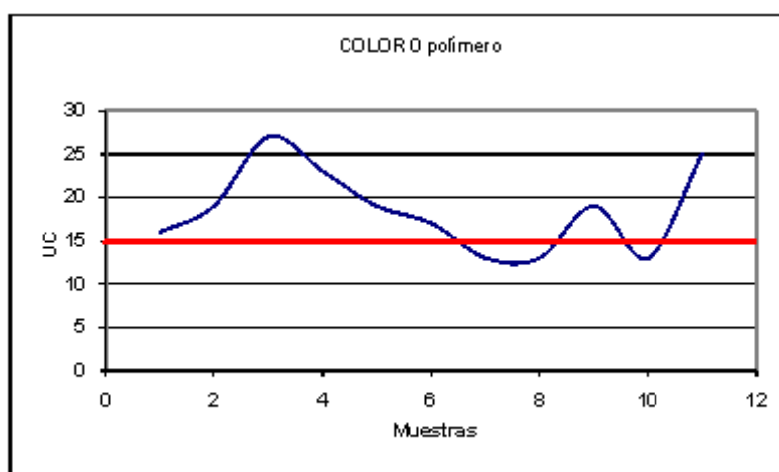
Ensayo 11		Cámara 1	Cámara 2	Hidráulico		
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU
1	0,00	50 63	40 53	20 32	25	1,7
2	0,1	50	30	20	14	0,97
3	0,15	50	30	20	5	0,62

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.00	16	1.34
2	80	45	0.00	19	1.86
3	80	30	0.00	27	2.1
4	70	60	0.00	23	1.97
5	70	45	0.00	19	1.83
6	70	30	0.00	17	2.02
7	60	50	0.00	13	1.36
8	60	40	0.00	13	1.5
9	60	30	0.00	19	1.2
10	50	40	0.00	13	1.34
11	50	30	0.00	25	1.7

FUENTE: AUTOR



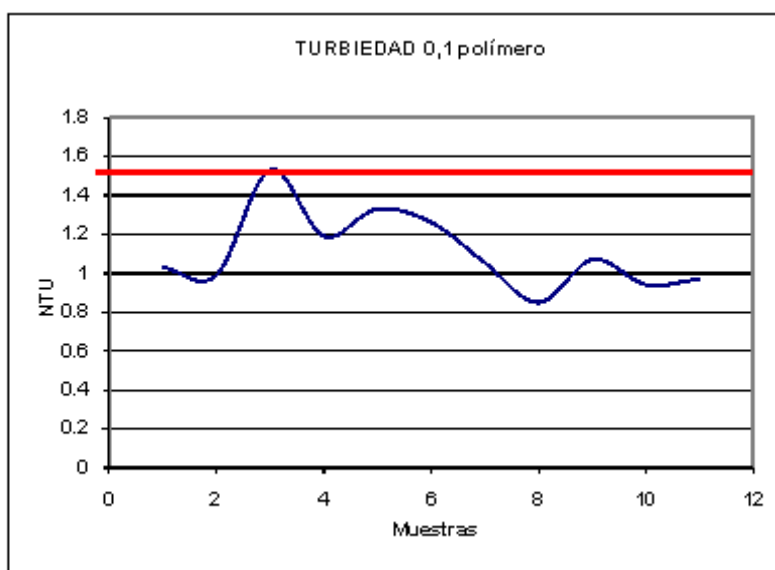
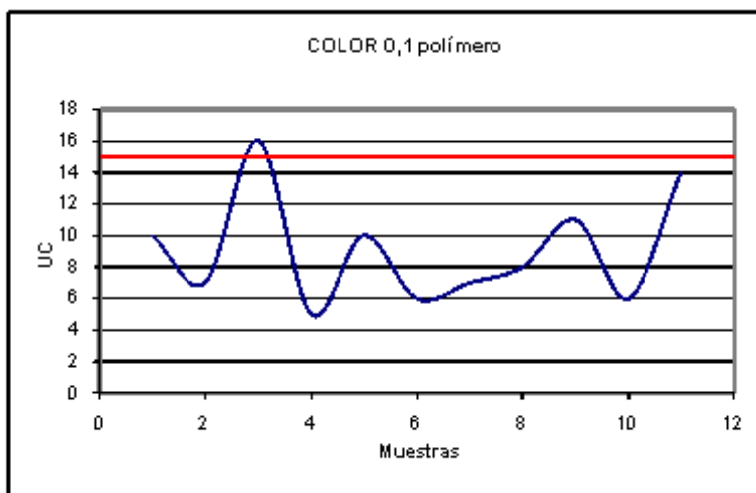
FUENTE: AUTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.10	10	1.03
2	80	45	0.10	7	0.99
3	80	30	0.10	16	1.53
4	70	60	0.10	5	1.19
5	70	45	0.10	10	1.33
6	70	30	0.10	6	1.26
7	60	50	0.10	7	1.05
8	60	40	0.10	8	0.85
9	60	30	0.10	11	1.07
10	50	40	0.10	6	0.94
11	50	30	0.10	14	0.97

FUENTE: AUTOR

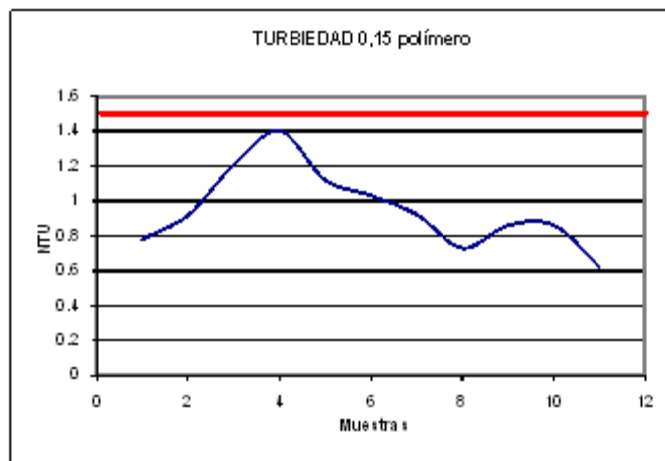
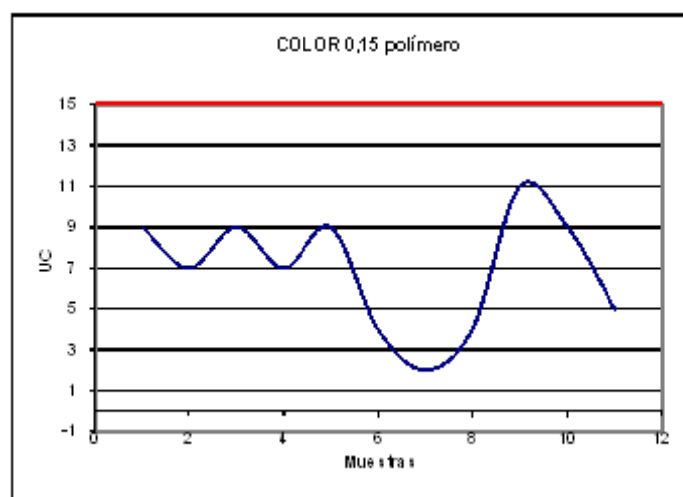


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.15	9	0.78
2	80	45	0.15	7	0.92
3	80	30	0.15	9	1.21
4	70	60	0.15	7	1.4
5	70	45	0.15	9	1.12
6	70	30	0.15	4	1.03
7	60	50	0.15	2	0.92
8	60	40	0.15	4	0.73
9	60	30	0.15	11	0.86
10	50	40	0.15	9	0.86
11	50	30	0.15	5	0.62

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 5****FECHA 01/Diciembre/2009**

Agua cruda      Color:92      NTU 7      pH:7,30      Alcalinid. 27,54 (1,4)

Dosis sulfato 65, concentración 10%, pH 7,3 20 segundos de MR,  
 polímero 0,15; 5 seq antes de floculación, Sedimentación 25 minutos  
 Floculación: 2 min 30seq 1ra cámara; 9 min 15 seq 2da cámara  
 y 7 min 45 seq en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	38	3,21
2	0,1	80		60		20		24	2,42
3	0,15	80		60		20		16	2,06

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	32	2,9
2	0,1	80		45		20		14	2,39
3	0,15	80		45		20		12	1,8

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	26	2,36
2	0,1	80		30		20		20	1,98
3	0,15	80		30		20		22	1,91

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	32	3,2
2	0,1	70		60		20		20	1,88
3	0,15	70		60		20		20	1,64

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	33	2,41
2	0,1	70		45		20		22	1,49
3	0,15	70		45		20		12	1,35

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	27	2,03
2	0,1	70		30		20		19	1,6
3	0,15	70		30		20		14	1,51

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	35	2,31
2	0,1	60		50		20		24	1,98
3	0,15	60		50		20		23	1,8

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	43	3,65
2	0,1	60		40		20		14	1,62
3	0,15	60		40		20		8	1,41

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	31	2,52
2	0,1	60		30		20		23	1,35
3	0,15	60		30		20		21	1,5

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	27	2,21
2	0,1	50		40		20		16	1,22
3	0,15	50		40		20		11	1,07

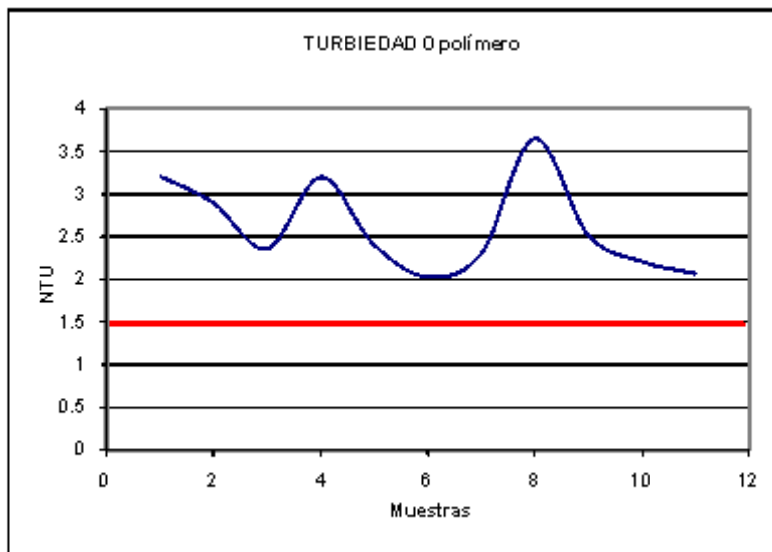
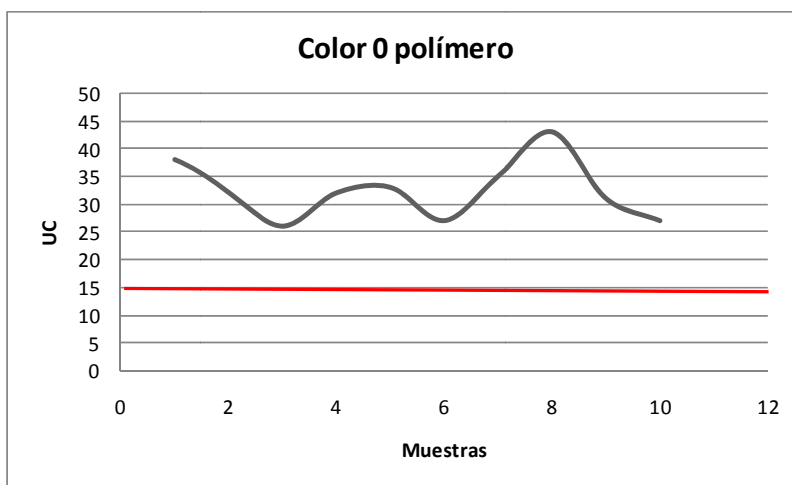
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	28	2,07
2	0,1	50		30		20		20	1,51
3	0,15	50		30		20		21	1,45

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	38	3,21
2	80	45	0,00	32	2,9
3	80	30	0,00	26	2,36
4	70	60	0,00	32	3,2
5	70	45	0,00	33	2,41
6	70	30	0,00	27	2,03
7	60	50	0,00	35	2,31
8	60	40	0,00	43	3,65
9	60	30	0,00	31	2,52
10	50	40	0,00	27	2,21
11	50	30	0,00	28	2,07

FUENTE: AUTOR

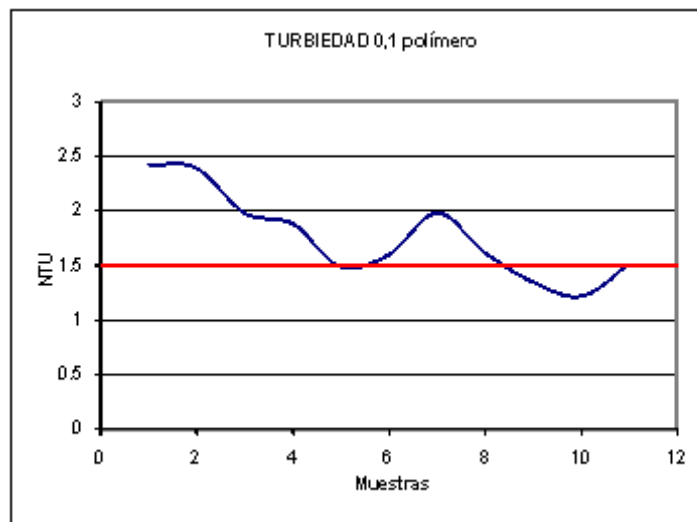
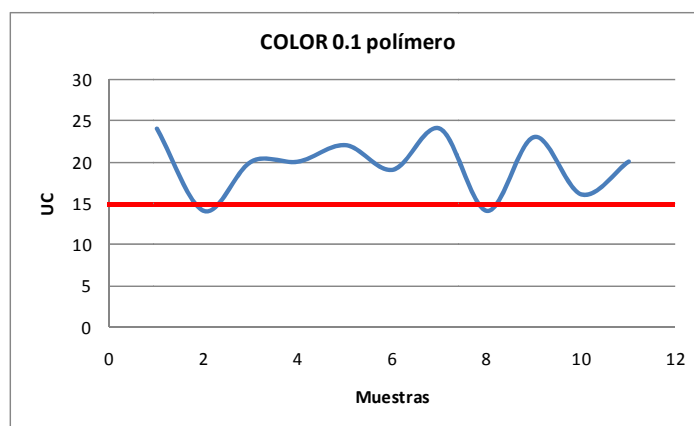


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	24	2,42
2	80	45	0,10	14	2,39
3	80	30	0,10	20	1,98
4	70	60	0,10	20	1,88
5	70	45	0,10	22	1,49
6	70	30	0,10	19	1,6
7	60	50	0,10	24	1,98
8	60	40	0,10	14	1,62
9	60	30	0,10	23	1,35
10	50	40	0,10	16	1,22
11	50	30	0,10	20	1,51

FUENTE: AUTOR

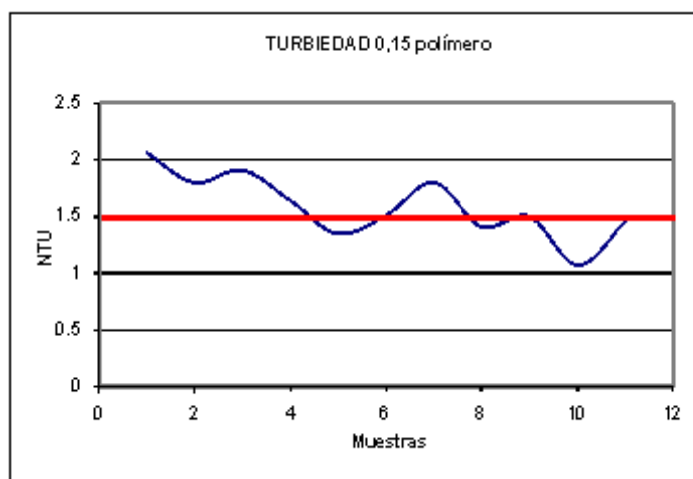
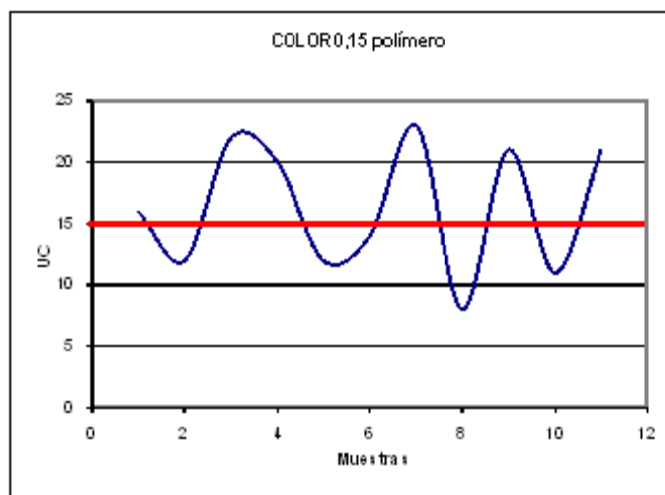


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	16	2,06
2	80	45	0,15	12	1,8
3	80	30	0,15	22	1,91
4	70	60	0,15	20	1,64
5	70	45	0,15	12	1,35
6	70	30	0,15	14	1,51
7	60	50	0,15	23	1,8
8	60	40	0,15	8	1,41
9	60	30	0,15	21	1,5
10	50	40	0,15	11	1,07
11	50	30	0,15	21	1,45

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**MUESTRA 6****FECHA 03/Diciembre/2009**

Agua cruda Color 23 NTU 27,5 pH 7,10 Alcalinid. 27,54 (1,4)

Dosis sulfato 70, concentración 5%, pH 7,10; 20 segundos de MR, polímero 0,15; 5 seq antes de floculación, Sedimentación 25 minutos  
 Floculación: 2 min 30seq 1ra cámara; 9 min 15 seq 2da cámara y 7 min 45 seq en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	21	2,33
2	0,1	80		60		20		10	0,92
3	0,15	80		60		20		10	0,93

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	18	2,63
2	0,1	80		45		20		10	0,99
3	0,15	80		45		20		9	0,79

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	20	2,1
2	0,1	80		30		20		17	1,6
3	0,15	80		30		20		15	1,19

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	17	1,84
2	0,1	70		60		20		14	1,46
3	0,15	70		60		20		13	1,28

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	19	2,28
2	0,1	70		45		20		14	1,65
3	0,15	70		45		20		14	1,62

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	21	2,24
2	0,1	70		30		20		14	1,45
3	0,15	70		30		20		9	1,05

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	23	1,93
2	0,1	60		50		20		15	1,31
3	0,15	60		50		20		14	0,85

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	21	2,18
2	0,1	60		40		20		14	0,98
3	0,15	60		40		20		16	1,03

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	23	2
2	0,1	60		30		20		11	1,08
3	0,15	60		30		20		10	0,91

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	23	2,3
2	0,1	50		40		20		15	0,83
3	0,15	50		40		20		17	1,04

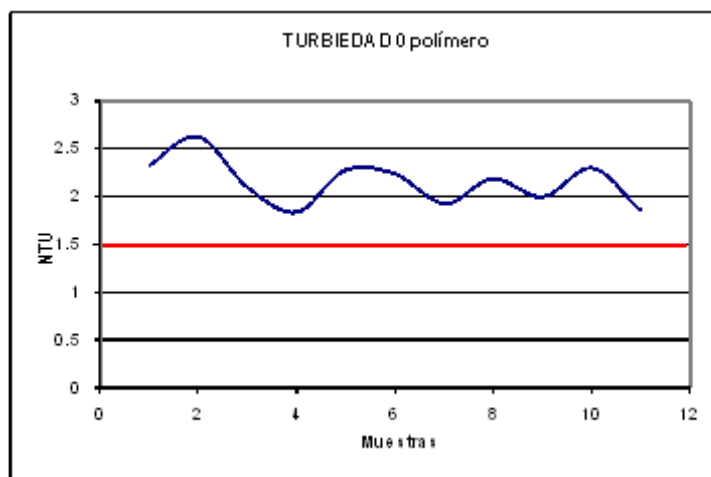
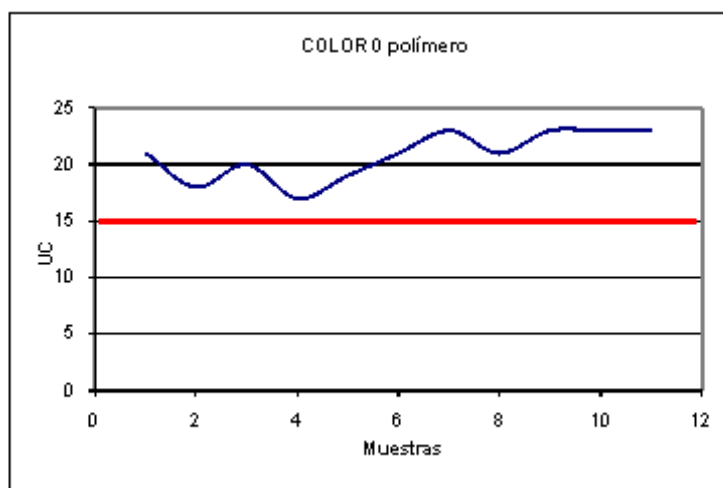
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	23	1,88
2	0,1	50		30		20		15	1,14
3	0,15	50		30		20		15	1,01

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.00	21	2.33
2	80	45	0.00	18	2.63
3	80	30	0.00	20	2.1
4	70	60	0.00	17	1.84
5	70	45	0.00	19	2.28
6	70	30	0.00	21	2.24
7	60	50	0.00	23	1.93
8	60	40	0.00	21	2.189
9	60	30	0.00	23	2
10	50	40	0.00	23	2.3
11	50	30	0.00	23	1.86

FUENTE: AUTOR

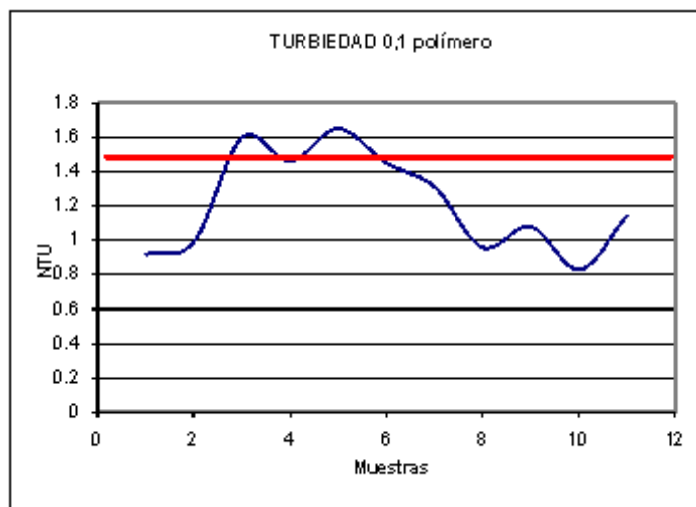
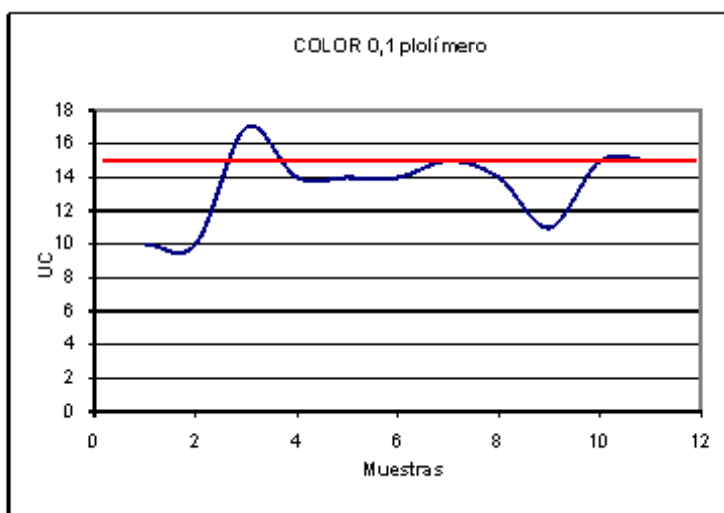


