

**OPTIMIZACIÓN DEL PRETRATAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE
DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO PARA LA
PTAP DE BOSCONIA DE LA CAMB.**

**OSCAR ORLANDO MENDOZA JAIMES
MÓNICA DEL PILAR GALVIS BELTRÁN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CÍVIL
BUCARAMANGA
2004**

**OPTIMIZACIÓN DEL PRETRATAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE
DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO EN LA PTAP
DE BOSCONIA DE LA CAMB.**

**OSCAR ORLANDO MENDOZA JAIMES
MÓNICA DEL PILAR GALVIS BELTRÁN**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**DIRECTOR
JORGE GÓMEZ SANCHEZ
INGENIERO SANITARIO, MSC.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2004**

A *Dios*, fuente de amor y sabiduría.

A mis *papás*:, por su constante esfuerzo y dedicación. Sinónimo de paciencia y perseverancia.

A mis *hermanos* por su apoyo incondicional.

A la memoria de mi *hermano*, *Q.E.P.D.*

A todos los que me apoyaron para la realización de este proyecto.....y a alguien, que con su ternura tiene un espacio en mi vida.

A mis amigos del alma, y mi patria chica Curití.

Mónica

Un sincero agradecimiento a Dios mi creador, sin el no lo hubiera logrado

A mis padres Santiago Gilberto Mendoza Amorocho y Mélida Antonia Jaimes Florez ejes y formadores, quienes con amor me encaminaron para cumplir este objetivo.

A mis hermanos Freddy Humberto y Sergio Andrés ejemplos y modelos a seguir y a orientar.

A Laura Ximena Ortiz M. bastión y apoyo incondicional en el desarrollo de mis metas. Quien genero de una manera afectuosa el deseo de superar mis dificultades.

A mis familiares y amigos gracias por su apoyo y consejos

Oscar....

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimientos a:

La Escuela de Ingeniería Civil por formar ingenieros con valor tecnológico, humanístico y comprometido con la sociedad.

Jorge Gómez Sánchez, Ingeniero Sanitario y Director del proyecto, por su continuo aporte a la formación personal y profesional.

A la Compañía de Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

A todo el personal que labora en la ***Planta de Tratamiento de Bosconia***, por su colaboración desinteresada.

Ingeniero ***Isidro Ardila***, jefe de la planta, por sus aportes y direccionamiento para el desarrollo de este proyecto.

A los Ingenieros ***William Ibáñez*** y ***Juan Londoño***, por las asesorías prestadas.

Al Ingeniero ***Germán Gavilán***, por su valiosa ayuda.

Ingeniera ***Hevenly Celis***, por su cooperación en el laboratorio de suelos.

Ingeniero ***Javier Quiroga***, quien contribuyó con sus ideas en la evaluación.

A los químicos de la Planta la Flora y a ***todas*** la personas que de una u otra manera fueron artífices para culminación de esta meta.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION _____	25
OBJETIVOS GENERALES _____	27
OBJETIVOS ESPECIFICOS _____	27
1. MARCO TEÓRICO _____	29
1.1 GENERALIDADES DEL AGUA. _____	29
1.1.1 Propiedades del agua. _____	29
1.1.1.1 El calor específico. _____	29
1.1.1.2 La tensión superficial. _____	30
1.1.1.3 Viscosidad. _____	30
1.2 COLOIDES. _____	30
1.2.1 Generalidades de los coloides. _____	30
1.2.1.1 Solución verdadera. _____	30
1.2.2 Coloides y emulsiones. _____	31
1.2.3 Los sistemas liófbos. _____	31
1.2.3.1 Los sistemas liófilos. _____	32
1.2.4 Forma de las partículas coloidales. _____	32
1.2.5 Propiedades de los coloides. _____	33

1.2.5.1	Propiedades cinéticas.	33
1.2.5.2	Propiedades ópticas.	33
1.2.5.3	Propiedades de Superficie.	33
1.2.5.4	Propiedades electrocinéticas.	33
1.2.6	Estabilidad de los coloides.	34
1.2.7	Acción de los coloides en la potabilización.	35
1.3	COAGULACIÓN.	35
1.3.1	Potencial de Nerst.	36
1.3.2	Potencial Zeta.	36
1.3.3	Desestabilización de los coloides.	37
1.3.3.1	Adsorción y neutralización de cargas.	37
1.3.3.2	Captura de un precipitado de hidróxido metálico.	38
1.3.3.3	Por adsorción y puente interparticular.	39
1.3.4	EL coagulante.	40
1.3.4.1	Los coagulantes metálicos.	40
1.3.5	Polielectrolitos.	43
1.3.5.1	Polímeros Naturales.	43
1.3.5.2	Polímeros Sintéticos.	44
1.3.5.3	Polímeros Iónicos.	44
1.3.5.4	Polímeros no iónicos.	44
1.3.5.5	Polímeros coagulantes.	44