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.10	10	0.92
2	80	45	0.10	10	0.99
3	80	30	0.10	17	1.6
4	70	60	0.10	14	1.46
5	70	45	0.10	14	1.65
6	70	30	0.10	14	1.45
7	60	50	0.10	15	1.31
8	60	40	0.10	14	0.96
9	60	30	0.10	11	1.08
10	50	40	0.10	15	0.83
11	50	30	0.10	15	1.14

FUENTE: AUTOR

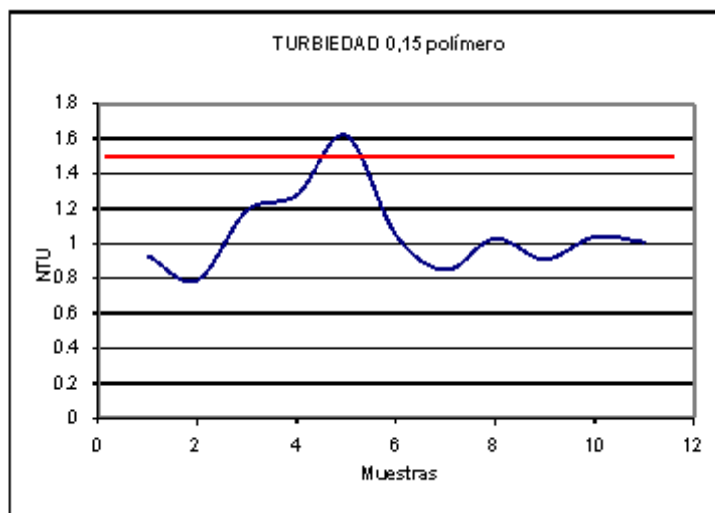
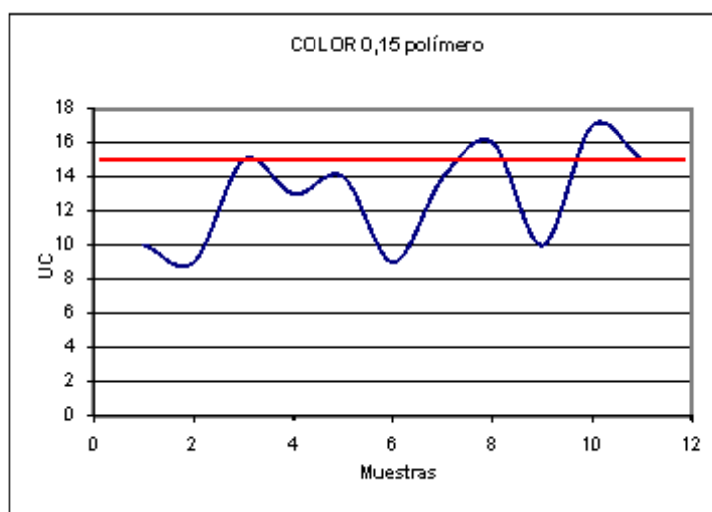


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.15	10	0.93
2	80	45	0.15	9	0.79
3	80	30	0.15	15	1.19
4	70	60	0.15	13	1.28
5	70	45	0.15	14	1.62
6	70	30	0.15	9	1.05
7	60	50	0.15	14	0.85
8	60	40	0.15	16	1.03
9	60	30	0.15	10	0.91
10	50	40	0.15	17	1.04
11	50	30	0.15	15	1.01

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 7****FECHA 11/Diciembre/2009****Agua cruda Color\_1000 NTU 221 pH 7.42 Alcalinid 29.5 (1.5)**

**Dosis sulfato 80, concentración 5%, pH 7.42; 20 segundos de MR, polímero 0,15; 10 min de floculación, Sedimentación 25 minutos Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 7 min 45 seg en el hidráulico**

<b>Ensayo 1</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	28	4,72
2	0,1	80		60		20		19	1,8
3	0,15	80		60		20		16	1,9

<b>Ensayo 2</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	36	6,7
2	0,1	80		45		20		21	1,51
3	0,15	80		45		20		20	1,45

<b>Ensayo 3</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	26	4,2
2	0,1	80		30		20		24	3,61
3	0,15	80		30		20		20	2,48

<b>Ensayo 4</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	20	3,88
2	0,1	70		60		20		17	2,09
3	0,15	70		60		20		14	1,63

<b>Ensayo 5</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	18	2,08
2	0,1	70		45		20		13	1,8
3	0,15	70		45		20		12	1,38

<b>Ensayo 6</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	22	2,31
2	0,1	70		30		20		19	1,93
3	0,15	70		30		20		14	1,73

<b>Ensayo 7</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	18	2,75
2	0,1	60		50		20		16	2,2
3	0,15	60		50		20		14	1,4

<b>Ensayo 8</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	21	2,2
2	0,1	60		40		20		18	2,18
3	0,15	60		40		20		15	1,45

<b>Ensayo 9</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	20	4,02
2	0,1	60		30		20		17	2,45
3	0,15	60		30		20		15	1,98

<b>Ensayo 10</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	20	2,04
2	0,1	50		40		20		16	1,71
3	0,15	50		40		20		18	1,76

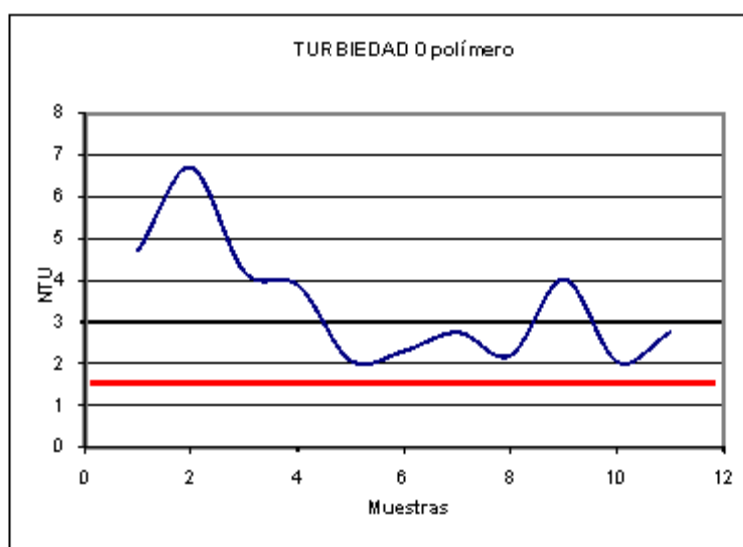
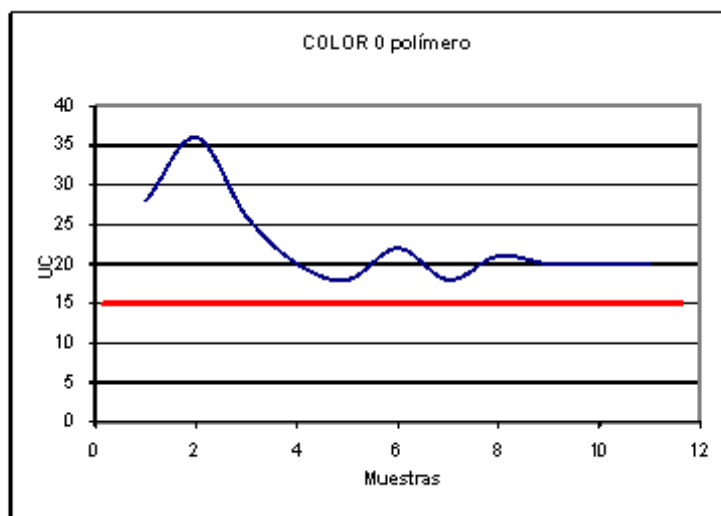
<b>Ensayo 11</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	20	2,78
2	0,1	50		30		20		16	1,8
3	0,15	50		30		20		18	1,96

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.00	28	4.72
2	80	45	0.00	36	6.7
3	80	30	0.00	26	4.2
4	70	60	0.00	20	3.88
5	70	45	0.00	18	2.08
6	70	30	0.00	22	2.31
7	60	50	0.00	18	2.75
8	60	40	0.00	21	2.2
9	60	30	0.00	20	4.02
10	50	40	0.00	20	2.04
11	50	30	0.00	20	2.76

FUENTE: AUTOR

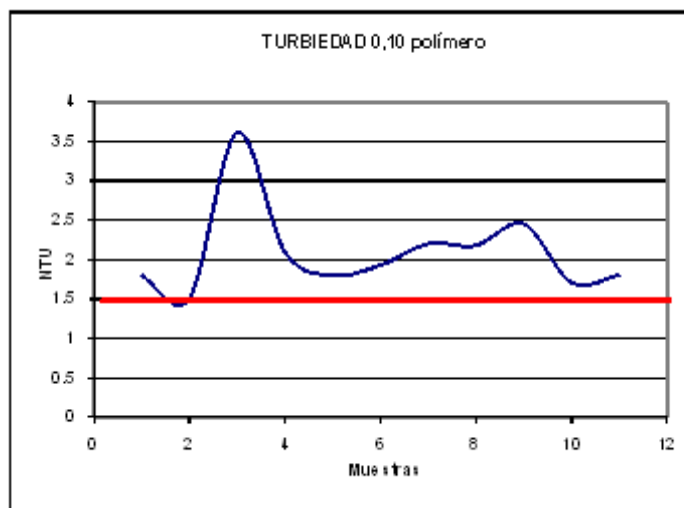
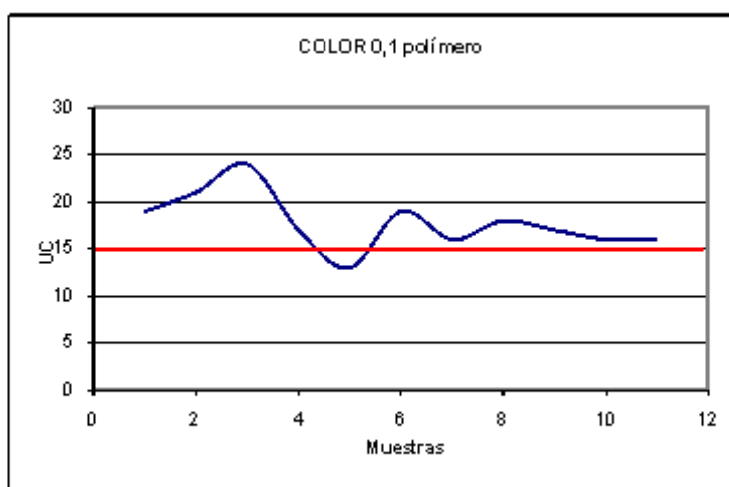


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.10	19	1.8
2	80	45	0.10	21	1.51
3	80	30	0.10	24	3.61
4	70	60	0.10	17	2.09
5	70	45	0.10	13	1.8
6	70	30	0.10	19	1.93
7	60	50	0.10	16	2.2
8	60	40	0.10	18	2.18
9	60	30	0.10	17	2.45
10	50	40	0.10	16	1.71
11	50	30	0.10	16	1.8

FUENTE: AUTOR

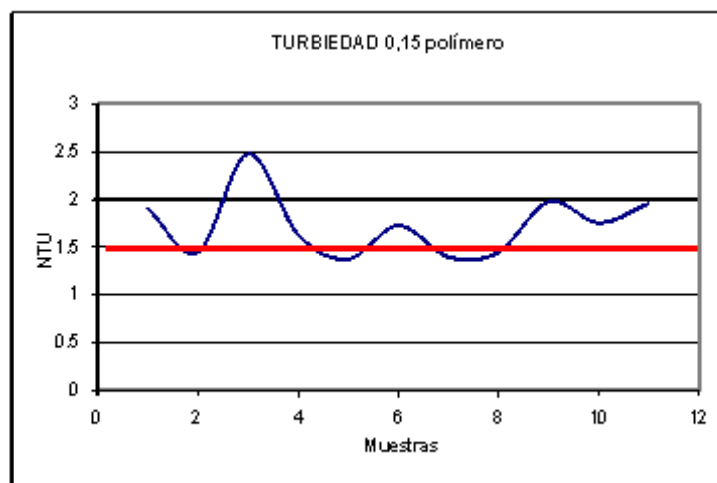
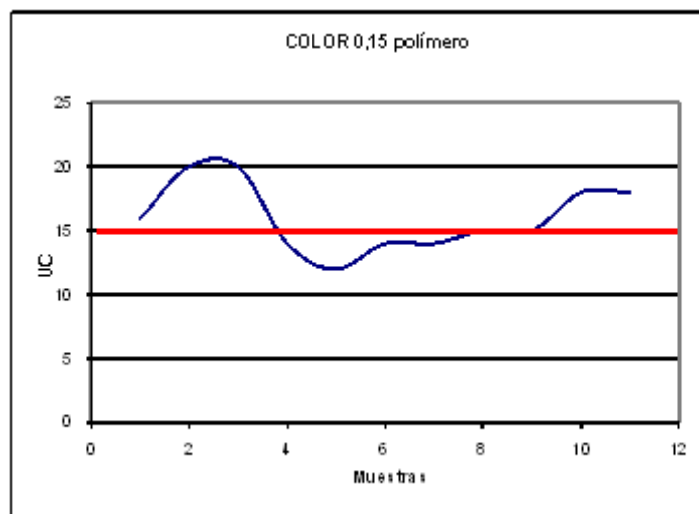


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	16	1,9
2	80	45	0,15	20	1,45
3	80	30	0,15	20	2,48
4	70	60	0,15	14	1,63
5	70	45	0,15	12	1,38
6	70	30	0,15	14	1,73
7	60	50	0,15	14	1,4
8	60	40	0,15	15	1,45
9	60	30	0,15	15	1,98
10	50	40	0,15	18	1,76
11	50	30	0,15	18	1,96

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**MUESTRA #****FECHA 30 Diciembre/2009****Agua cruda Color 119 NTU 10 pH 7.11 Alcalinid. 22.6**

**Dosis sulfato 70, concentración 20%, pH 7,11 a los 5 segundos de MR, polímero 0,15 a los 10 min desde floculación, Sedimentación 25 min Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 7 min 45 seg en el hidráulico**

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	25	2,73
2	0,1	80		60		20		6	1,12
3	0,15	80		60		20		7	1,39

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	45	3,84
2	0,1	80		45		20		25	2,92
3	0,15	80		45		20		18	1,55

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	36	3,17
2	0,1	80		30		20		26	2,19
3	0,15	80		30		20		15	1,81

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	41	3,3
2	0,1	70		60		20		22	1,98
3	0,15	70		60		20		17	1,35

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	50	3,57
2	0,1	70		45		20		27	2
3	0,15	70		45		20		24	1,66

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	48	4,06
2	0,1	70		30		20		23	2,06
3	0,15	70		30		20		19	1,81

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	31	2,92
2	0,1	60		50		20		25	2,21
3	0,15	60		50		20		17	1,85

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	52	3,62
2	0,1	60		40		20		28	2,95
3	0,15	60		40		20		25	2,5

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	55	4,46
2	0,1	60		30		20		24	2,41
3	0,15	60		30		20		23	2,09

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	53	5,25
2	0,1	50		40		20		27	3,02
3	0,15	50		40		20		25	2,47

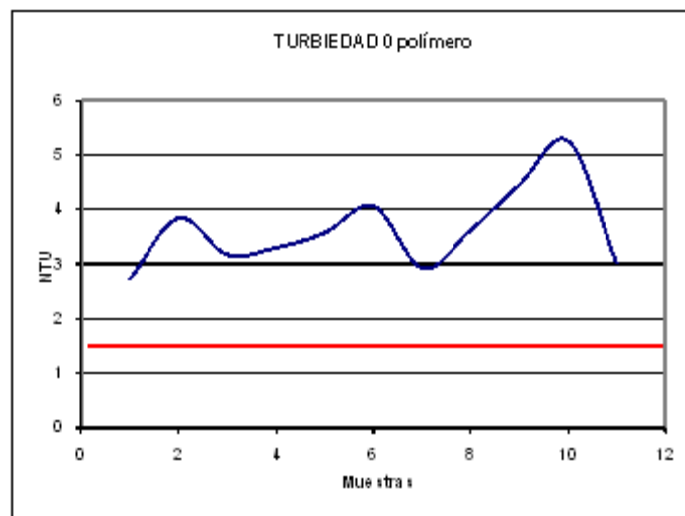
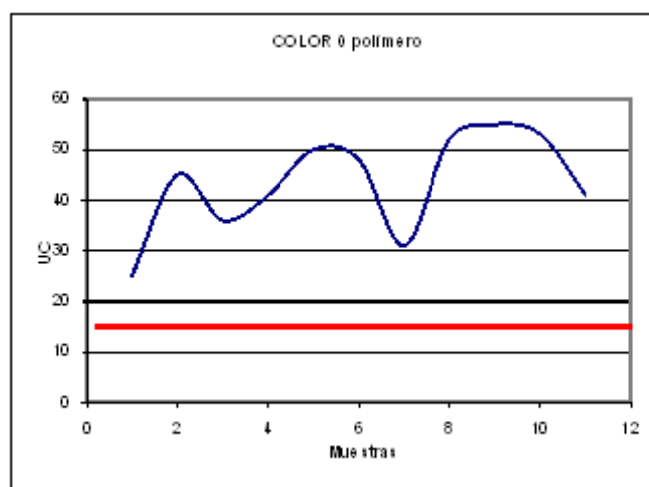
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	41	3,01
2	0,1	50		30		20		25	1,99
3	0,15	50		30		20		22	1,89

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	25	2,73
2	80	45	0,00	45	3,84
3	80	30	0,00	36	3,17
4	70	60	0,00	41	3,3
5	70	45	0,00	50	3,57
6	70	30	0,00	48	4,06
7	60	50	0,00	31	2,92
8	60	40	0,00	52	3,62
9	60	30	0,00	55	4,46
10	50	40	0,00	53	5,25
11	50	30	0,00	41	3,01

FUENTE: AUTOR

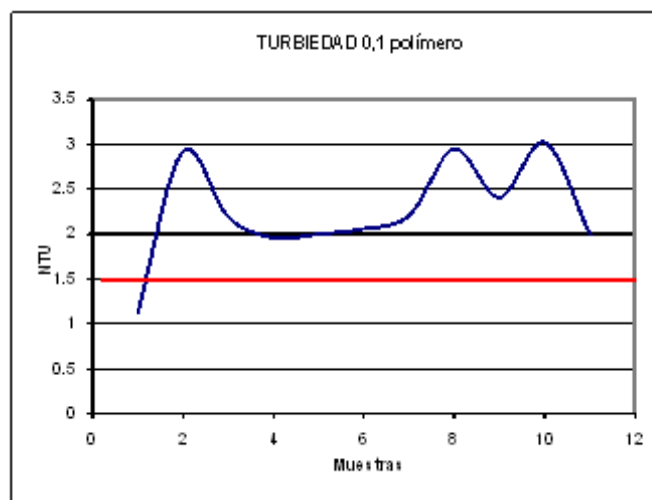
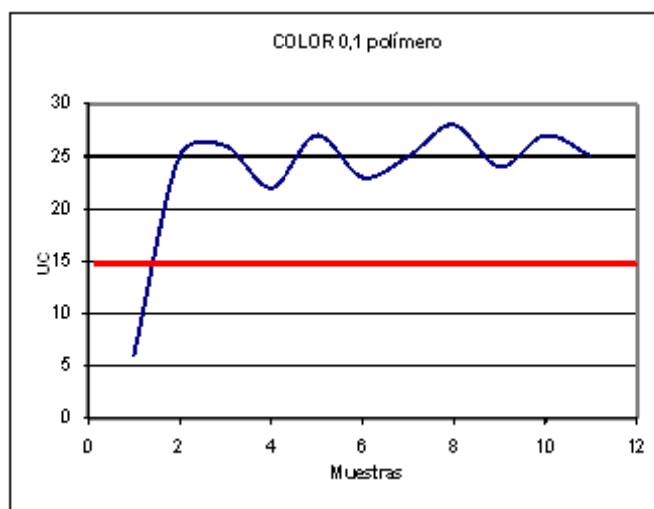


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	6	1,12
2	80	45	0,10	25	2,92
3	80	30	0,10	26	2,19
4	70	60	0,10	22	1,96
5	70	45	0,10	27	2
6	70	30	0,10	23	2,06
7	60	50	0,10	25	2,21
8	60	40	0,10	28	2,95
9	60	30	0,10	24	2,41
10	50	40	0,10	27	3,02
11	50	30	0,10	25	1,99

FUENTE: AUTOR

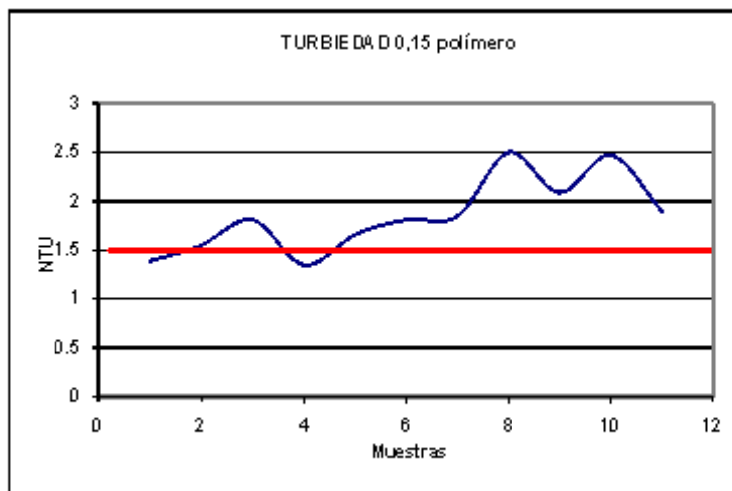
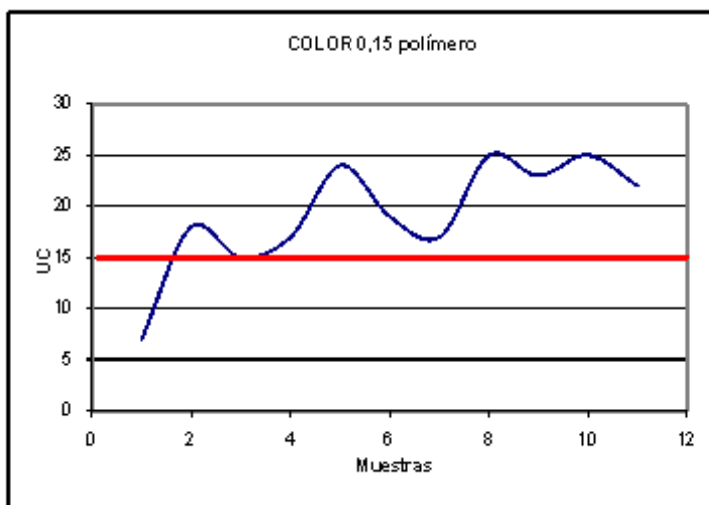


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.15	7	1.39
2	80	45	0.15	18	1.55
3	80	30	0.15	15	1.81
4	70	60	0.15	17	1.35
5	70	45	0.15	24	1.66
6	70	30	0.15	19	1.81
7	60	50	0.15	17	1.85
8	60	40	0.15	25	2.5
9	60	30	0.15	23	2.09
10	50	40	0.15	25	2.47
11	50	30	0.15	22	1.89

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 9****FECHA 31/Enero/2010**

Agua cruda Color 224 NTU 34.1 pH 7.59 Alcalinid. 32.46 (1.85)

Dosis sulfato 65, concentración 10%, pH 7,5 a los 5 segundos de MR, polímero 0,15 a los 10 min desde floculación, Sedimentación 25 min  
 Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 7 min 45 seg en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	19	3,02
2	0,1	80		60		20		8	0,88
3	0,15	80		60		20		9	0,53

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	21	2,19
2	0,1	80		45		20		11	0,49
3	0,15	80		45		20		11	0,64

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	20	2,6
2	0,1	80		30		20		9	0,85
3	0,15	80		30		20		11	0,95

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	22	3,21
2	0,1	70		60		20		8	0,4
3	0,15	70		60		20		10	0,48

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	21	2,56
2	0,1	70		45		20		11	0,56
3	0,15	70		45		20		10	0,56

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	21	1,93
2	0,1	70		30		20		11	0,95
3	0,15	70		30		20		13	0,75

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	20	2,47
2	0,1	60		50		20		11	0,83
3	0,15	60		50		20		7	0,7

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	20	2,14
2	0,1	60		40		20		10	1,03
3	0,15	60		40		20		6	0,61

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	19	2,07
2	0,1	60		30		20		13	0,9
3	0,15	60		30		20		11	0,685

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	19	1,41
2	0,1	50		40		20		12	0,73
3	0,15	50		40		20		10	0,96

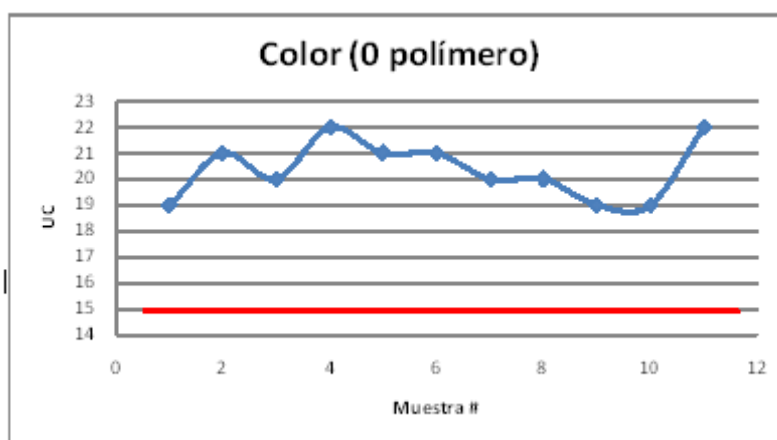
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jara	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Gradiente		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	22	1,88
2	0,1	50		30		20		16	0,88
3	0,15	50		30		20		19	1,03

FUENTE: AUTOR

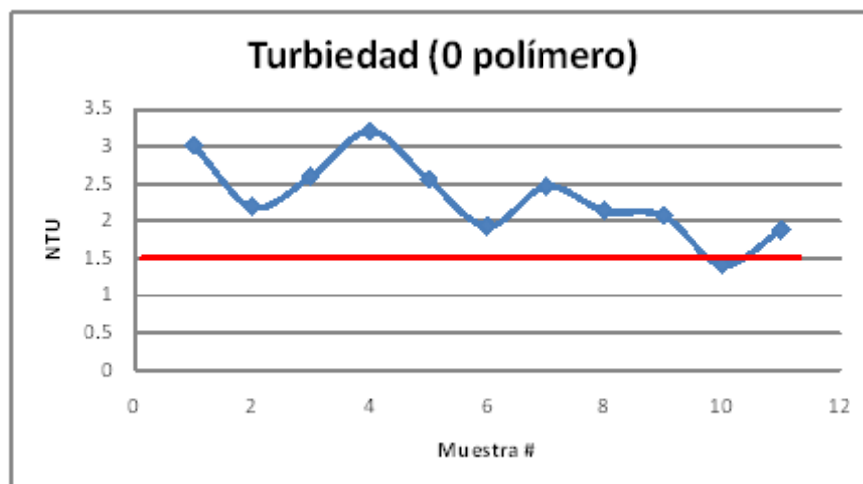


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	19	3,02
2	80	45	0,00	21	2,19
3	80	30	0,00	20	2,6
4	70	60	0,00	22	3,21
5	70	45	0,00	21	2,56
6	70	30	0,00	21	1,93
7	60	50	0,00	20	2,47
8	60	40	0,00	20	2,14
9	60	30	0,00	19	2,07
10	50	40	0,00	19	1,41
11	50	30	0,00	22	1,88

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

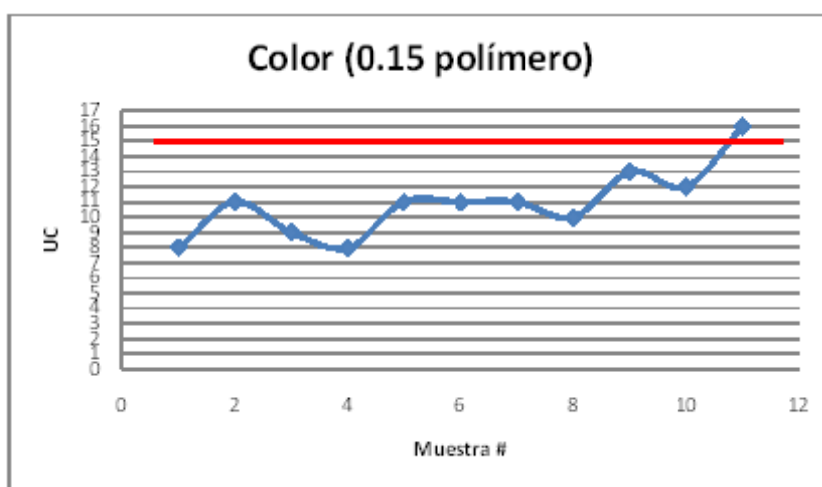


FUENTE: AUTOR

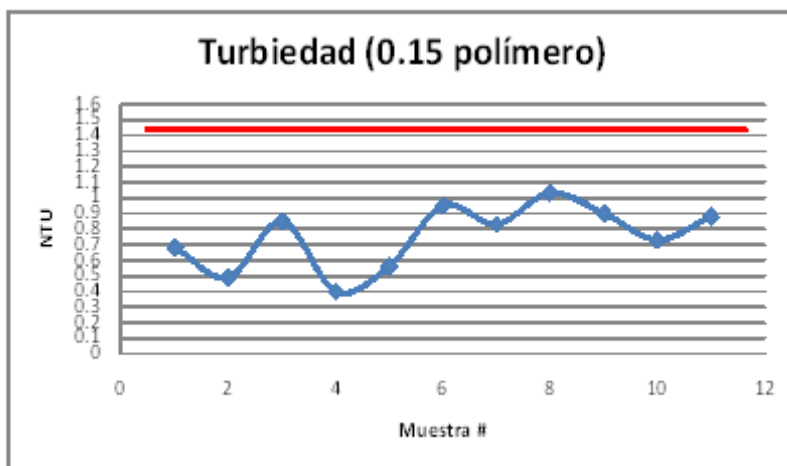


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.15	8	0.68
2	80	45	0.15	11	0.49
3	80	30	0.15	9	0.85
4	70	60	0.15	8	0.4
5	70	45	0.15	11	0.56
6	70	30	0.15	11	0.95
7	60	50	0.15	11	0.83
8	60	40	0.15	10	1.03
9	60	30	0.15	13	0.9
10	50	40	0.15	12	0.73
11	50	30	0.15	16	0.88

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

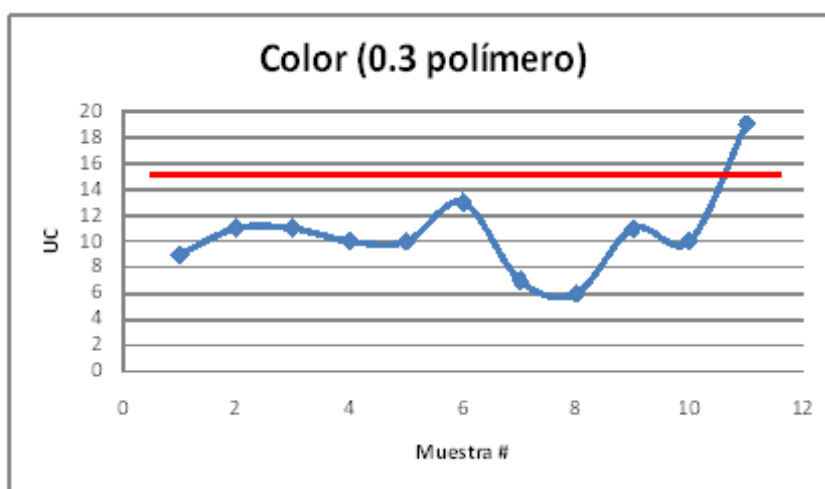


FUENTE: AUTOR

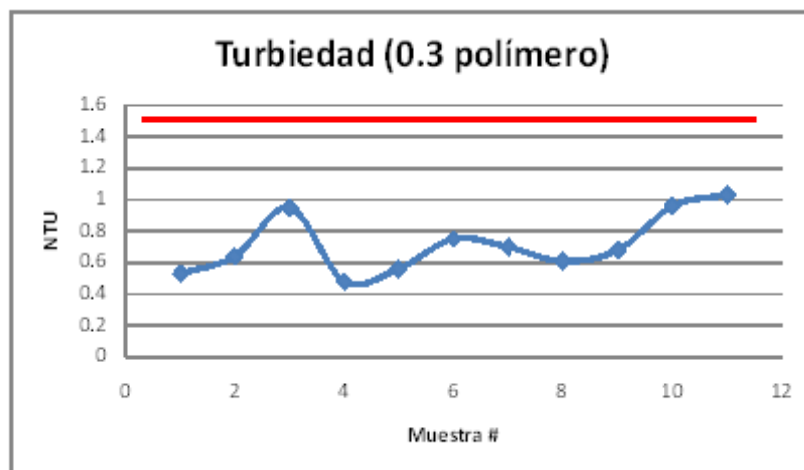


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.3	9	0.53
2	80	45	0.3	11	0.64
3	80	30	0.3	11	0.95
4	70	60	0.3	10	0.48
5	70	45	0.3	10	0.56
6	70	30	0.3	13	0.75
7	60	50	0.3	7	0.7
8	60	40	0.3	6	0.61
9	60	30	0.3	11	0.68
10	50	40	0.3	10	0.96
11	50	30	0.3	19	1.03

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**MUESTRA 10****FECHA 26/Febrero/2010**

Agua cruda Color 404 NTU 27 pH 6,7 Alcalinid. 19,68  
Real 206

Dosis sulfato 90, concentración 20%, pH 6,7 a los 30 segundos de MR, polímero 0,15 y 0,3 a los 10 min desde floculación, Sedim. 25 min

Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 7 min 45 seg en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	80	92	60	72	20	32
2	0,15	80		60		12	
3	0,30	80		60		3	

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	80	92	45	60	20	32
2	0,15	80		45		10	
3	0,30	80		45		2	

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	80	92	30	44	20	32
2	0,15	80		30		5	
3	0,30	80		30		2	

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	70	82	60	72	20	32
2	0,15	70		60		3	
3	0,30	70		60		2	

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	70	82	45	60	20	32
2	0,15	70		45		2	
3	0,30	70		45		4	

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	70	82	30	44	20	32
2	0,15	70		30		4	
3	0,30	70		30		3	

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	60	72	50	63	20	32
2	0,15	60		50		7	
3	0,30	60		50		5	

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	60	72	40	53	20	32
2	0,15	60		40		9	
3	0,30	60		40		2	

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	60	72	30	44	20	32
2	0,15	60		30		8	
3	0,30	60		30		10	

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	50	63	40	53	20	32
2	0,15	50		40		1	
3	0,30	50		40		1	

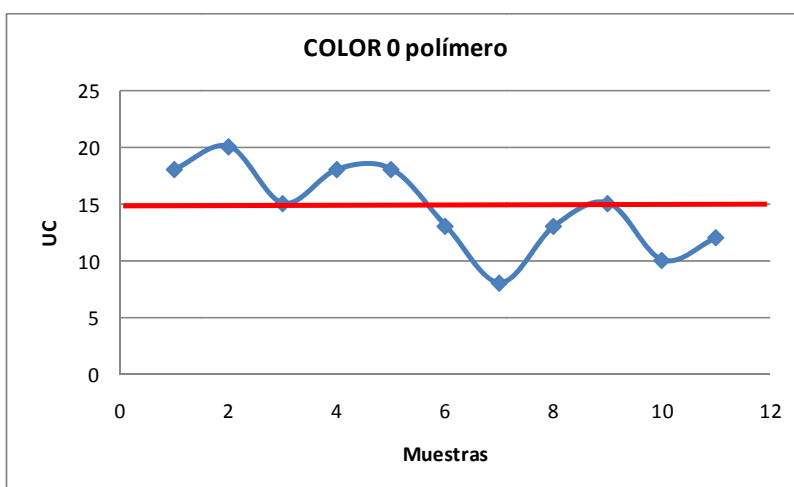
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico	
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU
1	0,00	50	63	40	53	20	32
2	0,15	50		30		5	
3	0,30	50		30		2	

FUENTE: AUTOR

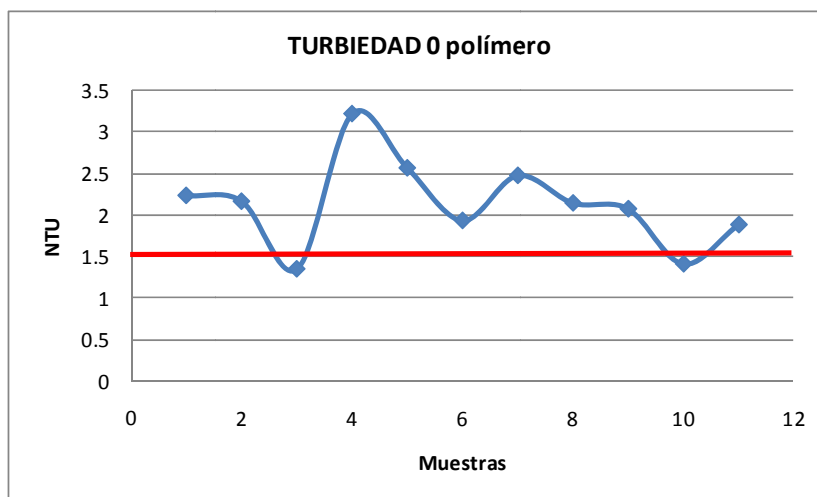


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	18	2,23
2	80	45	0,00	20	2,16
3	80	30	0,00	15	1,35
4	70	60	0,00	18	1,94
5	70	45	0,00	18	1,59
6	70	30	0,00	13	1,34
7	60	50	0,00	8	0,83
8	60	40	0,00	13	1,02
9	60	30	0,00	15	1,28
10	50	40	0,00	10	0,73
11	50	30	0,00	12	0,98

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

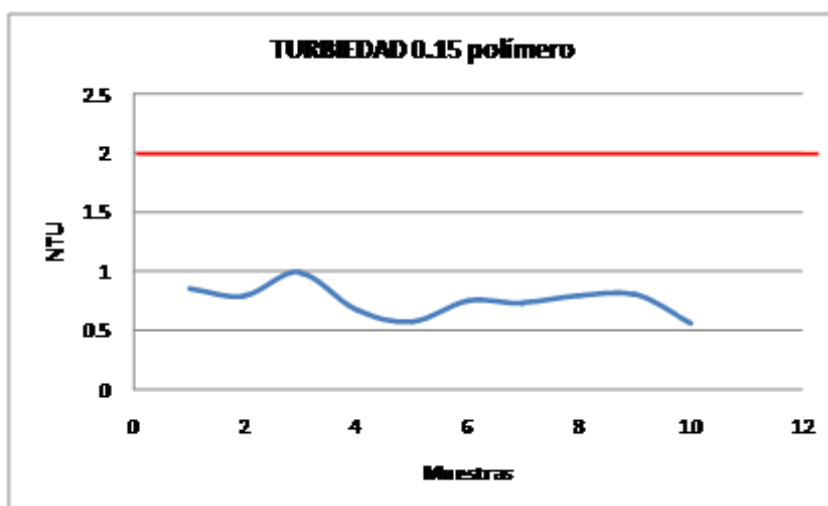
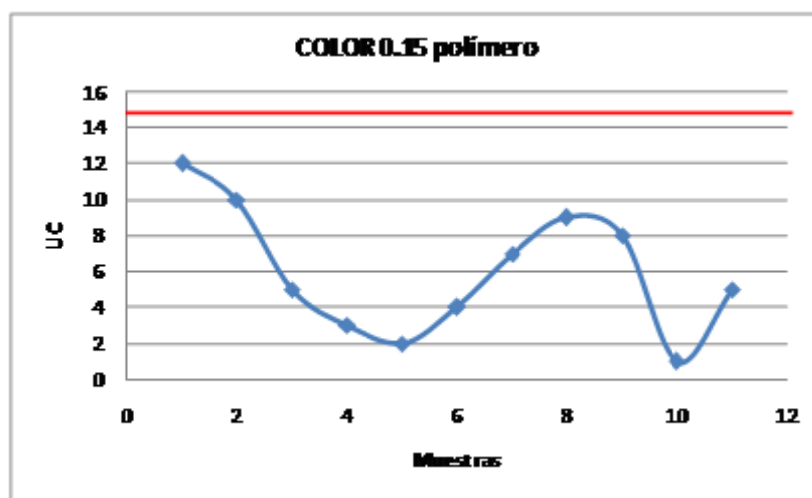


FUENTE: AUTOR



Muestra	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0.15	12	0.85
2	80	45	0.15	10	0.79
3	80	30	0.15	5	0.99
4	70	60	0.15	3	0.67
5	70	45	0.15	2	0.57
6	70	30	0.15	4	0.75
7	60	50	0.15	7	0.73
8	60	40	0.15	9	0.79
9	60	30	0.15	8	0.8
10	50	40	0.15	1	0.56
11	50	30	0.15	5	0.92

FUENTE: AUTOR

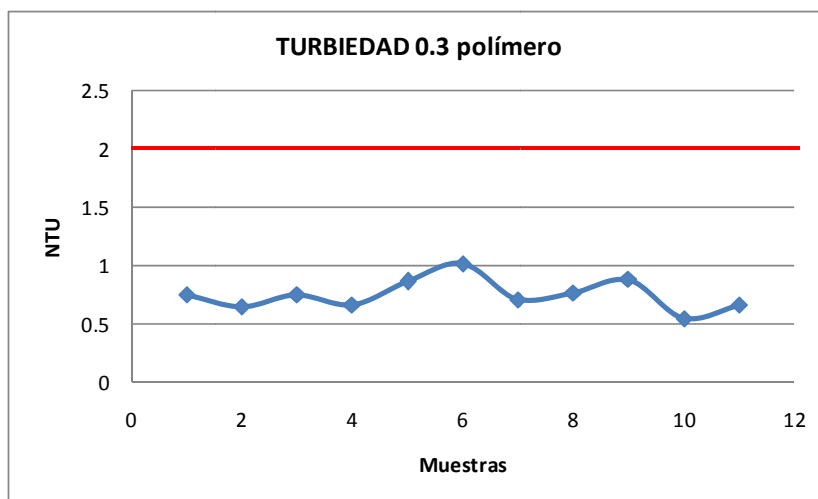
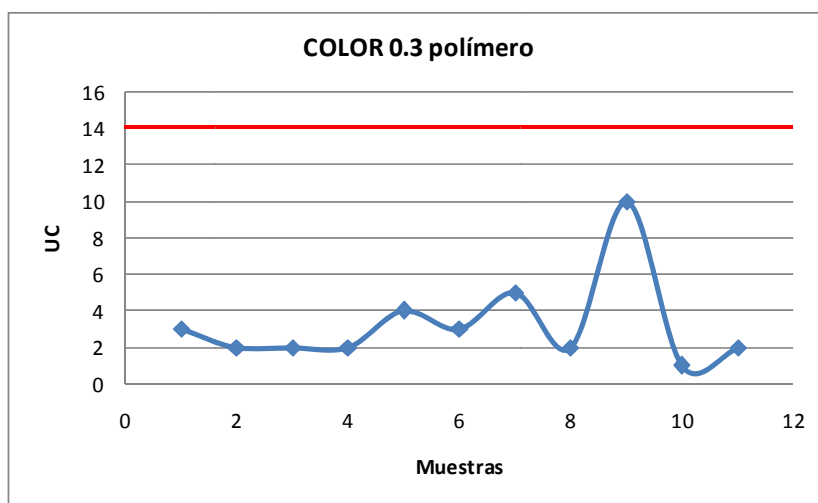


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,30	3	0,75
2	80	45	0,30	2	0,65
3	80	30	0,30	2	0,75
4	70	60	0,30	2	0,66
5	70	45	0,30	4	0,86
6	70	30	0,30	3	1,02
7	60	50	0,30	5	0,71
8	60	40	0,30	2	0,77
9	60	30	0,30	10	0,88
10	50	40	0,30	1	0,55
11	50	30	0,30	2	0,66