1.3.5.6	Polímeros Floculantes. _____	44
1.4	PROCESOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO DE AGUA	
POTABLE.	_____	46
1.4.1	Coagulación. _____	46
1.4.2	Floculación. _____	49
1.4.3	Sedimentación. _____	52
1.4.3.1	Sedimentadores convencionales. _____	53
1.4.3.2	Sedimentadores de alta rata. _____	55
1.4.4	Filtración. _____	57
1.4.4.1	Filtración a tasa constante. _____	62
1.4.4.2	Filtración a tasa declinante. _____	62
1.4.4.3	Pérdidas de carga en un filtro de tasa declinante. _____	63
1.4.4.4	Lavado de filtros. _____	63
2.	DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA _____	64
3.	METODOLOGÍA _____	73
3.1	PARÁMETROS ÓPTIMOS DE LAS PRUEBAS DE JARRAS. 74	
3.1.1	Determinación de la dosis óptima de coagulante. _____	75
3.1.2	Determinación del tiempo y gradiente optimo de mezcla rápida. _____	78
3.1.3	Determinación de la influencia del pH en la coagulación. _	80

3.1.4	Determinación de la importancia de la mezcla rápida mediante ensayos de segregación. _____	82
3.1.5	Determinación de la influencia que la concentración de la solución de coagulantes tiene en la coagulación. _____	83
3.1.6	Determinación de la eficiencia de los ayudantes de coagulación. _____	84
3.1.7	Determinación del tiempo y gradiente óptimo de floculación.	85
3.1.7.1	Análisis de los ensayos de determinación de gradiente y tiempo óptimo de floculación. _____	87
3.1.8	Determinación de la eficiencia del sedimentador de placas.	100
3.1.9	Determinación de la velocidad de sedimentación. _____	102
3.2	EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS COAGULANTES- FLOCULANTES Y CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO. _____	103
3.2.1	Análisis para la determinación de mercurio. _____	104
3.2.2	Preparación de reactivos empleados en los ensayos. _____	105
3.2.3	Determinación de la dosis óptima de los coagulantes- floculantes. _____	106

3.2.4	Determinación de la dosis óptima de ayudante de floculación.	106
3.2.5	Determinación de la dosis óptima de carbón activado. ____	107
3.2.6	Determinación de la dosis óptima de carbón activado empleando sulfato de aluminio sólido solución al 1% y ayudante de floculación. _____	108
4.	EVALUACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO _____	109
4.1	MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS. _____	109
4.1.1	Sulfato de aluminio. _____	109
4.1.2	Cal. _____	109
4.1.3	Cloro. _____	110
4.1.4	Polímeros. _____	110
4.2	COAGULACIÓN. _____	111
4.2.1	Dosificación de sustancias químicas. _____	111
4.2.1.1	Dosificación de Sulfato de Aluminio. _____	111
4.2.1.2	Dosificación de cal. _____	111
4.2.2	Mezcla Rápida. _____	112
4.2.2.1	Eficiencia de la mezcla rápida. _____	112
4.2.2.2	Intensidad de la mezcla. _____	113

4.2.2.3	Determinación de los gradientes de velocidad de los canales de interconexión con los floculadores 1 y 4.	117
4.3	FLOCULACIÓN.	117
4.3.1.1	Determinación de la intensidad de floculación.	118
4.3.2	Eficiencia comparativa del proceso.	118
4.3.3	Determinación de las condiciones hidráulicas de los floculadores.	119
4.3.3.1	Análisis por el método Wolf-Resnick.	120
4.3.3.2	Análisis por el método convencional.	121
4.3.3.3	Índice de Morril.	123
4.4	SEDIMENTACIÓN.	124
4.4.1	Determinación de la eficiencia.	125
4.4.2	En función de la calidad del agua cruda.	125
4.4.3	En función del pretratamiento.	126
4.4.4	Determinación de las condiciones y las características hidráulicas.	127
4.4.4.1	Ensayo con trazadores.	127
4.5	FILTRACIÓN.	130
4.5.1	Características del proceso de filtración.	130
4.5.1.1	Velocidad y Caudal de filtración.	130
4.5.1.2	Pérdidas de carga en el filtro.	131