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

### Gradientes modificados (sin floculación hidráulica)

**MUESTRA 1****FECHA 20 Enero/2010****Agua cruda Color 34 NTU 1,45 pH 6,93 Alcalinid. 33,45 (1,7)**

**Dosis sustrato 35, concentración 20%, pH 6,93 a los 20 segundos de MR, polímero 5 seg antes de la floculación, F. HIDRAULICA 0; Sedim. 25 min Floculación: 2 min 30 seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 0 min en el hidráulico**

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	80	92	60	72	20	32	37	2,95
2	0,1	80		60		20		25	2,53
3	0,15	80		60		20		22	2,45

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	80	92	45	60	20	32	34	2,55
2	0,1	80		45		20		23	2,05
3	0,15	80		45		20		21	1,85

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	80	92	30	44	20	32	36	2,9
2	0,1	80		30		20		29	2,37
3	0,15	80		30		20		26	1,91

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	70	82	60	72	20	32	35	2,91
2	0,1	70		60		20		24	2,48
3	0,15	70		60		20		25	2,1

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	70	82	45	60	20	32	29	2,98
2	0,1	70		45		20		25	2,36
3	0,15	70		45		20		24	2,26

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	70	82	30	44	20	32	34	3,04
2	0,1	70		30		20		31	2,39
3	0,15	70		30		20		17	1,86

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	60	72	50	63	20	32	32	2,98
2	0,1	60		50		20		29	2,95
3	0,15	60		50		20		20	1,92

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	60	72	40	53	20	32	29	3,08
2	0,1	60		40		20		24	2,51
3	0,15	60		40		20		23	2,35

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	60	72	30	44	20	32	35	2,92
2	0,1	60		30		20		19	2,2
3	0,15	60		30		20		20	1,82

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	50	63	40	53	20	32	30	2,55
2	0,1	50		40		20		19	2,04
3	0,15	50		40		20		16	1,6

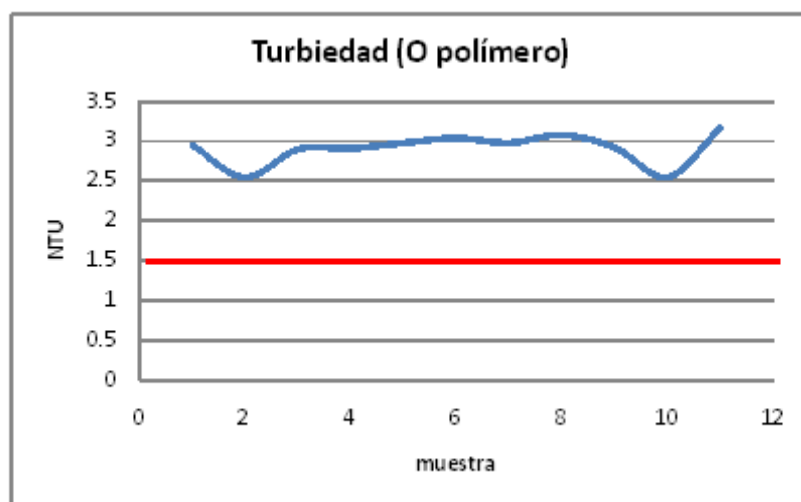
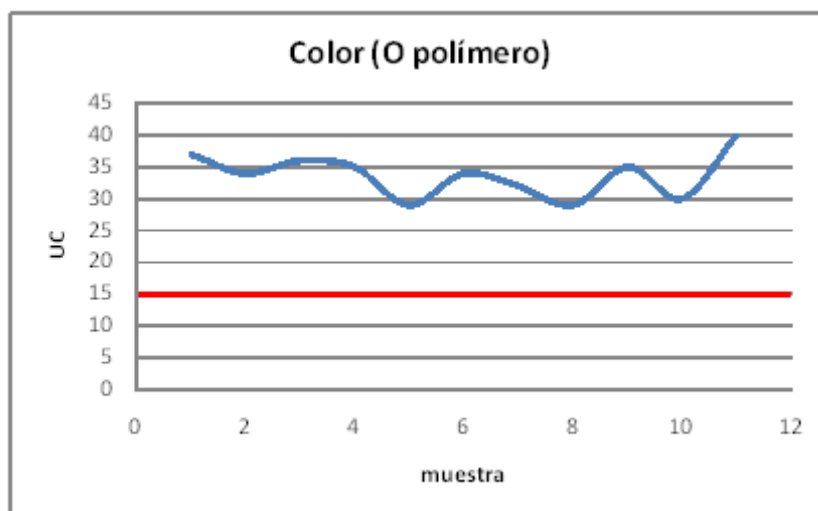
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico		Color	NTU
Jarra	Polímero	Gradiente		Gradiente		Gradiente			
1	0,00	50	63	40	53	20	32	40	3,17
2	0,1	50		30		20		23	2,55
3	0,15	50		30		20		19	1,86

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	37	2,95
2	80	45	0,00	34	2,55
3	80	30	0,00	36	2,9
4	70	60	0,00	35	2,91
5	70	45	0,00	29	2,98
6	70	30	0,00	34	3,04
7	60	50	0,00	32	2,98
8	60	40	0,00	29	3,08
9	60	30	0,00	35	2,92
10	50	40	0,00	30	2,55
11	50	30	0,00	40	3,17

FUENTE: AUTOR

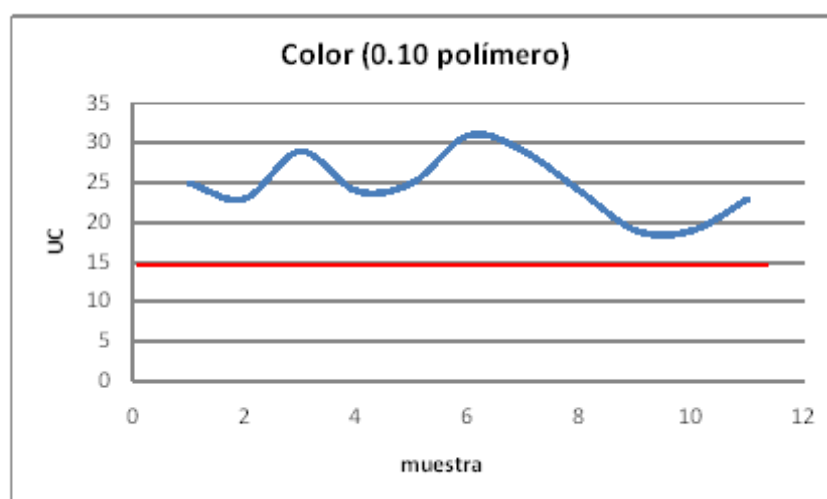


FUENTE: AUTOR

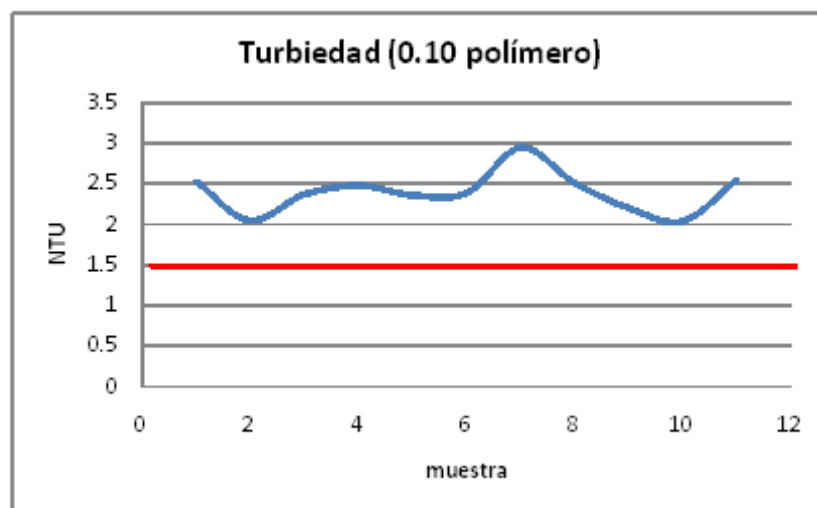


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	25	2,53
2	80	45	0,10	23	2,05
3	80	30	0,10	29	2,37
4	70	60	0,10	24	2,48
5	70	45	0,10	25	2,36
6	70	30	0,10	31	2,39
7	60	50	0,10	29	2,95
8	60	40	0,10	24	2,51
9	60	30	0,10	19	2,2
10	50	40	0,10	19	2,04
11	50	30	0,10	23	2,55

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

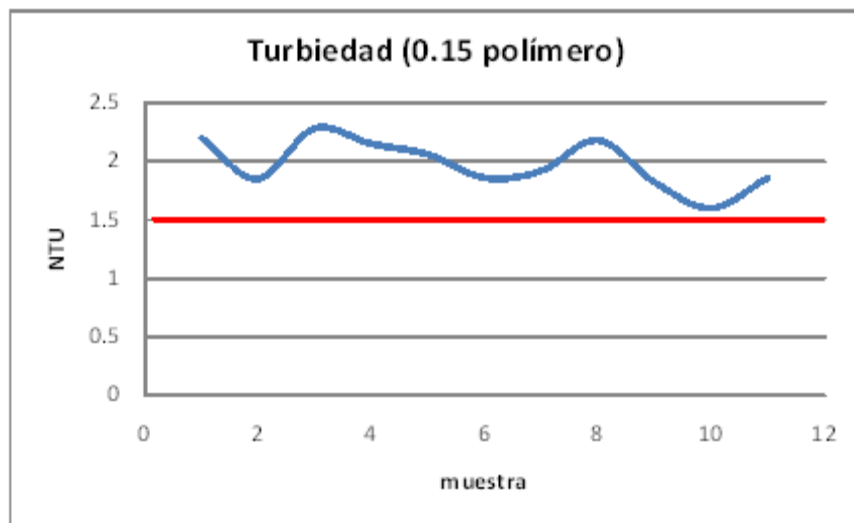
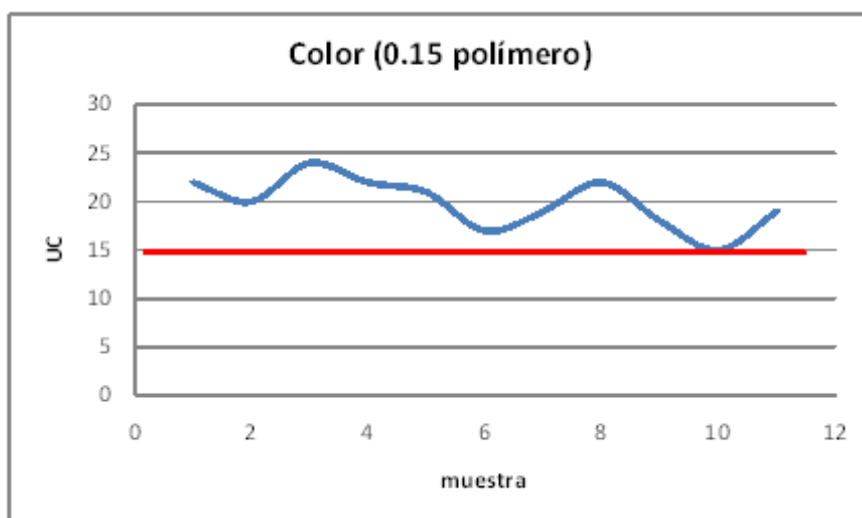


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	22	2,45
2	80	45	0,15	21	1,85
3	80	30	0,15	26	1,91
4	70	60	0,15	25	2,1
5	70	45	0,15	24	2,26
6	70	30	0,15	17	1,86
7	60	50	0,15	20	1,92
8	60	40	0,15	23	2,35
9	60	30	0,15	20	1,82
10	50	40	0,15	16	1,6
11	50	30	0,15	19	1,86

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**MUESTRA 2****FECHA 21/Enero/2010**

Agua cruda      Color 25      NTU 1,30      pH 7,8      Alcalinid. 35,41 (1,8)

Dosis sulfato 30, concentración 20%, pH 7,8 a los 20 segundos de MR,  
 polímero 5 seq antes de la floculación, F. HIDRÁULICA 0; Sedim. 25 min  
 Floculación: 2 min 30seq 1ra cámara; 9 min 15 seq 2da cámara  
 y 0 min en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	80	92	60	72	20	32	35	2,84
2	0,1	80		60		20		21	2,06
3	0,15	80		60		20		20	2,1

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	80	92	45	60	20	32	30	2,52
2	0,1	80		45		20		16	1,87
3	0,15	80		45		20		14	2,1

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	80	92	30	44	20	32	30	2,6
2	0,1	80		30		20		22	2
3	0,15	80		30		20		14	1,4

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	70	82	60	72	20	32	34	2,75
2	0,1	70		60		20		23	2,36
3	0,15	70		60		20		22	2,4

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	70	82	45	60	20	32	22	2,55
2	0,1	70		45		20		14	2,13
3	0,15	70		45		20		13	1,9

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	70	82	30	44	20	32	30	2,79
2	0,1	70		30		20		24	2,38
3	0,15	70		30		20		18	1,96

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	60	72	50	63	20	32	27	2,59
2	0,1	60		50		20		22	2,11
3	0,15	60		50		20		20	1,98

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	60	72	40	53	20	32	30	2,74
2	0,1	60		40		20		22	2,21
3	0,15	60		40		20		10	1,54

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	60	72	30	44	20	32	22	2,68
2	0,1	60		30		20		19	2,28
3	0,15	60		30		20		18	2,18

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	50	63	40	53	20	32	22	2,72
2	0,1	50		40		20		16	2,18
3	0,15	50		40		20		15	2,1

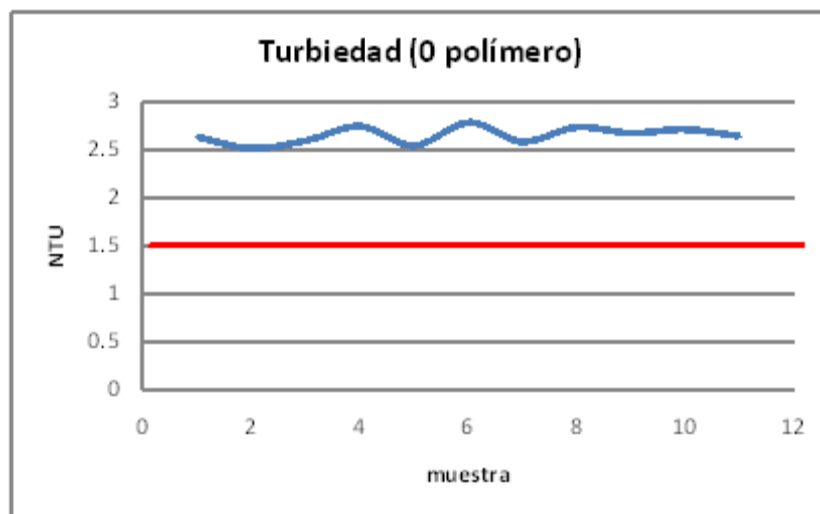
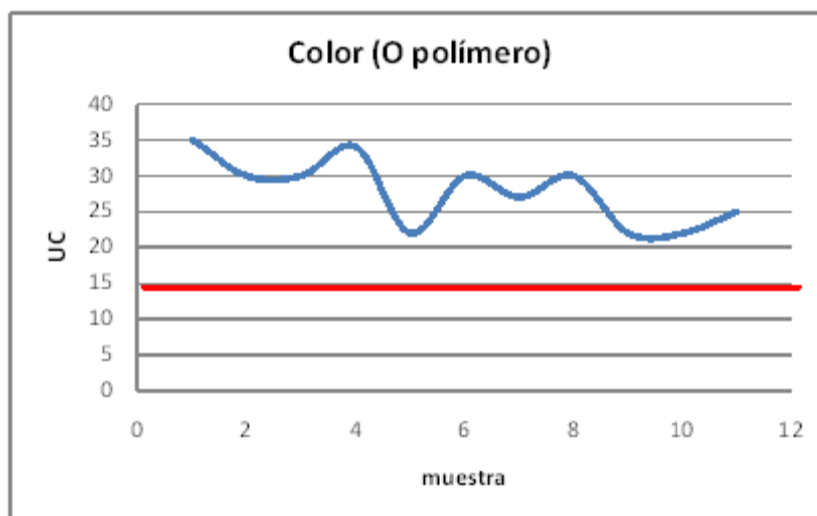
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jana	Polímero	Gradiente	Gradiente	Gradiente	Color	NTU			
1	0,00	50	63	40	53	20	32	25	2,85
2	0,1	50		30		20		20	2,47
3	0,15	50		30		20		11	1,66

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	35	2,64
2	80	45	0,00	30	2,52
3	80	30	0,00	30	2,6
4	70	60	0,00	34	2,75
5	70	45	0,00	22	2,55
6	70	30	0,00	30	2,79
7	60	50	0,00	27	2,59
8	60	40	0,00	30	2,74
9	60	30	0,00	22	2,68
10	50	40	0,00	22	2,72
11	50	30	0,00	25	2,65

FUENTE: AUTOR

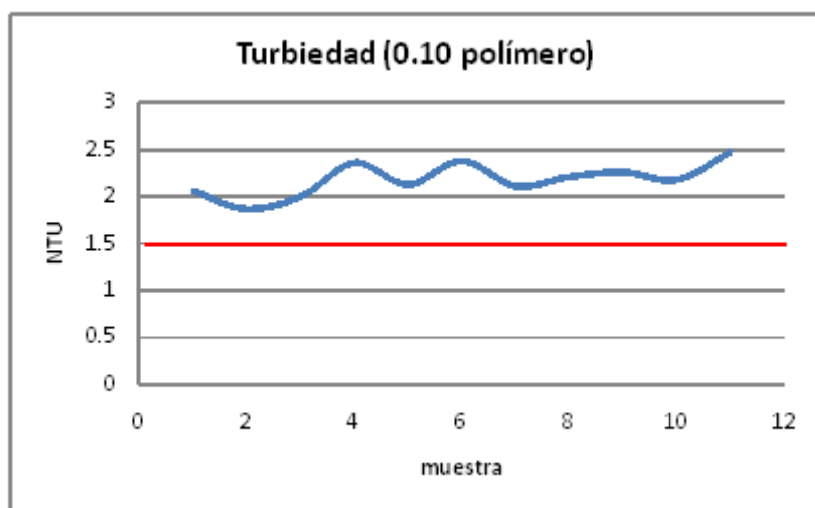
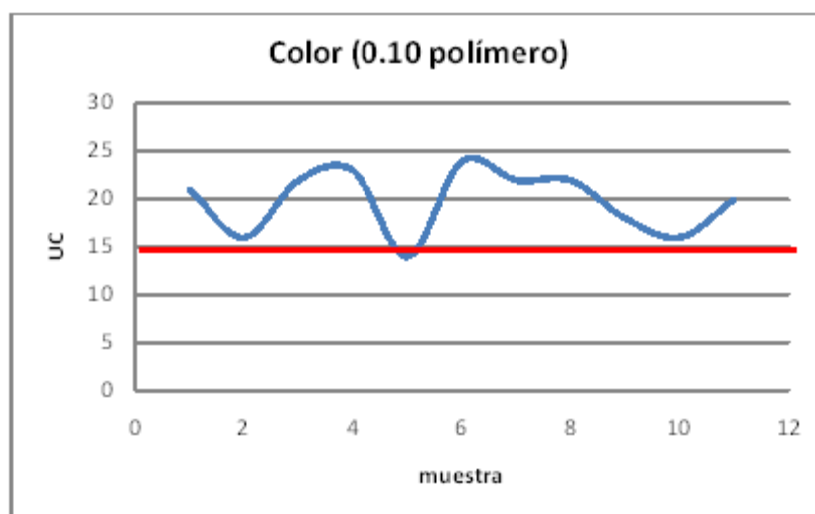


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	21	2,06
2	80	45	0,10	16	1,87
3	80	30	0,10	22	2
4	70	60	0,10	23	2,36
5	70	45	0,10	14	2,13
6	70	30	0,10	24	2,38
7	60	50	0,10	22	2,11
8	60	40	0,10	22	2,21
9	60	30	0,10	18	2,26
10	50	40	0,10	16	2,18
11	50	30	0,10	20	2,47

FUENTE: AUTOR

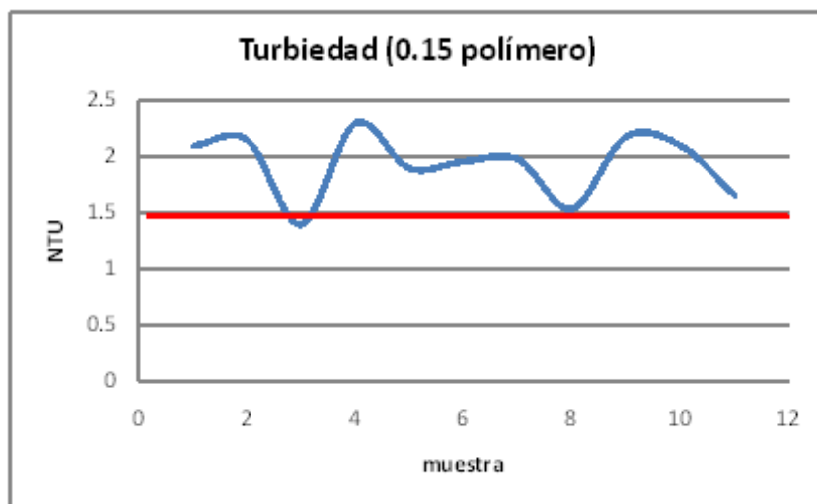
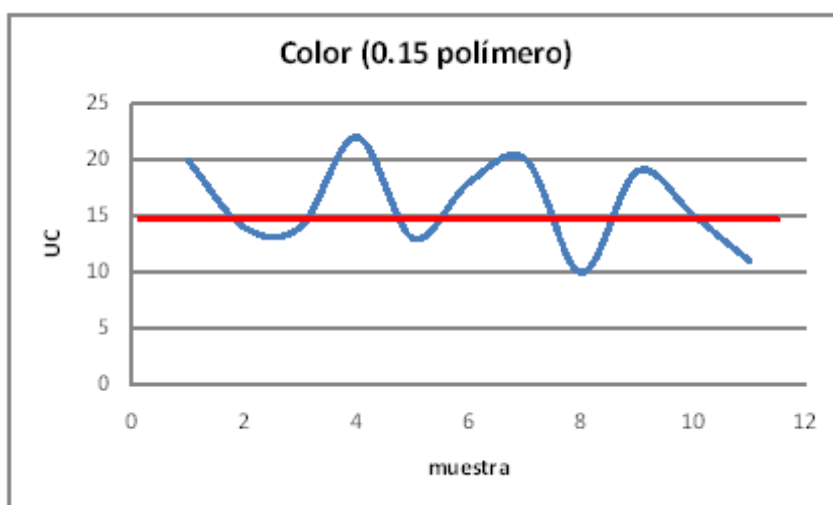