4.5.1.3	Calidad de la etapa inicial de filtración. _____	132
4.5.1.4	Bolas de barro. _____	132
4.5.1.5	Características del proceso de lavado. _____	133
5.	EVALUACIÓN PRETRATAMIENTO _____	136
5.1	PRUEBA CON TRAZADORES. _____	136
5.1.1	Determinación del caudal de trabajo para cada presedimentador. _____	137
5.1.2	Determinación de las características hidráulicas del presedimentador1. _____	137
5.1.2.1	Análisis por el Método Wolf-Resnick. _____	137
5.1.2.2	Análisis por el método convencional. _____	138
5.1.2.3	Índice de Morrill. _____	139
5.1.3	Determinación de las características hidráulicas del presedimentador2. _____	140
5.1.3.1	Análisis por el Método Wolf-Resnick. _____	140
5.1.3.2	Análisis por el método convencional. _____	141
5.1.3.3	Índice de Morrill. _____	142
5.2	DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CAUDAL PARA LA CANALETA PARSHALL NO. 1. _____	142
5.2.1	Estudio de la canaleta Parshall No. 1 como mezclador hidráulico. _____	145

5.3	LÍNEAS DE FLUJO EN LOS PRESEDIMENTADORES.	146
5.3.1	Determinación de la carga superficial real.	146
6.	PRUEBA EN PLANTA	150
6.1	REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE COAGULANTES-FLOCULANTES Y CARBÓN ACTIVADO.	150
6.1.1	Consideraciones generales.	150
6.1.2	Toxicidad del mercurio.	151
6.1.3	Degradación del mercurio en el agua.	152
6.1.4	Remoción de mercurio.	153
7.	DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.	158
7.1	DISEÑO DEL TANQUE.	159
7.2	DISEÑO DE LA PLACA DE PISO PARA SOPORTE DE LOS TANQUES.	159
7.2.1	Diseño Longitudinal	161
7.3	BOMBA DOSIFICADORA.	163
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
	BIBLIOGRAFÍA	170

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1 Clasificación de los coloides. _____	32
Tabla 2 Tiempos y gradientes de velocidad para mezcla rápida. _____	48
Tabla 3 Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación. _____	52
Tabla 4 Dosis óptima de coagulante para diferentes muestras de agua cruda. _____	77
Tabla 5 Tiempos y gradientes óptimos de mezcla rápida para diferentes Turbiedades. _____	80
Tabla 6 Relación entre Turbiedad del agua cruda-pH óptimo de coagulación. _____	81
Tabla 7 Relación entre la turbiedad del agua cruda y la concentración de coagulante. _____	84
Tabla 8 Relación turbiedad inicial-Turbiedad residual empleando ayudante de coagulación C-579. _____	85
Tabla 9 Valores críticos de períodos de floculación(t) y gradiente de velocidad(G). _____	88
Tabla 10 Criterios de diseño de la unidad de floculación ensayo 1. _____	88
Tabla 11 Valores críticos de períodos de floculación(t) y gradiente de velocidad(G) para el ensayo 2. _____	89
Tabla 12 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 2. _____	90
Tabla 13 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 3. _____	91
Tabla 14 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 3. _____	92

Tabla 15 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 4. _____	92
Tabla 16 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 4. ____	93
Tabla 17 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 5. _____	94
Tabla 18 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 5. ____	94
Tabla 19 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 6. _____	95
Tabla 20 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 6. ____	96
Tabla 21 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 7. _____	96
Tabla 22 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 7. ____	97
Tabla 23 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad, ensayo 8. _____	98
Tabla 24 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 8. ____	99
Tabla 25 Tiempo y gradiente optimo de floculación para diferentes valores de turbiedad. _____	99
Tabla 26 Eficiencia de la sedimentación en función de la carga superficial. _____	100
Tabla 27 Eficiencia del proceso de mezcla rápida de acuerdo a la turbiedad del agua cruda _____	113
Tabla 28 Gradiente de velocidad de la mezcal rápida. _____	115
Tabla 29 Gradiente de velocidad, canal de conexión al floculador 1.	117
Tabla 30 Gradiente de velocidad, canal de conexión al floculador 4.	117
Tabla 31 Gradientes de velocidad de los floculadores. _____	118
Tabla 32 Revoluciones por minuto de cada compartimiento de los floculadores. _____	119
Tabla 33 Eficiencia de la floculación según la calidad del agua cruda.	119