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	20	2,1
2	80	45	0,15	14	2,15
3	80	30	0,15	14	1,4
4	70	60	0,15	22	2,3
5	70	45	0,15	13	1,9
6	70	30	0,15	18	1,96
7	60	50	0,15	20	1,98
8	60	40	0,15	10	1,54
9	60	30	0,15	19	2,18
10	50	40	0,15	15	2,1
11	50	30	0,15	11	1,66

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 3****FECHA 22/Enero/2010**

Agua cruda Color:18 NTU 1,07 pH 7,1 Alcalinid. 33,45(1,7)

Dosis sulfato 30, concentración 20%, pH 7,1 a los 20 segundos de MR,  
 polímero 5 seg antes de la floculación, F. HIDRÁULICA 0; Sedim. 25 min  
 Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara  
 y 0 min en el hidráulico

Ensayo 1		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	23	2,14
2	0,1	80		60		20		20	1,88
3	0,15	80		60		20		15	1,66

Ensayo 2		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	29	2,43
2	0,1	80		45		20		18	1,99
3	0,15	80		45		20		13	1,68

Ensayo 3		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	27	2,38
2	0,1	80		30		20		17	1,69
3	0,15	80		30		20		7	1,26

Ensayo 4		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	25	2,31
2	0,1	70		60		20		21	2,07
3	0,15	70		60		20		17	1,86

Ensayo 5		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	26	2,3
2	0,1	70		45		20		19	1,86
3	0,15	70		45		20		17	1,87

Ensayo 6		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	30	2,33
2	0,1	70		30		20		16	1,59
3	0,15	70		30		20		10	1,55

Ensayo 7		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	24	2,39
2	0,1	60		50		20		18	1,86
3	0,15	60		50		20		15	1,51

Ensayo 8		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	31	2,42
2	0,1	60		40		20		27	1,7
3	0,15	60		40		20		19	1,63

Ensayo 9		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	22	2,4
2	0,1	60		30		20		16	1,82
3	0,15	60		30		20		7	1,32

Ensayo 10		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	23	2,32
2	0,1	50		40		20		13	1,7
3	0,15	50		40		20		12	1,67

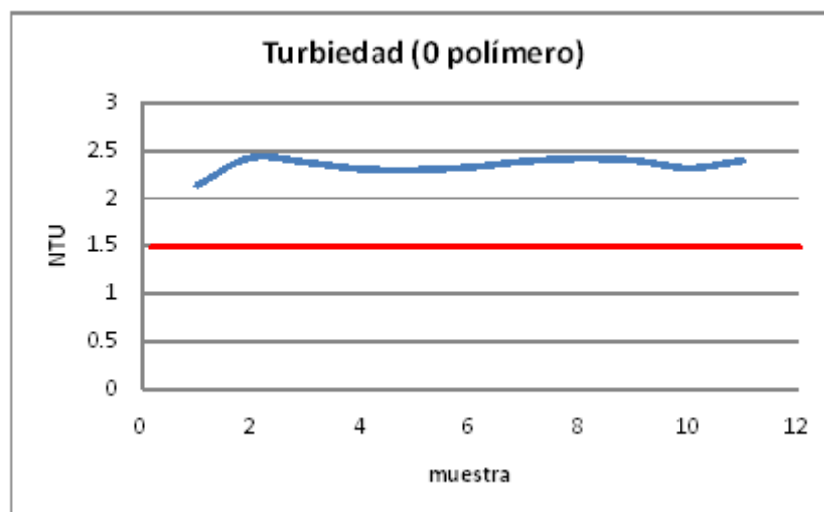
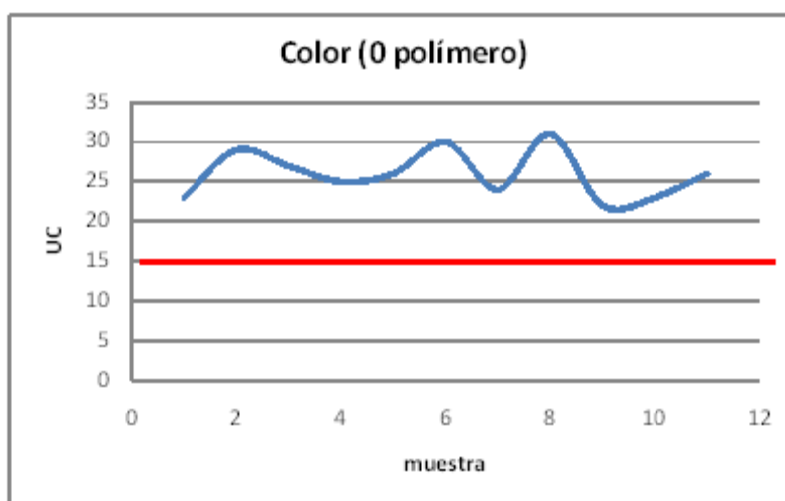
Ensayo 11		Cámara 1		Cámara 2		Hidráulico			
Jara	Polímero	Gradiente		Gradiente		Color	NTU		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	26	2,4
2	0,1	50		30		20		17	1,76
3	0,15	50		30		20		13	1,56

FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	23	2,14
2	80	45	0,00	29	2,43
3	80	30	0,00	27	2,38
4	70	60	0,00	25	2,31
5	70	45	0,00	26	2,3
6	70	30	0,00	30	2,33
7	60	50	0,00	24	2,39
8	60	40	0,00	31	2,42
9	60	30	0,00	22	2,4
10	50	40	0,00	23	2,32
11	50	30	0,00	26	2,4

FUENTE: AUTOR

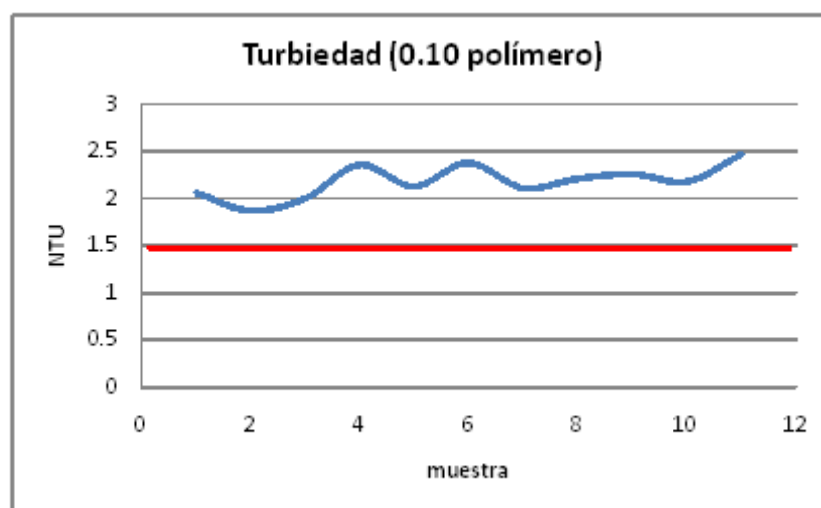
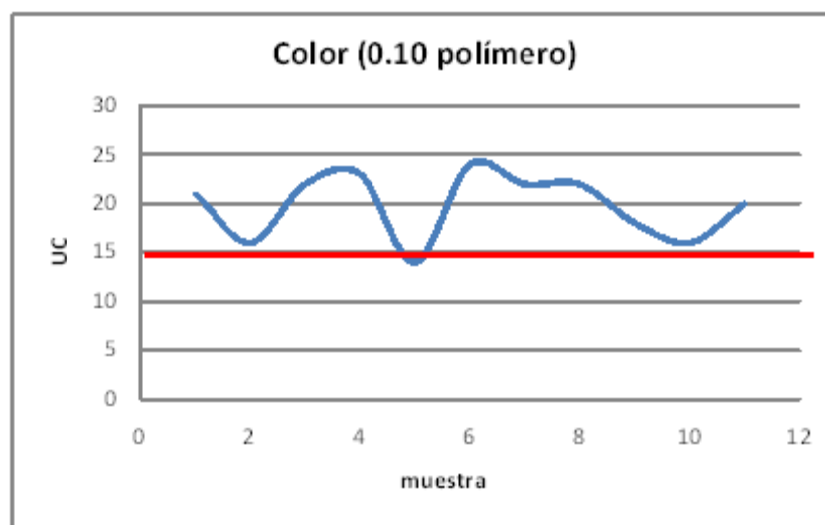


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,10	21	2,06
2	80	45	0,10	16	1,87
3	80	30	0,10	22	2
4	70	60	0,10	23	2,36
5	70	45	0,10	14	2,13
6	70	30	0,10	24	2,38
7	60	50	0,10	22	2,11
8	60	40	0,10	22	2,21
9	60	30	0,10	18	2,26
10	50	40	0,10	16	2,18
11	50	30	0,10	20	2,47

FUENTE: AUTOR

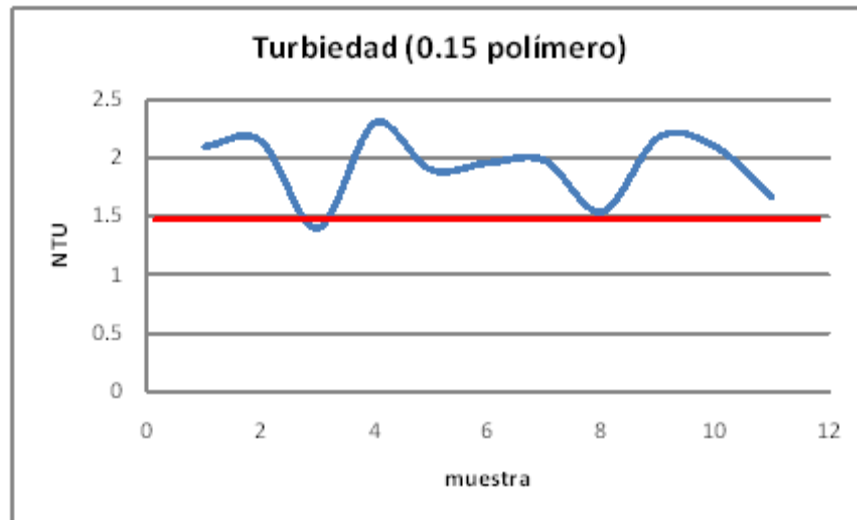
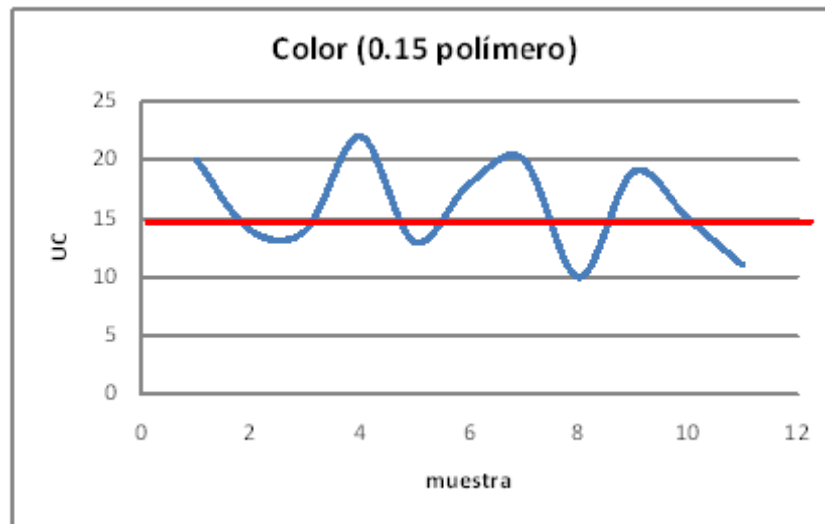


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	20	2,1
2	80	45	0,15	14	2,15
3	80	30	0,15	14	1,4
4	70	60	0,15	22	2,3
5	70	45	0,15	13	1,9
6	70	30	0,15	18	1,96
7	60	50	0,15	20	1,98
8	60	40	0,15	10	1,54
9	60	30	0,15	19	2,18
10	50	40	0,15	15	2,1
11	50	30	0,15	11	1,66

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



**Gradientes modificado (con floculación hidráulica + cal)****MUESTRA 1****FECHA 22 Febrero/2010****Agua cruda Color 103 NTU 1,71 pH 6,7 Alcalinid. 25,58 (1,3)**

**Dosis sulfato 50, concentración 20%, pH 6,7; a los 30 segundos de MR, polímero 5 seg antes de la floculación, Lechada de cal 7,5 ppm; Sedim. 25 min Floculación: 2 min 30seg 1<sup>ra</sup> cámara; 9 min 15 seg 2<sup>da</sup> cámara y 0 min en el hidráulico**

<b>Ensayo 1</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	80	92	60	72	20	32	105	2,25
2	0,1	80		60		20		104	2,45
3	0,15	80		60		20		71	1,86

<b>Ensayo 2</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	80	92	45	60	20	32	110	1,7
2	0,1	80		45		20		112	2,01
3	0,15	80		45		20		110	1,91

<b>Ensayo 3</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	80	92	30	44	20	32	84	1,64
2	0,1	80		30		20		85	1,8
3	0,15	80		30		20		86	2,05

<b>Ensayo 4</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	70	82	60	72	20	32	89	2
2	0,1	70		60		20		90	2,4
3	0,15	70		60		20		34	1,2

<b>Ensayo 5</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	70	82	45	60	20	32	102	2,4
2	0,1	70		45		20		93	2,29
3	0,15	70		45		20		61	1,53

<b>Ensayo 6</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	70	82	30	44	20	32	111	3,2
2	0,1	70		30		20		78	1,92
3	0,15	70		30		20		97	2,22

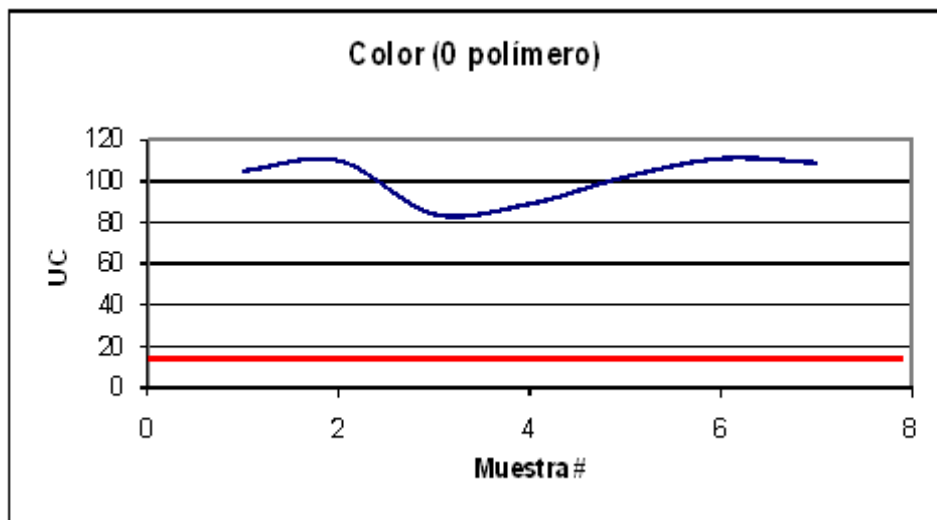
<b>Ensayo 7</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>			
1	0,00	60	72	50	63	20	32	109	2,55
2	0,1	60		50		20		104	2,53
3	0,15	60		50		20		101	2,19

FUENTE: AUTOR

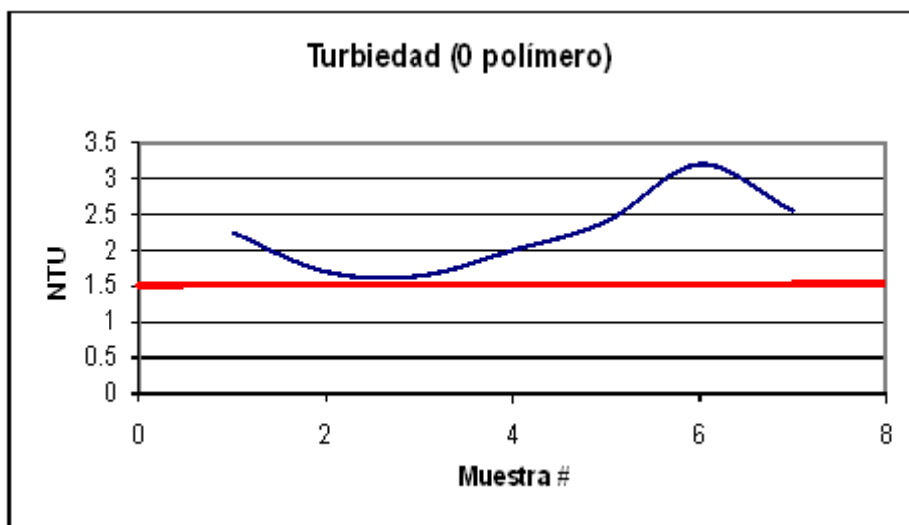


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	105	2,25
2	80	45	0,00	110	1,7
3	80	30	0,00	84	1,64
4	70	60	0,00	89	2
5	70	30	0,00	102	2,4
6	60	40	0,00	111	3,2
7	50	30	0,00	109	2,55

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

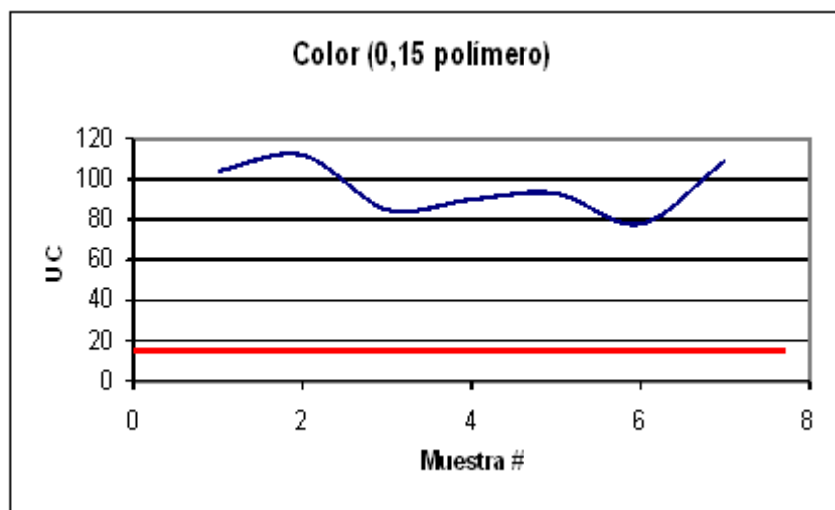


FUENTE: AUTOR

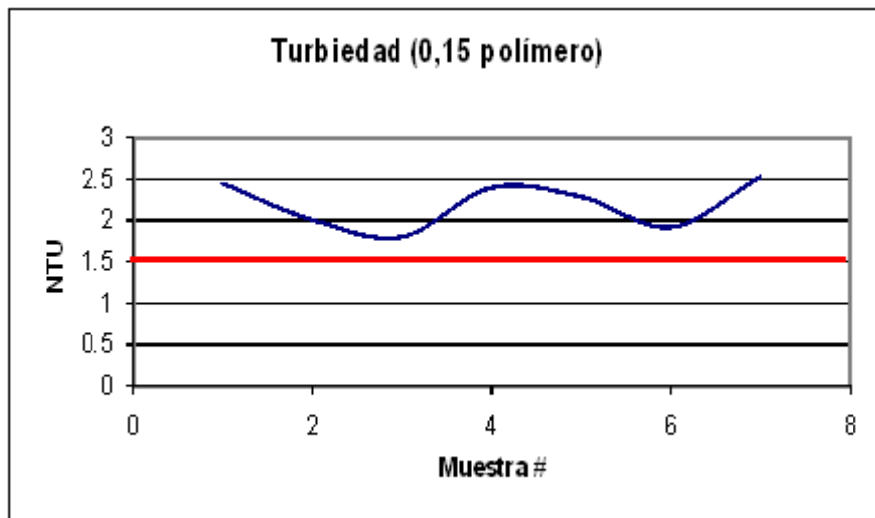


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,15	104	2,45
2	80	45	0,15	112	2,01
3	80	30	0,15	85	1,8
4	70	60	0,15	90	2,4
5	70	30	0,15	93	2,29
6	60	40	0,15	78	1,92
7	50	30	0,15	109	2,53

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

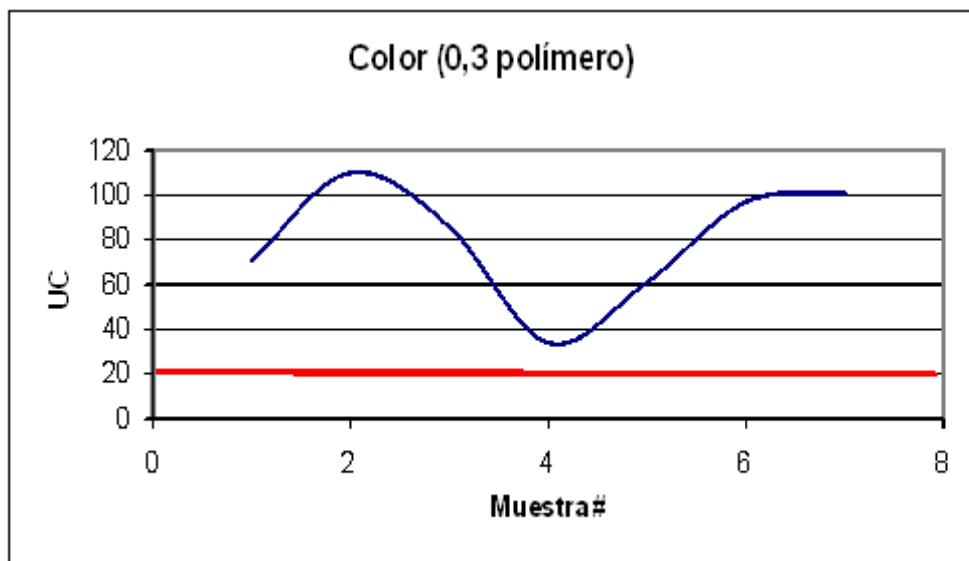


FUENTE: AUTOR

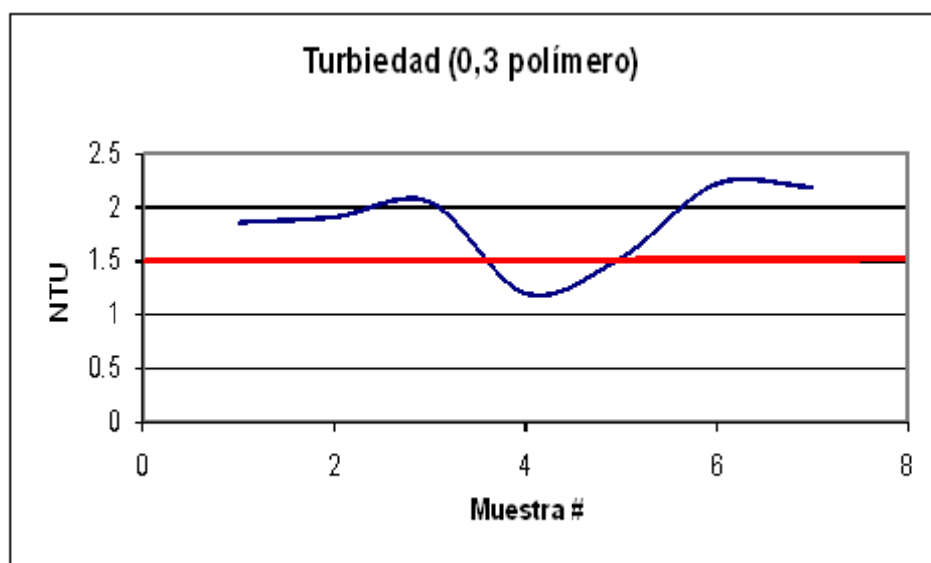


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,30	71	1,86
2	80	45	0,30	110	1,91
3	80	30	0,30	86	2,05
4	70	60	0,30	34	1,2
5	70	30	0,30	61	1,53
6	60	40	0,30	97	2,22
7	50	30	0,30	101	2,19

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**MUESTRA 2****FECHA 01/Abril/2010****Agua cruda Color 1720 NTU 240 pH 8.18 Alcalinid. 17.7 (0.9)**

**Dosis sulfato 120, conc. 40%, pH 7,3(0,4 cc cal); a los 20 segundos de MR polim. 10 min después de floculación, Lechada de cal 0,4 cc; Sedim. 25 m Floculación: 2 min 30seg 1ra cámara; 9 min 15 seg 2da cámara y 0 min en el hidráulico**

<b>Ensayo 1</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	60	72	20	32	49	4,25
2	0,3	80		60		20		38	2,89
3	0,40	80		60		20		36	2,39

<b>Ensayo 2</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	45	60	20	32	49	4,75
2	0,3	80		45		20		47	4,18
3	0,40	80		45		20		47	4,18

<b>Ensayo 3</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	80	92	30	44	20	32	48	4,39
2	0,3	80		30		20		43	2,7
3	0,40	80		30		20		41	2,85

<b>Ensayo 4</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	60	72	20	32	46	4,05
2	0,3	70		60		20		42	2,98
3	0,40	70		60		20		41	2,6

<b>Ensayo 5</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	45	60	20	32	44	3,21
2	0,3	70		45		20		38	3
3	0,40	70		45		20		35	2,89

<b>Ensayo 6</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	70	82	30	44	20	32	45	3,44
2	0,3	70		30		20		42	3,52
3	0,40	70		30		20		39	4,2

<b>Ensayo 7</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	50	63	20	32	42	3,34
2	0,3	60		50		20		31	2,9
3	0,40	60		50		20		32	2,98

<b>Ensayo 8</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	40	53	20	32	53	4,63
2	0,3	60		40		20		51	3,86
3	0,40	60		40		20		48	3,96

<b>Ensayo 9</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	60	72	30	44	20	32	57	4,66
2	0,3	60		30		20		56	4,62
3	0,40	60		30		20		53	4,6

<b>Ensayo 10</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	55	4,22
2	0,3	50		40		20		51	3,83
3	0,40	50		40		20		50	3,72

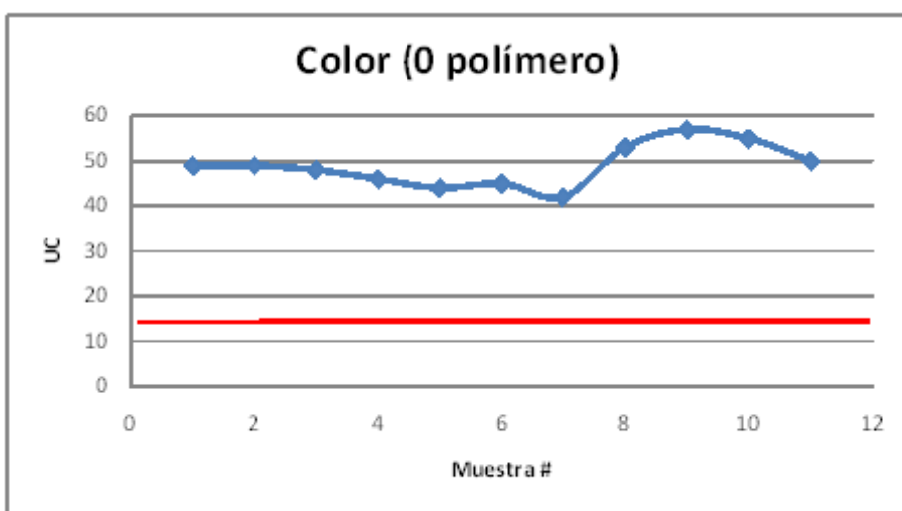
<b>Ensayo 11</b>		<b>Cámara 1</b>		<b>Cámara 2</b>		<b>Hidráulico</b>			
<b>Jara</b>	<b>Polímero</b>	<b>Gradiente</b>		<b>Gradiente</b>		<b>Color</b>	<b>NTU</b>		
1	0,00	50	63	40	53	20	32	50	4,28
2	0,3	50		30		20		53	4,5
3	0,40	50		30		20		51	4,6

FUENTE: AUTOR

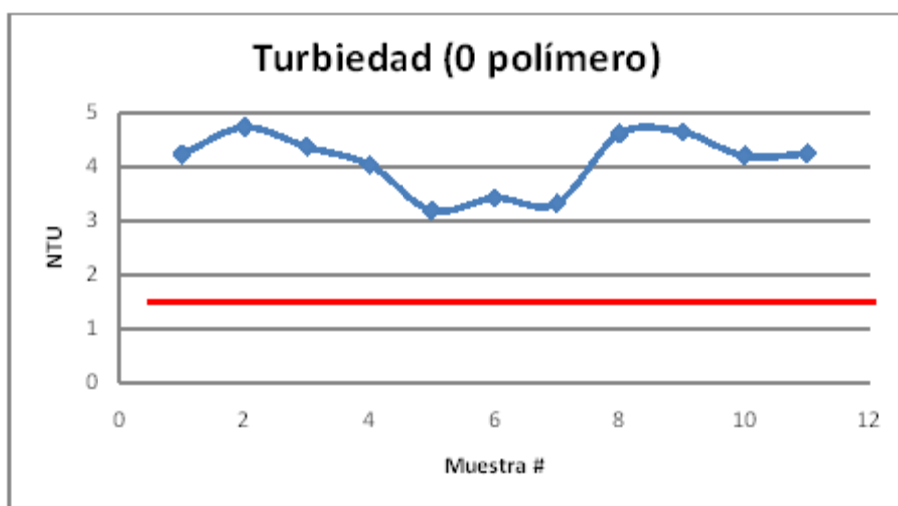


Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,00	49	4,25
2	80	45	0,00	49	4,75
3	80	30	0,00	48	4,39
4	70	60	0,00	46	4,05
5	70	45	0,00	44	3,21
6	70	30	0,00	45	3,44
7	60	50	0,00	42	3,34
8	60	40	0,00	53	4,63
9	60	30	0,00	57	4,66
10	50	40	0,00	55	4,22
11	50	30	0,00	50	4,26

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

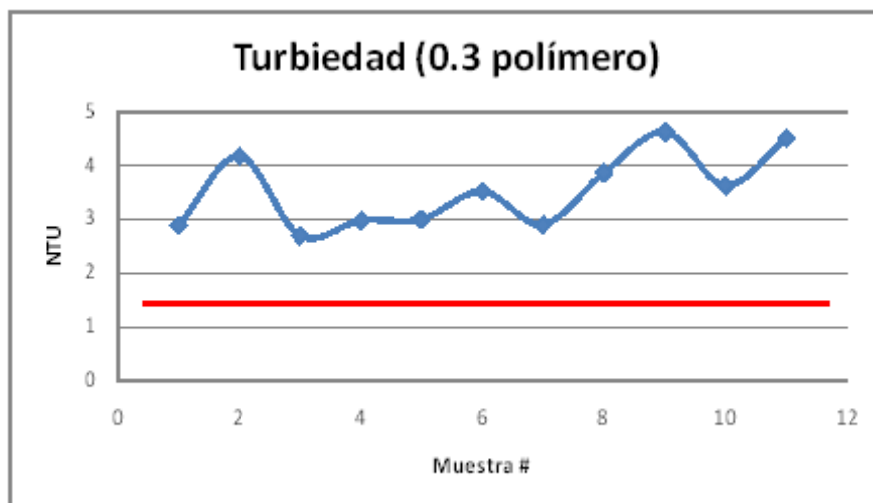
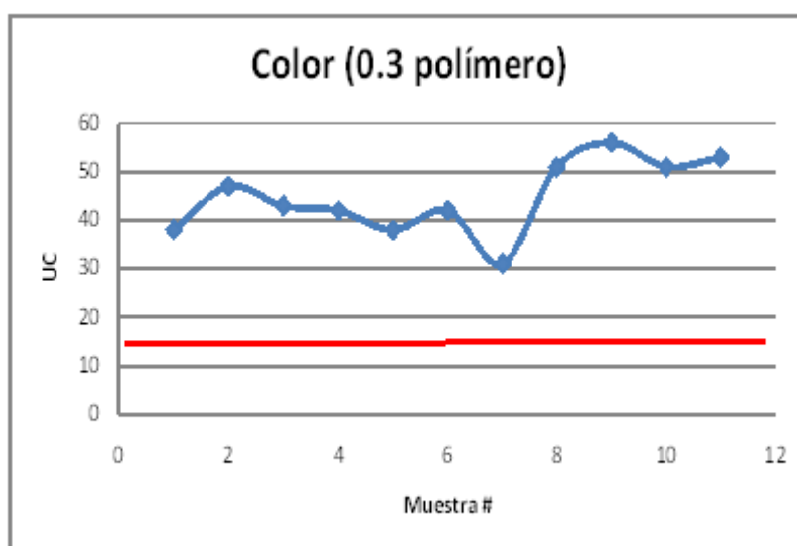


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,30	38	2,89
2	80	45	0,30	47	4,18
3	80	30	0,30	43	2,7
4	70	60	0,30	42	2,98
5	70	45	0,30	38	3
6	70	30	0,30	42	3,52
7	60	50	0,30	31	2,9
8	60	40	0,30	51	3,86
9	60	30	0,30	56	4,62
10	50	40	0,30	51	3,63
11	50	30	0,30	53	4,5

FUENTE: AUTOR

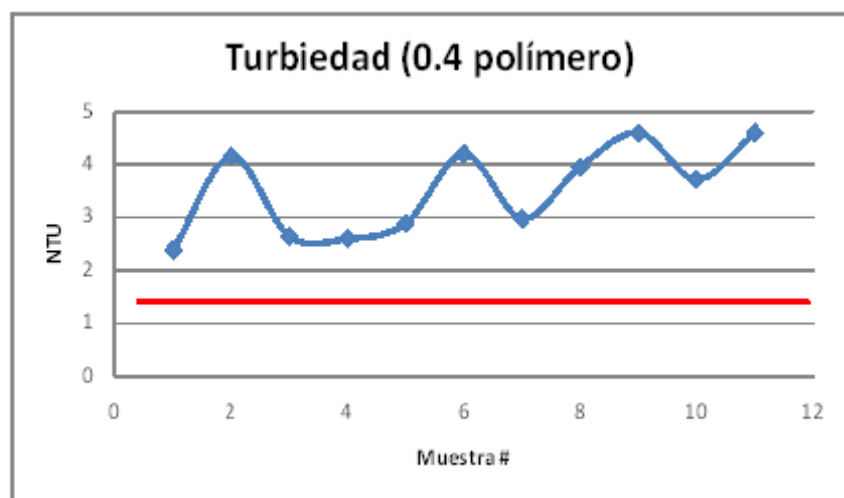
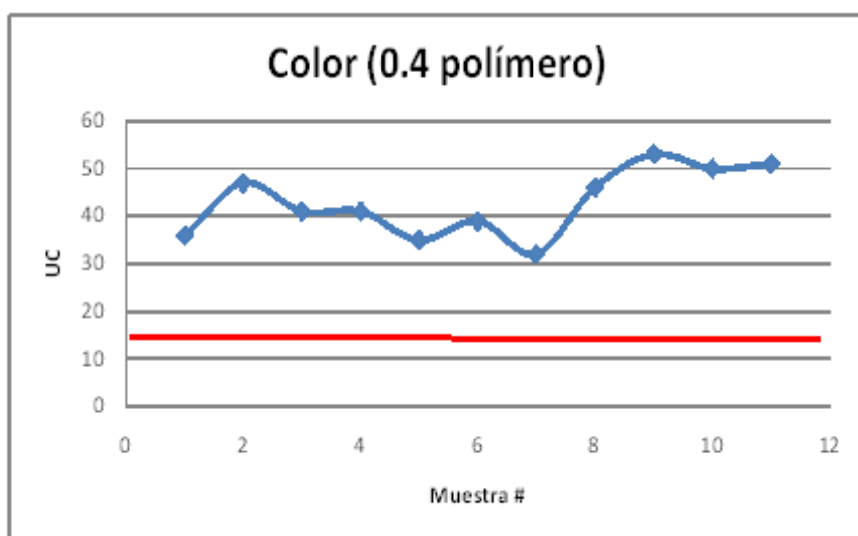


FUENTE: AUTOR



Muestra #	G1	G2	POLÍMERO	COLOR	NTU
1	80	60	0,40	36	2,39
2	80	45	0,40	47	4,16
3	80	30	0,40	41	2,65
4	70	60	0,40	41	2,6
5	70	45	0,40	35	2,89
6	70	30	0,40	39	4,2
7	60	50	0,40	32	2,98
8	60	40	0,40	46	3,96
9	60	30	0,40	53	4,6
10	50	40	0,40	50	3,72
11	50	30	0,40	51	4,6

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR





## ANEXO C1

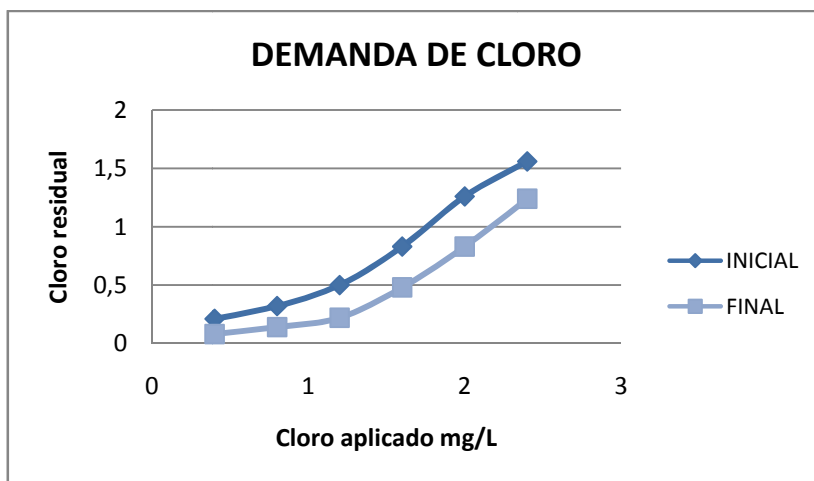
FECHA:  
28/enero/2010

### AGUA CRUDA

UC 17  
NTU 1,02  
STD (mg/L) 43,1  
pH. 7,42  
Temperatura  
(°C) 14,3  
Conductividad  
( $\mu$ S/s) 86,2

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final	
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min	
1	0,4	0,21	0,08	0,13
2	0,8	0,32	0,14	0,18
3	1,2	0,50	0,22	0,28
4	1,6	0,83	0,48	0,35
5	2,0	1,26	0,83	0,43
6	2,4	1,56	1,24	0,32

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

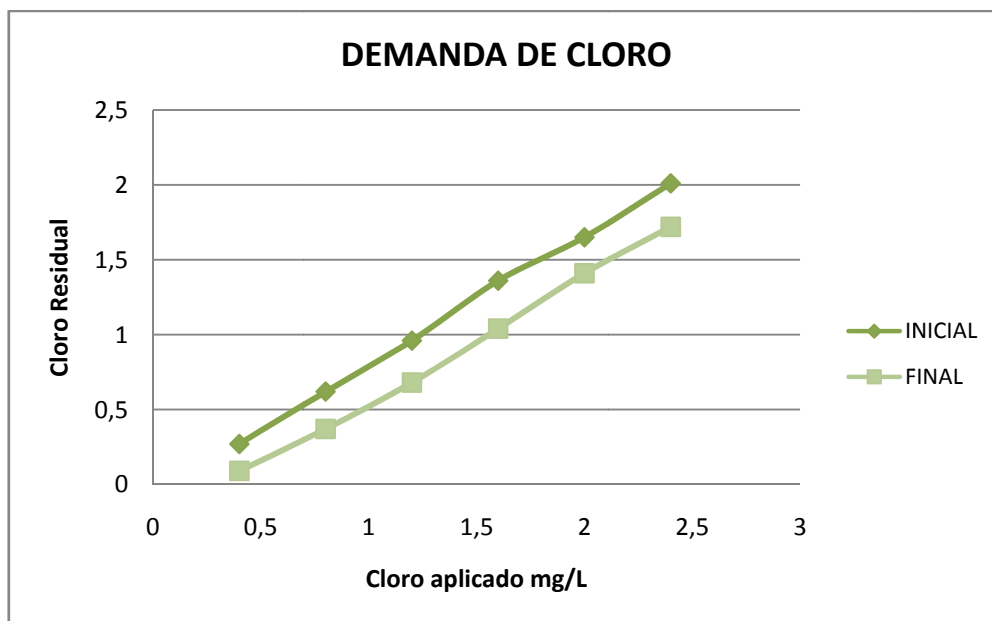


### AGUA FILTRADA

UC 3  
NTU 0,23  
STD (mg/L) 42,5  
pH. 7,5  
Temperatura (°C) 14,8  
Conductividad(μS/s) 86,5

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0,4	0,27	0,09
2	0,8	0,62	0,37
3	1,2	0,96	0,68
4	1,6	1,36	1,04
5	2,0	1,65	1,41
6	2,4	2,01	1,72

FUENTE: AUTOR



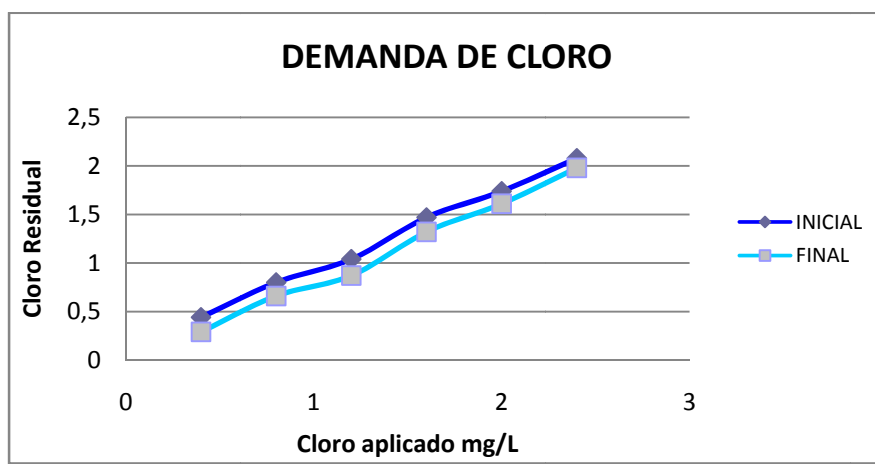
FUENTE: AUTOR



## AGUA DESTILADA

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0,4	0,44	0,29
2	0,8	0,8	0,66
3	1,2	1,04	0,87
4	1,6	1,47	1,32
5	2,0	1,74	1,61
6	2,4	2,08	1,98

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

## PRUEBA ADICIONAL CON AGUA FILTRADA

FECHA: 01/febrero/2010

### AGUA FILTRADA

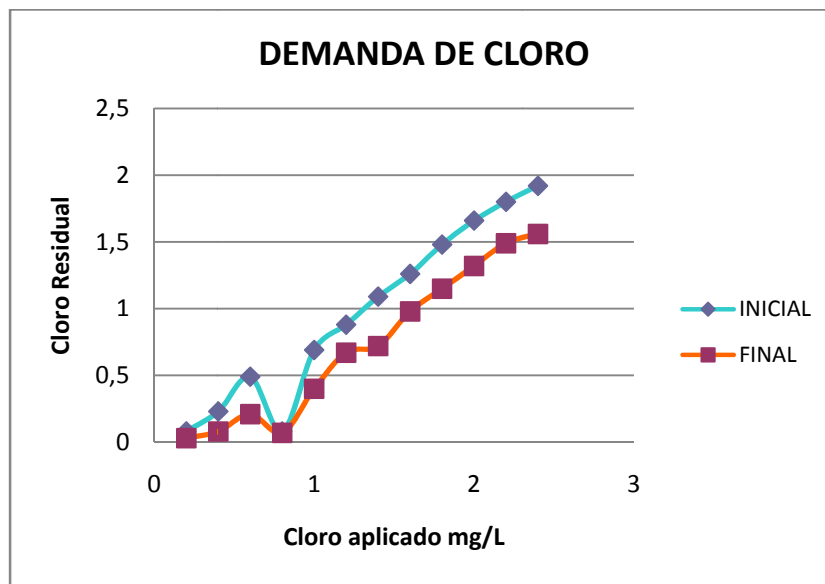
UC	1
NTU	0,24
STD (mg/L)	43,7



pH. 7,2  
Temperatura (°C) 15,4  
Conductividad (µS/s) 87,4

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0,2	0,08	0,03
2	0,4	0,23	0,08
3	0,6	0,49	0,21
4	0,8	0,08	0,07
5	1	0,69	0,4
6	1,2	0,88	0,67
7	1,4	1,09	0,72
8	1,6	1,26	0,98
9	1,8	1,48	1,15
10	2	1,66	1,32
11	2,2	1,8	1,49
12	2,4	1,92	1,56

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



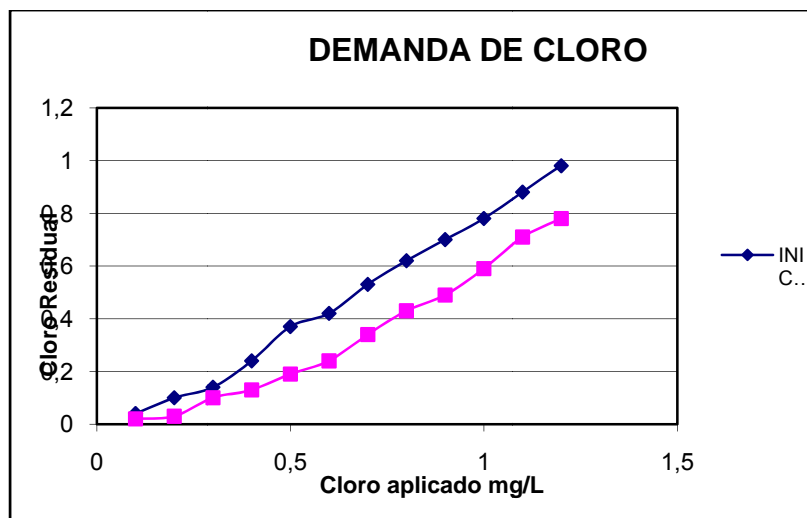
FECHA:  
02/febrero/2010

### AGUA FILTRADA

UC 1  
NTU 0,14  
STD (mg/L) 46  
pH. 6,92  
Temperatura (°C) 15,8  
Conductividad (μS/s) 87,8