Tabla 34 Caudal de trabajo de los floculadores. _____	120
Tabla 35 Análisis de flujos Método Wolf-Resnick _____	121
Tabla 36 Análisis por el método convencional Floculador 1 _____	122
Tabla 37 Análisis por el Método Convencional Floculador 2 _____	122
Tabla 38 Análisis por el Método Convencional Floculador 3. _____	123
Tabla 39 Análisis por el Método Convencional Floculador 4. _____	123
Tabla 40 Índice de Morril _____	124
Tabla 41 Clasificación de los sedimentadores en función de la calidad del agua producida _____	125
Tabla 42 Análisis por el Método Convencional Sedimentador 1 _____	129
Tabla 43 Velocidad y caudal de filtración. _____	131
Tabla 44 Clasificación de los filtros según el porcentaje de bolas de barro. _____	133
Tabla 45 Determinación de la velocidad y el caudal de lavado _____	134
Tabla 46 Porcentaje de expansión del lecho filtrante _____	134
Tabla 47 Características hidráulicas presedimentador 1. Método convencional. _____	139
Tabla 48 Características hidráulicas presedimentador 1. Método convencional. _____	141
Tabla 49 Resultados del aforo canaleta Parshall No. 1. _____	143
Tabla 50 Gradiente de velocidad para diferentes caudales. _____	145
Tabla 51 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 1. _____	154
Tabla 52 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 2. _____	155
Tabla 53 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 3. _____	155
Tabla 54 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 5. _____	156

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1 Estructura y potenciales de un coloide. _____	38
Figura 2 Equipo de Jarras Phipps and Bird. _____	76
Figura 3 Relación Turbiedad-dosis. _____	78
Figura 4 Celda cuadrada en acrílico de dos litros de capacidad. _____	79
Figura 5 Planta y perfil de la canaleta Parshall No. 2. _____	114
Figura 6 Planta y perfil de la canaleta Parshall No. 1. _____	144
Figura 7 Topograma de turbiedades, superficial. _____	148
Figura 8 Topograma de turbiedades, profunda. _____	149
Figura 9 Dimensiones de la placa y tanques. _____	160

LISTA DE ANEXOS

		Pág
Anexo 1	Decreto 475 De 1998	157
Anexo 2.	Dosis Óptima De Coagulante	160
Anexo 3.	Tiempo Y Gradiente Óptima De Mezcla Rápida.	173
Anexo 4.	Ph Óptimo.	181
Anexo 5.	Importancia De La Mezcla Rápida Por Medio De Ensayos De Segregación.	188
Anexo 6.	Influencia Que La Concentración De La Solución De Coagulantes Tiene En La Coagulación.	195
Anexo 7.	Determinación De La Eficiencia De Los Ayudantes De Coagulación.	202
Anexo 8.	Determinación Del Tiempo Y Gradiente Óptimo De Floclulación.	206
Anexo 9.	Determinación De La Eficiencia Del Sedimentador De Placas.	214
Anexo 10.	Determinación De La Velocidad De Sementación.	217
Anexo 11.	Determinación De La Dosis Optima De Sulfato De Aluminio Sólido.	224
Anexo 12.	Determinación De La Dosis Óptima De Sulfato De Aluminio Líquido.	231
Anexo 13.	Determinación De La Dosis Óptima De Ayudante De Floclulación.	238
Anexo 14.	Determinación De La Dosis Óptima De Carbón Activado, Empleando Sulfato De Aluminio Como Coagulante.	248
Anexo 15.	Determinación De La Dosis Óptima De Carbón Activado, Empleando Sulfato De Aluminio Y Ayudante De Floclulación.	255
Anexo 16.	Determinación De La Dosis Óptima De Carbón Activado.	262
Anexo 17.	Determinación De La Dosis Óptima De Ayudante De Floclulación Empleando Sulfato De Aluminio Líquido Como Coagulante.	265
Anexo 18.	Certificado De Control De Calidad Del Sulfato De Aluminio Sólido Por Parte De La Planta.	270
Anexo 19.	Certificado De Control De Calidad De La Cal Por Parte De La Planta.	272