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0,1	0,04	0,02
2	0,2	0,1	0,03
3	0,3	0,14	0,1
4	0,4	0,24	0,13
5	0,5	0,37	0,19
6	0,6	0,42	0,24
7	0,7	0,53	0,34
8	0,8	0,62	0,43
9	0,9	0,70	0,49
10	1	0,78	0,59
11	1,1	0,88	0,71
12	1,2	0,98	0,78

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR



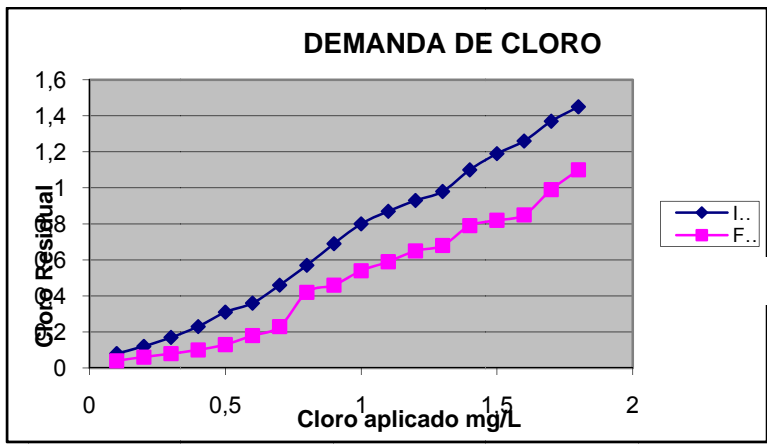
FECHA:  
03/febrero/2010

**AGUA FILTRADA**

UC 0  
NTU 0,26  
STD (mg/L) 45,5  
pH. 6,28  
Temperatura  
(°C) 16,8  
Conductividad  
( $\mu$ S/s) 91,1

FRASCO	Dosis	Lectura inicial	Lectura final
250 cc	mg/L	t=0 min	t=30 min
1	0,1	0,08	0,04
2	0,2	0,12	0,06
3	0,3	0,17	0,08
4	0,4	0,23	0,1
5	0,5	0,31	0,13
6	0,6	0,36	0,18
7	0,7	0,46	0,23
8	0,8	0,57	0,42
9	0,9	0,69	0,46
10	1	0,8	0,54
11	1,1	0,87	0,59
12	1,2	0,93	0,65
13	1,3	0,98	0,68
14	1,4	1,1	0,79
15	1,5	1,19	0,82
16	1,6	1,26	0,85
17	1,7	1,37	0,99
18	1,8	1,45	1,1

FUENTE: AUTOR



FUENTE: AUTOR

**ANEXO D1**

<b>AGUA CRUDA</b>										
<b>NOVIEMBRE</b>										
<b>DIA</b>	<b>NTU</b>	<b>COLO R</b>	<b>PH</b>	<b>TEMP °C</b>	<b>CONDU CTIVIDA D</b>	<b>STD</b>	<b>ALCAL INIDAD</b>	<b>DUREZ A CALCI CA</b>	<b>DUREZ A TOTAL</b>	<b>ACID EZ</b>
25	20,5	140	7,35	15,8	8,17	40,8				
26	2,81	44	7,51	18,7	7,97	39,9	37,39	22,8	28,5	0,88
27	1,36	28	7,14	18	8,57	42,9	37,39	22,8	30,4	0,88
30	6,46	85	7,36	14,5	5,96	29,8	25,58	19	24,7	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

<b>DICIEMBRE</b>										
<b>DIA</b>	<b>NTU</b>	<b>COL OR</b>	<b>PH</b>	<b>TEMP °C</b>	<b>CONDU CTIVID AD</b>	<b>STD</b>	<b>ALCA LINIDA D</b>	<b>DURE ZA CALCI CA</b>	<b>DURE ZA TOTAL</b>	<b>ACID EZ</b>
1	22,3	197	7,69	18	6,14	30,8	25,58	19	25,65	0,88
2	2,69	55	7,32	16	7,04	35,2	31,48	23,75	26,6	0,88
4	2,34	32	7,06	14,5	7,59	38	35,42	23,75	32,3	0,88
7	1,81	37	7,4	16,5	7,74	38,7	37,39	23,75	30,4	0,88
8	1,77	33	7,44	14,5	8,07	40,3	37,38	26,6	38	0,88
9	1,52	27	7,41	15,5	10,13	55,8	41,32	22,8	28,5	0,88
10	3,09	42	7,32	15	8,01	40,1	37,39	24,7	37,05	0,88
11	5,01	87	7,59	15	6,53	31,8	31,48	22,8	28,5	0,88
15	1,49	47	7,43	15	9,01	45,1	37,39	22,8	38	0,88
16	1,37	36	7,25	15,3	8,08	40,2	36,4	23,75	34,2	0,88
17	2,04	30	7,33	15,1	8,02	10,2	41,32	23,75	32,3	0,88
18	1,72	40	7,62	14,4	75,7	37,8	35,42	28,5	30,4	0,88
22	8,22	131	6,9	15,6	5,48	27,4	23,61	19	26,6	0,88
23	3,93	88	6,89	12,8	5,33	26,7	25,58	30,4	39,9	0,88





24	2,3	50	7,61	16,3	6,17	30,8	27,55	22,8	28,5	0,88
28	1,59	33	7,44	13,6	7,17	35,9	35,42	22,8	32,3	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

<b>ENERO</b>										
DIA	NTU	COLOR	PH	TEMP °C	CONDUCTIVIDAD	STD	ALCALINIDAD	DUREZ A CALCICA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
2	1,35	33	7,3	12,4	10,24	51,9	38,37	24,7	32,3	0,88
4	1,73	25	7,49	12,6	8,08	40,4	39,35	24,7	34,2	0,88
5	3,36	34	7,42	14,2	8,05	40,3	39,35	28,5	32,3	0,88
6	1,13	20	7,17	14,3	10,06	50,3	41,32	24,7	30,4	0,88
7	1,19	23	7,3	15,5	9,22	46,2	37,39	26,6	30,4	0,88
8	1,02	31	7,91	16,5	7,9	39,5	35,42	25,65	38	0,88
11	3,98	72	7,26	14,8	5,98	29,9	29,52	20,9	26,6	0,88
12	7,53	80	7,12	15,9	4,51	22,5	29,52	24,7	28,5	0,88
14	2,25	64	7,3	16,7	7,89	39,4	25,58	22,8	30,4	0,88
15	7,67	92	7,26	16,1	6,22	31,1	30,5	22,8	28,5	0,88
18	1,18	26	7,16	13,2	7,8	39	35,42	25,65	29,45	0,88
19	1,85	30	7,06	12,6	7,11	35,6	31,48	25,65	28,5	0,88
20	1,8	27	7,05	13,4	6,77	33,9	35,42	28,5	34,2	0,88
21	1,23	25	7,28	15,8	7,04	35,3	33,45	22,8	32,3	0,88
22	1,32	29	7,26	12,9	7,17	35,5	35,42	26,6	28,5	0,88
25	1,59	31	7,66	16	7,56	37,9	35,42	24,7	30,4	0,88
26	1,07	32	7,44	13,2	7,63	38,1	36,4	20,9	32,3	0,88
27	1,12	17	7,1	13,5	8,29	41,4	38,37	21,85	30,4	0,88
28	1,09	17	7,42	13,8	8,62	43,1	28,52	22,8	28,5	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

<b>FEBRERO</b>										
DIA	NTU	COLOR	PH	TEMP °C	CONDUCTIVIDAD	STD	ALCALINIDAD	DUREZ A CALCICA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
2	1,13	16	7,03	13,4	8,89	44,5	35,42	26,6	28,5	0,88
8	70,6	600	6,8	13,2	3,08	15,4	11,8	13,3	19	1,76
13	1,84	58	6,79	14,2	5,36	28,6	25,58	20,9	26,6	0,88
17	2,66	96	6,87	13,8	5,29	26,5	24,6	19	20,9	0,88
18	3,31	115	6,79	13	5,9	29,6	27,55	19	24,7	0,88
19	1,07	68	7,04	13,5	5,8	29,1	27,55	19,95	24,7	0,88
20	2,16	104	6,66	13,8	4,61	23	20,66	19,95	21,85	0,88



21	1,62	118	6,97	12,9	5,27	26,3	23,61	20,9	23,61	0,88
22	1,18	85	6,59	12,4	5,99	29,9	25,88	20,9	26,6	0,88
23	2,86	185	6,8	13,2	8,45	42,2	25,88	19,95	21,85	0,88
24	5,44	242	6,64	13,9	4,44	22,2	19,68	19	19,95	0,88
25	1,74	121	6,81	13,1	5,32	26,6	25,58	19	20,9	0,88
26	2,35	144	7,04	13	5,13	25,6	24,5	20,9	21,85	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

MARZO										
DIA	NTU	COLOR	PH	TEMP °C	CONDUCTIVIDAD	STD	ALCALINIDAD	DUREZ A CALCICA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
1	4,43	151	6,94	16,2	5,43	27,1	23,61	20,9	22,8	0,88
2	1,58	82	6,66	13,8	5,15	25,7	21,64	17,1	22,8	0,88
3	1,43	86	6,9	14,2	5,97	29,8	29,51	20,9	22,8	0,88
4	1,46	66	4,76	14,9	5,71	28,5	29,52	20,9	22,8	0,88
5	1,28	62	6,98	14,1	5,96	29,7	27,55	22,8	24,7	0,88
6	0,9	40	7,1	16,7	6,46	32,3	29,52	19,52	24,7	0,88
7										
8	0,98	37	6,86	13,8	6,82	34,2	29,52	20,9	26,6	0,88
9	0,92	32	6,89	14,3	7,3	35,7	29,52	20,9	28,5	0,88
10	1,05	34	6,92	15,1	7,03	35,3	31,48	21,85	25,65	0,88
11	1,35	50	6,75	15,2	5,8	29	29,52	20,9	26,6	0,88
12	0,96	37	6,6	12,9	6,47	32,4	31,48	20,9	28,5	0,88
13										
14	3,57	124	6,65	13,7	5,76	28,8	20,66	17,1	26,6	0,88
15	3,57	88	6,68	14,2	5,87	29,3	27,55	19	26,6	0,88
16	1,21	51	6,76	14,7	5,88	29,4	19,52	19	26,6	0,88
17	1,16	47	6,98	13,9	6,83	34,1	29,52	20,9	26,6	0,88
18	2,31	82	6,89	14	5,4	27	24,6	22,8	23,75	0,88
19	1,97	53	7,04	13,8	5,05	30,7	28,53	22,8	24,7	0,88
20										
21										
22	1,5	39	6,84	13,2	5,89	29,4	25,58	22,8	26,6	0,88
23	1,76	47	6,8	14,7	6,3	31,5	27,55	20,9	23,75	0,88
24	1,53	33	6,88	14,8	6,23	31,2	30,5	22,8	24,7	0,88
25	1,3	29	7,17	14,9	6,48	32,4	31,48	20,9	26,6	0,88
26	1,21	27	6,87	15,1	7,79	40	33,45	21,85	27,55	0,88
27										



28										
29	0,99	26	7,25	13,8	8,16	40,7	34,43	20,9	28,5	0,88
30	1,5	27	7,26	13,3	6,29	31,5	31,48	20,9	28,5	0,88
31	3,59	59	7,18	13,5	6,03	30,2	30,5	20,9	26,6	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

ABRIL										
DIA	NTU	COLOR	PH	TEMP °C	CONDUCTIVIDAD	STD	ALCALINIDAD	DUREZ A CALCICA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
1	6,64	155	7,08	12,1	5,2	26	21,64	19	22,8	0,88
2										
3										
4	3,47	92	7,18	15,2	5,68	28,5	24,6	20,9	24,7	0,88
5	2,41	75	6,2	14,3	5,88	29,4	21,64			
6	8,42	141	6,23	13,7	4,43	22,2	17,71			
7										
8	4,93	121	6,31	13,2	4,18	20,9	21,64			
9	3,23	103	6,23	12,9	4,56	22,8	15,74			
10										
11										
12										
13	2,55	67	7,04	13,6	4,49	22,4	19,68	25,65	30,4	0,88
14	2,66	68	6,85	12,4	4,36	21,8	20,66	21,85	22,8	0,88
15	1,61	59	7,04	13,4	5,01	25	23,61	20,9	24,7	0,88
16	1,65	39	6,91	13,9	5,25	26,2	24,6	19,95	24,7	0,88
17	2,01	40	7	14	6,14	30,7	27,55	19	22,8	0,88
18										
19	1,54	29	7,1	13	5,83	29,2	28,53	20,9	24,7	0,88
20	2,16	42	7,11	13,7	5,17	25,9	25,58	19	22,8	0,88
21	1,46	43	7,06	12,8	5,16	25,9	22,63	19	21,85	0,88
22	1,47	28	7,38	14,2	5,72	28,6	29,52	19,95	24,7	0,88
23										
24										
25	2,87	57	7,28	14,7	6,22	31,7	20,66	17,1	20,09	0,88
26	2	48	6,95	12,8	5,07	25,4	19,68	28,05	20,9	0,88
27	3,13	72	6,98	13,1	5,52	27,7	23,61	20,9	22,8	0,88
28	2,83	75	6,84	12,6	3,85	19,3	20,66	16,15	18,05	0,88
29	2,52	53	6,96	13,2	4,74	23,7	21,64	13,13	19,95	0,88
30	5,24	109	6,86	14,3	4,07	20,4	19,28	15,01	21,85	0,88



FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

MAYO										
DIA	NTU	COLOR	PH	TEMP °C	CONDUCTIVIDAD	STD	ALCALINIDAD	DUREZ A CALCICA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
1										
2										
3	5,23	86	6,86	13	4,35	21,7	19,68	17,1	18,05	0,88
4	3,96	61	7,02	14,1	4,43	22,2	20,66	17,1	20,9	0,88
5	7,41	118	6,96	12,3	3,71	18,6	19,78	19	19,95	0,88
6	2,56	73	7,12	13,1	4,71	23,5	23,61	17,1	19	0,88
7	2,35	68	7,34	14	5,17	25,9	24,6	19,95	20,9	0,88
8	4,09	68	7,14	12,5	4,8	24	23,61	19,68	21,85	0,88
9	22,3	260	6,85	12,5	3,33	16,7	9,84			
10	7,27	145	7,05	13,5	3,13	15,7	14,76	15,2	17,1	0,88
11	3,08	104	6,84	13,2	3,34	16,7	14,76	15,2	17,1	0,88
12	2,58	81	6,67	11,8	4,93	26,4	20,66	15,2	19,95	0,88
13	1,83	60	6,84	12,9	4,26	21,3	20,66	15,2	19,95	0,88
14	1,77	50	7,04	11,9	5,14	25,7	24,6	19,95	25,65	0,88
15										
16	1,61	30	6,97	15,4	5,46	27,3	21,65	19	20,9	0,88
17	2,22	32	7,25	13,9	6,19	30,9	18,67	19	24,32	0,88
18	1,89	29	7,08	12,8	6,31	31,5	25,58	19,95	26,6	0,88

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG



<b>AGUA SALIDA</b>											
<b>NOVIEMBRE</b>											
<b>DIA</b>	<b>NTU</b>	<b>COLOR</b>	<b>PH</b>	<b>TEMP °C</b>	<b>CONDUCTIVIDAD</b>	<b>STD</b>	<b>COLORO</b>	<b>ALCALINIDAD</b>	<b>DUREZA CALCICA</b>	<b>DUREZA TOTAL</b>	<b>ACIDEZ</b>
25	0,65	0	6,56	14,8	10,19	50,9	1				
26	0,3	0	6,81	19,8	9,26	46,3	1	25,58	24,7	27,55	1,76
27	0,23	0	6,57	20,5	9,16	45,8	1	27,55	23,75	30,4	1,76
30	0,43	1	6,44	15,5	7,98	40	1	17,71	19	26,6	1,76

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

<b>DICIEMBRE</b>											
<b>DIA</b>	<b>NTU</b>	<b>COLOR</b>	<b>PH</b>	<b>TEMP °C</b>	<b>CONDUCTIVIDAD</b>	<b>STD</b>	<b>CLORO</b>	<b>ALCALINIDAD</b>	<b>DUREZA CALCICA</b>	<b>DUREZA TOTAL</b>	<b>ACIDEZ</b>
1	0,84	2	6,65	16	7,8	39,1	1	17,71	19	27,55	1,76
2	0,33	4	6,71	16,5	7,95	39,8	1	18,69	20,9	27,55	1,76
4	0,46	1	6,68	16	7,94	39,8	1	19,68	20,9	28,5	1,76
7	0,68	1	6,61	17,5	8,33	41,6	1	25,58	20,9	32,3	1,76
8	0,15	0	6,59	14	10,01	50,1	1	28,53	26,6	32,3	1,76
9	0,34	1	6,53	15,5	88,6	44,3	1	29,52	23,8	34,2	1,76
10	0,31	0	6,94	16	8,87	44,4	1	29,52	24,7	32,3	1,76
11											
15	0,39	1	6,79	14,5	8,67	43,3	1,2	23,61	24,7	32,3	1,76
16	0,23	0	6,49	15,2	8,74	43,7	1	25,58	23,75	32,3	1,76
17	0,21	0	6,53	15,2	8,87	44	1	27,56	25,65	32,3	1,76



18	0,2	1	6,6 2	15,1	8,71	43, 7	1,1	25,58	25,65	33,25	1,76
22	0,4 2	0	6,5 3	16,4	7,59	38	1	21,64	21,85	29,45	1,76
23	0,2 8	0	6,1 1	15	9	45	0,98	17,71	22,8	30,4	1,76
24	0,4 3	0	6,3 5	16,4	8,62	43, 1	0,71	23,61	22,8	30,4	1,76
28	0,2 4	0	6,5 5	15,6	7,68	38, 3	0,71	23,61	22,8	30,4	1,76

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

ENERO											
DIA	NT U	COLO R	PH	TEM P °C	CONDU CTIVIDA D	STD	CLOR O	ALCA LINID AD	DUREZ A CALCI CA	DUREZ A TOTAL	ACIDE Z
2	0,2 9	0	6,4	17	7,88	39, 8	1,7	25,58	26,6	34,2	2,64
4	0,4 3	0	6,5	16,4	8,79	44	1,4	23,61	24,7	30,4	2,64
5	0,2 6	0	6,5 5	14,8	8,87	44, 9	0,9	27,55	24,7	32,3	1,76
6	0,1 4	0	6,6	16,9	9,14	45, 7	1,57	29,52	26,6	32,3	1,76
7	0,2	0	6,5 7	16,4	9,82	49, 1	1,45	29,52	24,7	36,4	2,64
8	0,1 5	0	7,1 8	17	8,55	42, 7	1,7	31,48	26,6	30,4	1,76
11	0,1 3	0	6,6 3	15,3	8,83	44, 2	1,45	21,64	24,7	30,4	1,76
12	0,4 7	0	6,8 8	16,4	8,22	41, 3	0,8	24,7	22,8	26,6	1,76
14	0,1 9	0	6,6 4	13,8	5,7	28, 5	1,1	19,68	22,8	34,2	1,76
15	0,2 2	0	6,5 6	16,8	7,29	36, 4	1,49	19,68	24,7	28,5	1,76
18	0,1 6	0	6,8 6	13,6	7,45	37, 4	1,62	21,64	21,85	30,4	1,76
19	0,1 6	0	6,8 6	12,8	7,82	39, 1	1,54	21,64	23,75	29,45	1,76
20	0,1 9	0	6,9 5	13,6	7,88	39, 6	1,63	25,58	24,7	36,1	1,76
21	0,1 8	0	6,7 2	16	7,94	39, 6	1,7	25,58	23,75	31,35	1,76



22	0,1 4	0	6,6 8	13,2	7,93	39, 7	1,7	21,65	22,8	28,5	1,76
25	0,1 8	0	6,9 5	15,6	8,96	44, 8	1,5	31,48	22,8	32,3	1,76
26	0,2 2	0	6,7 8	13,4	8,49	42, 9	1,52	32,47	26,6	29,45	1,76
27	0,1 4	0	7,0 4	13,8	8,51	42, 6	1,54	28,53	22,8	29,45	1,76
28	0,1	0	7	14,8	8,51	42, 5	1,31	23,61	22,8	28,5	1,76

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

<b>FEBRERO</b>											
<b>DIA</b>	<b>NT U</b>	<b>COLO R</b>	<b>PH</b>	<b>TEM P °C</b>	<b>COND UCTIVI DAD</b>	<b>ST D</b>	<b>CLOR O</b>	<b>ALCA LINID AD</b>	<b>DUREZ A CALCI CA</b>	<b>DUREZ A TOTAL</b>	<b>ACIDE Z</b>
2	0,1 6	0	6,8 8	13,4	9,24	46, 2	1,6	27,55	22,8	28,5	1,76
8											
13	0,1 7	0	6,1 5	15,8	7,33	36, 6	0,98	13,17	19	22,8	2,64
17	0,6 4	0	6,4 1	15,4	7,6	37, 9	0,95	17,71	19	22,8	1,76
18	0,6 3	0	6,4 2	14,9	7,26	36, 3	0,85	17,71	19	24,7	1,76
19	0,3 2	0	6,2 5	14,6	6,8	34	0,9	16,73	17,1	24,7	2,64
20	0,1 5	0	5,9 8	14,6	7,57	37, 8	0,99	15,74	15,2	24,7	2,64
21	0,1 7	0	6,3 5	13,7	6,28	31, 3	1,9	13,77	16,15	22,8	1,76
22	0,2 7	0	6,5 5	13,3	7,12	35, 6	1,41	15,74	20,9	26,6	2,64
23	0,3 4	0	6,1 7	13,6	7,45	34, 7	1,42	15,74	21,85	23,75	1,76
24	0,1 8	0	5,6 2	16,1	7,17	35, 8	1,7	7,87	19	24,7	4,4
25	0,3 8	0	6,1 1	14,8	6,8	34	1,53	8,85	19	20,9	2,64
26	0,3 9	0	5,6 5	14,9	7,29	36, 5	1,65	7,87	15,2	20,9	4,44

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

**MARZO**



DI A	NTU	COLO R	PH	TEM P °C	CONduc TIVIDAD	ST D	CLOR O	ALCA LINID AD	DUREZ A CALCI CA	DUREZ A TOTAL	ACIDEZ
1	0,41	0	6,0 6	17,9	6,98	85	1,64	7,87	17,1	20,9	3,2
2	0,22	0	6,0 1	12,6	7,06	35, 2	1,8	9,84	15,2	19	2,64
3	0,15	0	6,2 1	16,1	6,93	34, 7	1,4	13,77	17,1	22,8	3,52
4	0,19	0	6,2 7	15,9	7,2	25	1,54	14,74	17,1	22,8	1,76
5	0,1	0	6,4 1	16,2	7,73	36, 7	1,64	15,74	15,2	24,7	2,64
6											
7											
8	0,18	0	6,2 7	15,4	8,1	40, 6	1,58	19,68	19	26,6	1,76
9	0,16	0	6,5 2	16,7	7,66	38, 4	1,5	19,68	19,95	24,7	1,76
10	0,1	0	6,1 4	15	8,08	40, 5	1,43	23,61	19	24,7	3,52
11	0,1	0	6,5	14,7	8,4	40, 2	1,68	21,64	22,2	30,4	1,76
12											
13											
14	0,2	0	6,4	16,1	7,47	37, 3	1,43	15,74	19,95	28,5	2,64
15	0,2	0	6,3	16,4	7,23	36, 1	1,46	13,77	19	22,2	1,76
16	0,13	0	6,5 4	15,2	7,06	35, 2	1,6	17,71	20,9	26,6	1,76
17	0,23	0	6,4 2	16,2	7,53	37, 7	1,52	22,63	20,9	22,8	2,64
18	0,15	0	6,2 6	15,1	7,41	37, 1	1,63	16,73	21,85	24,7	2,64
19											
20											
21	0,21	0	5,9 7	15,2	7,52	37, 6	1,6	15,74	19	24,7	2,64
22	0,23	0	6,0 6	15,7	7,48	37, 8	1,6	17,71	19	24,7	2,64
23	0,28	0	6,4 2	15,4	7,39	34, 7	1,64	17,71	20,9	22,8	2,64





24	0,65	0	6,68	15,2	7,24	36,2	1,55	21,65	20,9	24,7	2,64
25	0,45	0	6,25	15,9	7,15	35,7	1,62	25,58	20,9	24,7	1,76
26											
27											
28	0,21	0	6,15	16,1	9,01	45,4	1,55	27,55	22,8	27,55	2,64
29	0,17	0	6,68	14,1	9,11	45,5	1,54	25,58	20,9	26,6	2,64
30	0,4	0	6,62	14,2	8,57	42,9	1,72	23,61	20,9	26,6	1,76
31	0,31	0	6,67	14,2	7,97	39,8	1,48	21,64	19	22,8	1,76

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG

ABRIL											
DI A	NTU	COLO R	PH	TEM P °C	COND UCTIVI DAD	STD	CLOR O	ALCA LINID AD	DUREZ A CALCI CA	DUREZ A TOTAL	ACID EZ
1											
2											
3	0,47	0	5,96	16,8	7,67	37,8	0,7	11,8	15,2	22,8	4,4
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12	0,48	0	5,84	14,4	6,57	32,9	1,6	7,87	11,4	20,9	4,44
13	0,66	0	5,98	14,8	6,75	33,8	1,66	10,82	15,2	21,85	2,64
14	0,32	0	6,01	14,6	6,91	34,5	1,56	7,87	17,1	20,9	4,44
15	0,27	0	5,91	14,2	7,07	35,4	1,8	11,81	20,9	24,7	1,76
16	0,2	0	6,0	14,2	6,4	32	1,73	13,77	19,95	24,7	1,76



			2									
17												
18	0,25	0	6,1 2	13,2	7,35	36,8	1,7	15,74	17,1	24,7	1,76	
19	0,16	0	6,3 5	14,1	7,6	38,1	1,62	19,68	17,1	23,75	1,76	
20	0,46	0	6,4 3	14,1	7,44	37,2	1,49	18,69	15,2	22,8	1,76	
21	0,23	0	6,5 8	14,8	6,74	33,8	1,4	15,74	15,2	21,75	1,76	
22												
23												
24	0,28	0	6,0 6	14,1	7,37	36,6	1,54	15,74	16,15	21,85	1,76	
25	0,23	0	6,2 9	13	6,64	33,2	1,34	16,73	19	21,85	1,76	
26	0,23	0	6,4 5	13,5	7,28	36,4	1,4	15,74	17,1	20,9	1,76	
27	0,21	0	6,3 3	12,9	7,46	37,3	1,5	14,76	16,15	19	1,76	
28	0,54	0	6,0 3	14,2	6,24	31,2	1,26	7,87	14,25	18,05	1,76	
29	0,34	0	6,0 2	14,7	6,01	30,1	1,11	8,26	13,11	20,9	1,76	
30												

MAYO											
DIA	NTU	COLO R	PH	TEM P °C	COND UCTIVI DAD	STD	CLOR O	ALCA LINID AD	DUREZ A CALCI CA	DUREZ A TOTAL	ACIDE Z
1											
2	0,52	0	5,9 6	14,1	5,96	29,9	1,42	6,89	14,25	19,95	2,64
3	0,4	0	6,0 6	14,2	6,13	30,6	1,54	9,83	14,25	20,9	2,64
FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG											
4	0,36	0	3	13,6	6,12	30,7	1,31	7,87	17,1	19	2,64
5	0,42	0	5,4 2	14,7	6,08	30,5	1,4	7,87	16,15	19	3,52



6	0,62	0	5,9	15,8	6,05	30,3	1,89	7,87	14,25	18,05	2,64
7	1,12	0	6,3 2	147, 2	6,33	31,7	1,95	10,82	18,05	20,9	1,76
8											
9											
10	0,96	0	6,0 9	13,8	6,69	33,4	1,31	10,82	14,25	19,95	1,76
11	1,1	0	5,4 3	12,9	6,11	30,9	1,49	10,82	14,25	19	2,64
12	0,51	0	6,1 4	13,4	6,58	32,9	0,89	5,9	10,45	18,05	2,64
13	0,5	0	6,1 6	13,8	5,88	29,4	1,58	7,88	14,25	19,95	1,76
14											
15	0,46	0	6,5 7	16,2	6,57	32,9	1,27	17,71	17,1	20,9	1,76
16	0,44	0	6,6 2	14,4	6,42	32,1	1,79	12,79	15,2	20,9	1,76
17	0,44	0	6,6 9	13,9	6,35	31,7		15,74	16,15	22,8	1,76

FUENTE: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE SÚSTAG



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## **ANEXO D2**



### **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1 108:2006**

**Segunda revisión**

---

### **AGUA POTABLE. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

**WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.**

**First Edition**

---

**DESCRPTORES:** Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.  
AL 01.05-401  
CDU: 644.81  
CIIU: 4200  
ICB: 13.050.20

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version [www.pdffactory.com](http://www.pdffactory.com)

CDU: 644.61  
ICS: 13.050.20**INEN**CIU: 4200  
AL: 01.05-401

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	AGUA POTABLE. REQUISITOS.	NTE INEN 1 108:2006 Segunda revisión 2006-03
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 <b>Agua Potable.</b> Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.</p> <p>3.2 <b>Agua Cruda.</b> Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.</p> <p>3.3 <b>Límite máximo permisible.</b> Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.</p> <p>3.4 <b>UFC/ml.</b> Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.</p> <p>3.5 <b>NMP.</b> Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.</p> <p>3.6 <b>µg/l.</b> (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.</p> <p>3.7 <b>mg/l.</b> (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.</p> <p>3.8 <b>Microorganismo patógeno.</b> Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.</p> <p>3.9 <b>Pesticidas.</b> Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.</p> <p>3.10 <b>Desinfección.</b> Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.</p> <p>3.11 <b>Subproductos de desinfección.</b> Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.</p> <p>3.12 <b>Radio nucleido.</b> Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y mismo A.</p> <p>3.13 <b>MBAS, ABS.</b> Sustancias activas al azul de metileno; Aiquil Benceno Sulfonato.</p> <p>3.14 <b>Cloro residual.</b> Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.</p> <p>3.15 <b>Dureza total.</b> Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3899 - Baquerizo Moreno ES-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción





NTE INEN 1 100

2008-03

Orgánicos		
Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/l	0,0
Fenoles	mg/l	0,0

**Sustancias Orgánicas**

Límite máximo µg/l

<b>Alcanos Clorinados</b>	
- tetracloruro de carbono	2
- diclorometano	20
- 1,2dicloroetano	30
- 1,1,1-tricloroetano	2000
<b>Etanos Clorinados</b>	
- cloruro de vinilo	5
- 1,1dicloroetano	30
- 1,2dicloroetano	50
- tricloroetano	70
- tetracloroetano	40
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>	
- benceno	10
- tolueno	170
- xileno	500
- etilbenceno	200
- estireno	20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	0,3
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)</b>	
- benzo [a]pireno	0,01
- benzo [a]fluoranteno	0,03
- benzo [k]fluoranteno	0,03
- benzo [ghi]pirileno	0,03
- indeno [1,2,3-cd]pireno	0,03
<b>Bencenos Clorinados</b>	
- monoclorobenceno	300
- 1,2-diclorobenceno	1000
- 1,4-diclorobenceno	300
- triclorobencenos (total)	20
d(2-etilhexil) adipato	80
d(2-etilhexil) ftalato	8
acrilamida	0,5
epiclorohidrin	0,4
hexaclorobutadieno	0,6
Acido etilendiaminatetracético EDTA	200
acido nitrotriacético	200
óxido tributilín	2

(Continúa)



<b>Pesticidas</b>	
	<b>Límite máximo µg/l</b>
Isoproturon	9
Lindano	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2
Metoxyclo	10
Molinato	6
Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPA 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9
<b>Residuos de desinfectantes</b>	
	<b>Límite máximo µg/l</b>
Monocloramina, di- y tricloramina	3
Cloro	5
<b>Subproductos de desinfección</b>	
	<b>Límite máximo µg/l</b>
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldeído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorados	
- ácido dicloroacético	50
- ácido tricloroacético	100
Hidrato clorado	
- tricloroacetaldeído	10
Acetonitrilos halogenados	
- dicloroacetonitrilo	90
- dibromoacetonitrilo	100
- tricloroacetonitrilo	1
Clorógeno clorado (como CN)	70

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos Microbiológicos.

(Continúa)





### Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2 *
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2 *
Criptosporidium, número de quistes/100 litros	ausencia
Giardia Lamblia, número de quistes/100 litros	ausencia

\* < 2 significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo

(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier periodo de 12 meses.

### 6. INSPECCIÓN

#### 6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods)

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

### 7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición.

(Continúa)



**ANEXO 1.  
(INFORMATIVO)**

Número de unidades a tomarse de acuerdo a la población servida

**ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS EN LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE**

Población servida	Número mínimo Muestras /mes	Población servida	Número mínimo Muestras /mes
25 a 1000	1	83001 a 90000	90
1001 a 2500	2	90001 a 96000	95
2501 a 3300	3	96001 a 111000	100
3301 a 4100	4	111001 a 130000	110
4101 a 4900	5	130001 a 160000	120
4901 a 5800	6	160001 a 190000	130
5801 a 6700	7	190001 a 220000	140
6701 a 7600	8	220001 a 250000	150
7601 a 8500	9	250001 a 290000	160
8501 a 9400	10	290001 a 320000	170
9401 a 10300	11	320001 a 360000	180
10301 a 11100	12	360001 a 410000	190
11101 a 12000	13	410001 a 450000	200
12001 a 12900	14	450001 a 500000	210
12901 a 13700	15	500001 a 530000	220
13701 a 14600	16	530001 a 600000	230
14601 a 15500	17	600001 a 660000	240
15501 a 16300	18	660001 a 720000	250
16301 a 17200	19	720001 a 780000	260
17201 a 18100	20	780001 a 840000	270
18101 a 18900	21	840001 a 910000	280
18901 a 19800	22	910001 a 970000	290
19801 a 20700	23	970001 a 1050000	300
20701 a 21500	24	1050001 a 1140000	310
21501 a 22300	25	1140001 a 1230000	320
22301 a 23200	26	1230001 a 1320000	330
23201 a 24000	27	1320001 a 1420000	340
24001 a 24900	28	1420001 a 1520000	350
24901 a 25000	29	1520001 a 1630000	360
25001 a 26000	30	1630001 a 1730000	370
26001 a 33000	35	1730001 a 1850000	380
33001 a 37000	40	1850001 a 1970000	390
37001 a 41000	45	1970001 a 2060000	400
41001 a 46000	50	2060001 a 2270000	410
46001 a 50000	55	2270001 a 2510000	420
50001 a 54000	60	2510001 a 2750000	430
54001 a 59000	65	2750001 a 3020000	440
59001 a 64000	70	3020001 a 3320000	450
64001 a 70000	75	3320001 a 3620000	460
70001 a 76000	80	3620001 a 3960000	470
76001 a 83000	85	3960001 a 4310000	480
		4310001 a 4690000	490
		Sobre 4690000	500

Fuente: Interim Primary Drinking Water Standards – Environmental Protection Agency (EPA), 1975

**Bibliografía:**

CETESB. Companhia de tecnologia de Saneamiento Ambiental. Control de Calidad del Agua Potable para consumo humano. Bases conceptuales y Operacionales. Sao Paulo, 1977

(Continúa)



## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Métodos Normalizados para el Agua potable y residual (Standard Methods) en su última edición. Publicado por la APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation).

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 Agua Potable Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, 1983.

Ministerio del Ambiente, *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria*, actualizada a diciembre de 2002. Corporación de estudios y Publicaciones, Quito 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality Volume 1 Recommendations. Second Edition.* Geneva, 1993.

CETESB. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental del Brasil. *Control de calidad para el agua de consumo humano. Bases conceptuales y operacionales.* Sao Paulo, 1977.





## ANEXO E1

### ENSAYOS CON TRAZADORES

12 de Octubre del 2009

**Mezcla rápida (datos de los 5 puntos de estudio)**

PUNTO 1	
Tiempo	Cond.
segundos	Hs/cm
0	40
3	41
6	59
<b>9</b>	<b>522</b>
12	480
15	440
18	416
21	434
24	412
27	391
30	362
33	342
36	334
39	317
42	285
45	270
48	253
51	233
54	220
57	215
60	181
63	160
66	164
69	153
72	150

FUENTE: AUTOR

PUNTO 2	
Tiempo	Cond.
segundos	Hs/cm
0	45
10	178
<b>20</b>	<b>352</b>
30	336
40	302
50	250
60	200
70	171
80	141
90	118
100	100
110	87
120	76
130	66
140	60
150	57
160	53
170	50
180	48
190	46
200	45
210	45
220	43
230	43
240	43

FUENTE: AUTOR

PUNTO 3	
Tiempo	Cond.
segundos	Hs/cm
0	42
10	57
20	360
<b>30</b>	<b>385</b>
40	345
50	296
60	251
70	194
80	165
90	137
100	116
110	100
120	85
130	74
140	67
150	61
160	57
170	53
180	50
190	48
200	46
210	46
220	44
230	44
240	44

FUENTE: AUTOR



PUNTO 4	
Tiempo segundos	Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$
0	43
10	44
20	129
30	230
<b>40</b>	<b>284</b>
50	282
60	271
70	237
80	213
90	187
100	165
110	138
120	121
130	101
140	92
150	78
160	72
170	65
180	61
190	56
200	52
210	51
220	49
230	48
240	46

FUENTE: AUTOR

PUNTO 5	
Tiempo segundos	Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$
0	42
10	42
20	169
30	244
<b>40</b>	<b>295</b>
50	290
60	277
70	246
80	219
90	188
100	159
110	137
120	117
130	105
140	88
150	78
160	73
170	63
180	58
190	55
200	51
210	49
220	48
230	46
240	45

FUENTE: AUTOR



### Floculación mecánica e hidráulica (datos de los 7 puntos de estudio)

PUNTO 1	
Tiempo	Conductiv
0	41
15	41
30	43
45	57
60	294
75	329
90	356
<b>105</b>	<b>384</b>
120	379
135	372
150	357
165	352
180	333
195	316
210	321
225	311
240	302
255	289
270	280
285	275
300	266
315	259
330	251
345	245
360	239
375	231
390	222
405	218
420	212
435	206

FUENTE: AUTOR

PUNTO 2	
Tiempo	Conductiv
0	41.3
15	41
30	48
45	99
60	156
75	331
90	338
<b>105</b>	<b>360</b>
<b>120</b>	<b>351</b>
<b>135</b>	<b>362</b>
150	343
165	348
180	334
195	297
210	316
225	308
240	294
255	246
270	283
285	267
300	237
315	239
330	229
345	242
360	240
375	230
390	223
405	207
420	213
435	198

FUENTE: AUTOR

PUNTO 3	
Tiempo	Conductiv
0	40.4
15	40.1
30	40.1
45	117.2
60	338
75	325
90	321
105	321
120	324
<b>135</b>	<b>333</b>
150	331
165	323
180	302
195	308
210	288
225	283
240	280
255	268
270	265
285	252
300	249
315	243
330	237
345	233
360	232
375	217
390	217
405	214
420	215
435	207

FUENTE: AUTOR



PUNTO 4	
Tiempo	Conductiv
0	43
30	43
60	41
90	42
120	58
150	109
180	130
210	130
240	161
270	162
300	180
330	182
360	188
390	196
420	201
450	204
480	205
<b>510</b>	<b>206</b>
540	205
570	202
600	200
630	197
660	195
690	194
720	189
750	183
780	181
810	175
840	174
870	171

FUENTE: AUTOR

PUNTO 5	
Tiempo	Conductiv
0	81
30	82
60	81
90	84
120	109
150	160
180	209
210	235
240	246
270	267
300	286
330	303
360	328
390	343
420	362
450	363
480	362
510	370
540	375
570	376
<b>600</b>	<b>380</b>
630	380
660	378
690	373
720	369
750	368
780	365
810	360
840	352
870	342

FUENTE: AUTOR





PUNTO 6	
Tiempo	Conductiv
5	86
6	88
7	101
8	131
9	185
10	237
11	294
12	333
13	367
14	385
15	394
<b>16</b>	<b>398</b>
17	393
18	385
19	374
20	364
21	351
22	334
23	322
24	304
25	290
26	279
27	263
28	253
29	242
30	231
31	223
32	219
33	208
34	202
35	198
36	190
37	184
38	176
39	171
40	164
41	159
42	156
43	147
44	152

FUENTE: AUTOR

PUNTO 7	
Tiempo	Conductiv
5	81
6	83
7	92
8	112
9	143
10	185
11	228
12	267
13	309
14	327
15	349
16	361
17	367
<b>18</b>	<b>369</b>
19	365
20	360
21	352
22	342
23	331
24	322
25	312
26	301
27	290
28	279
29	268
30	256
31	248
32	237
33	227
34	220
35	212
36	203
37	198
38	189
39	182
40	175
41	169
42	164
43	160
44	154

FUENTE: AUTOR

Hidraulico	
Tiempo minutos	Conductiv
5	84
6	86
7	97
8	122
9	164
10	211
11	261
12	300
13	338
14	356
15	372
16	380
<b>17</b>	<b>380</b>
18	377
19	370
20	362
21	352
22	338
23	327
24	313
25	301
26	290
27	277
28	266
29	255
30	244
31	236
32	228
33	218
34	211
35	205
36	197
37	191
38	183
39	177
40	170
41	164
42	160
43	154
44	153

FUENTE: AUTOR



**Sedimentador (datos de los 12 puntos de estudio)**

PUNTO 1	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	101
22	126
<b>24</b>	<b>290</b>
26	280
28	272
30	270
32	253
34	249
36	243
38	242
40	230
42	225
44	220

FUENTE: AUTOR

PUNTO 2	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	102
18	102
20	115
22	166
24	216
26	257
<b>28</b>	<b>276</b>
30	275
32	265
34	265
36	265
38	245
40	243
42	237
44	247

FUENTE: AUTOR

PUNTO 3	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	107
24	118
26	127
28	172
<b>30</b>	<b>230</b>
32	227
34	228
36	227
38	227
40	219
42	219
44	216

FUENTE: AUTOR



PUNTO 4	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	100
14	101
16	114
18	105
20	112
22	126
24	130
26	208
<b>28</b>	<b>235</b>
30	225
32	224
34	222
36	220
38	214
40	212
42	207
44	204

FUENTE: AUTOR

PUNTO 5	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	107
24	142
<b>26</b>	<b>265</b>
28	262
30	259
32	254
34	245
36	241
38	237
40	226
42	222
44	212

FUENTE: AUTOR

PUNTO 6	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	100
16	110
18	116
20	119
22	148
24	244
26	285
<b>28</b>	<b>291</b>
30	276
32	278
34	272
36	267
38	273
40	253
42	253
44	249

FUENTE: AUTOR



PUNTO 7	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	102
20	109
22	124
24	126
26	181
<b>28</b>	<b>252</b>
30	250
32	240
34	243
36	242
38	241
40	227
42	225
44	222

FUENTE: AUTOR

PUNTO 8	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	103
24	124
26	149
<b>28</b>	<b>241</b>
30	238
32	233
34	229
36	227
38	220
40	217
42	210
44	210

FUENTE: AUTOR

PUNTO 9	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	99
16	100
18	101
20	100
22	105
<b>24</b>	<b>284</b>
26	274
28	268
30	264
32	248
34	245
36	240
38	230
40	224
42	221
44	211

FUENTE: AUTOR



PUNTO 10	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	103
22	174
24	267
26	277
28	288
<b>30</b>	<b>289</b>
32	286
34	273
36	262
38	250
40	245
42	230
44	230

FUENTE: AUTOR

PUNTO 11	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	97
24	109
26	222
28	263
30	258
<b>32</b>	<b>268</b>
34	260
36	254
38	249
40	247
42	231
44	226

FUENTE: AUTOR

PUNTO 12	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	100
16	103
18	102
20	102
22	116
24	123
26	146
<b>28</b>	<b>259</b>
30	250
32	244
34	242
36	234
38	224
40	216
42	214
44	210

FUENTE: AUTOR



PUNTO 10	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	103
22	174
24	267
26	277
28	288
<b>30</b>	<b>289</b>
32	286
34	273
36	262
38	250
40	245
42	230
44	230

FUENTE: AUTOR

PUNTO 11	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	97
16	97
18	97
20	97
22	97
24	109
26	222
28	263
30	258
<b>32</b>	<b>268</b>
34	260
36	254
38	249
40	247
42	231
44	226

FUENTE: AUTOR

PUNTO 12	
Tiempo	Conductiv
0	97
1	97
2	97
3	97
4	97
5	97
6	97
7	97
8	97
9	97
10	97
11	97
12	97
13	97
14	100
16	103
18	102
20	102
22	116
24	123
26	146
<b>28</b>	<b>259</b>
30	250
32	244
34	242
36	234
38	224
40	216
42	214
44	210

FUENTE: AUTOR