Anexo 20.	Calibración Del Dosificador De Sulfato De Aluminio Sólido.	274
Anexo 21.	Calibración Del Dosificador De Cal.	279
Anexo 22.	Eficiencia De La Mezcla Rápida.	283
Anexo 23.	Calibración De La Canaleta Parshall No. 2.	287
Anexo 24.	Eficiencia De La Floculación.	292
Anexo 25.	Ensayo Con Trazadores. Condiciones Hidráulicas De Los Canales Que Comunican A Los Floculadores.	296
Anexo 26.	Ensayo Con Trazadores. Condiciones Hidráulicas Del Floculador 1.	309
Anexo 27.	Ensayo Con Trazadores. Condiciones Hidráulicas Del Floculador 2.	315
Anexo 28.	Ensayo Con Trazadores. Condiciones Hidráulicas Del Floculador 3.	321
Anexo 29.	Ensayo Con Trazadores. Condiciones Hidráulicas Del Floculador 4.	328
Anexo 30.	Eficiencia De Los Sedimentadores En Función Del Agua Sedimentada.	333
Anexo 31.	Eficiencia De La Sedimentación En Función Del Agua Cruda.	338
Anexo 32.	Ensayo De Jarras Para Medir La Eficiencia Del Sedimentador De Placas.	340
Anexo 33.	Ensayo Con Trazadores. Determinación De Las Condiciones Hidráulicas Del Sedimentador 1.	344
Anexo 34.	Pérdidas De Carga Del Filtro 7.	350
Anexo 35.	Pérdidas De Carga Del Filtro 12.	354
Anexo 36.	Calidad Del Filtrado Inicial.	358
Anexo 37.	Bolas De Barro.	362
Anexo 38.	Duración Del Proceso De Lavado En Los Filtros.	364
Anexo 39.	Ensayo De Trazadores Presedimentador 1, Caudal De Trabajo.	368
Anexo 40.	Ensayo Con Trazadores Presedimentador 2, Caudal De Trabajo.	370
Anexo 41.	Tiempo De Retención De La Mezcla Rápida-Entrada Al Presedimentador 1.	372
Anexo 42.	Tiempo De Retención De La Mezcla Rápida-Entrada Al Presedimentador 2.	374
Anexo 43.	Ensayo Con Trazadores Presedimentador 1.	376
Anexo 44.	Ensayo Con Trazadores Presedimentador 2.	382
Anexo 45.	Aforo Canaleta Parshall No.1.	388
Anexo 46.	Resultado De La Prueba En Planta Con Sulfato De Aluminio Líquido.	412

Anexo 47.	Resultados De Los Análisis De Suelos Para El Diseño Del Tanque.	414
Anexo 48.	Ficha Técnica Y Certificación De La Nsf Para El Uso De Exro 621 Ayudante De Floculación.	418

RESUMEN

Título: Optimización del pretratamiento e implementación de la dosificación de sulfato de aluminio líquido en la PTAP de Bosconia de la CAMB.*

Autores:

Mónica del Pilar Galvis Beltrán.

Oscar Orlando Mendoza Jaimes.**

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Bosconia es una de las más grandes e importantes en Bucaramanga y además es la única que trabaja por bombeo. Cuenta con un pre-tratamiento basado en estructuras tendientes a reducir el mercurio entrante al tratamiento dentro de los límites a tratar según el decreto 475 de 1998, la cual se evaluó de acuerdo a ciertos parámetros como son: la turbiedad, pH, color, alcalinidad y contenido de mercurio residual, luego de haber pasado por las pruebas de jarras, quienes sirvieron de modelo teórico, así mismo se buscó la mejor relación de las diferentes sustancias empleadas como son: Sulfato de Aluminio Sólido, sulfato de Aluminio Líquido, Ayudante de floculación y carbón activado, para aplicar en el pre-tratamiento, por otra parte la Compañía de Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A., quiso implementar el uso de Sulfato de Aluminio líquido en la planta y busco la mejor eficiencia entre esta y su homóloga en sólido determinando después la evaluación de ella en la planta y determinar el mejor funcionamiento en los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, pues en ellas podemos determinar fallas que se presentaron por manipulación, falla humana o problemas de diseño, de ahí se pueden aplicar correctivos que a la postre cumplan un papel rentable en la económica de esta compañía que ha prestado importantes aportes a la comunidad y por ultimo en el proyecto se analizó la posible adecuación e instalación de los tanques dosificadores, para su puesta en marcha.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jorge Gómez Sanchez.

SUMMARY

Title: Optimization of the to-treatment and implementation of the dosage of sulfate of liquid aluminum in the PTAP of Bosconia of the CAMB.*

Authors:

Mónica del Pilar Galvis Beltrán.

Oscar Orlando Mendoza Jaimes.**

The Plant of water Treatment of Bosconia is one of the biggest and important in Bucaramanga and it is also the only one that works for pumping. It has to-treatment based on structures to spread to it reduces the incoming mercury to the treatment inside the limits to try according to the ordinance 475 of 1998, which was evaluated according to certain parameters like they plows: the turbidity, pH, color, alkalinity and content of residual mercury, after having gone likewise by the tests of jars who served ace theoretical model, the best relationship in the different substances employees were looked for ace they plows: Solid Aluminum sulfate, Liquid aluminum sulfate, flocculating Assistant and activated coal, to apply in the to-treatment, on the other hand the Company of Metropolitan Aqueduct of Bucaramanga CORP., wanted to implement the use of liquid Aluminum sulfate in the plant and I look for the best efficiency among this and its it homologates in solid determining the evaluation of her later in the plant and to determine the best operation in the processes of clotting, flocculation, sedimentation and filtration, because in them we can determine flaws that were presented by manipulation, human flaw or design problems, of there correctives can be applied that at last complete a profitable paper in the economic of this company that has lent important contributions to the community and for I finish in the project it was analyzed the possible adaptation and installation of the dosage tanks, for its setting in march.

* Grade Project.

** Ability of Engineerings Fisicomecánicas, School of Civil Engineering, Engineer Jorge Gómez Sanchez

INTRODUCCION

El agua como fuente de vida es uno de los recursos indispensables para la humanidad. Los ríos, mares, lagos y demás fuentes hídricas nos han permitido establecernos; debido a esto el ser humano en su afán de mejorar la calidad de este recurso, idea mecanismos para solucionar las necesidades primarias, como lo es el abastecimiento de agua pura (libre de impurezas), creando paralelamente ambientes saturados por microorganismos patógenos y sustancias tóxicas nocivas para la salud.

Otro efecto devastador se presenta en las canteras, calizas, minería aurífera y demás, en donde el agua juega un papel preponderante para su extracción; en esta última son mezcladas con el mercurio, elemento altamente tóxico y que produce sus efectos a largo plazo como son: mutagénesis, sordera, ceguera y la muerte. Con un margen degenerativo para la población, quienes no han comprendido aún la magnitud que pueden alcanzar, dado el hecho que no ven reacciones inmediatas de su toxicidad.

El mercurio cuyo símbolo es (Hg) se encuentra líquido en su estado natural a temperatura ambiente, tiene buena conductividad eléctrica, contiene una alta densidad (13.55 g/cm^3), además de poseer la habilidad de alearse fácilmente y tendencia a formar compuestos muy tóxicos, al encontrarse en 2 posibles estados. El Mercurio inorgánico y el orgánico, el primero que es usado en la extracción del Oro, elaboración de termómetros, barómetros, obtención de soda cáustica, etc. (INGEOMINAS, 1997).

Así mismo, La PTAP de Bosconia ha tenido desde su comienzo que trabajar con niveles de mercurio, producto de la explotación minera en el sector de Vetas, las cuales drenan al río Suratá que alimenta la PTAP, por esta razón existe un pretratamiento, donde se elimina el mercurio en grandes proporciones adicionando Sulfato de Aluminio y/o ayudante de floculación para que la partículas de este metal líquido se sedimenten y lleguen al Tratamiento con un nivel de mercurio dentro de los límites a tratar según el decreto 475 de 1998.

En el mundo existe actualmente una preocupación alta por el vertimiento de mercurio a los ríos y su problemática, por lo tanto se han venido desarrollando investigaciones sobre sustancias eficaces que remuevan este componente tóxico.

La PTAP de Bosconia emplea para su remoción Sulfato De Aluminio, pero desea hacer estudios empleando algunas sustancias eficaces, las cuales han dado resultados positivos en otros países. Además de optimizar los procesos en el tratamiento de coagulación (mezcla rápida), floculación (mezcla lenta), sedimentación y filtración, donde se podrán aportar recomendaciones para un mejor funcionamiento, y con ello hablar del agua de Bucaramanga y su imagen al ser una de las de mejor calidad en el País.

Este proceso tan complejo y eficaz, es el que hace posible gozar de todos los beneficios de este recurso natural.

OBJETIVOS GENERALES

- ✓ Determinar los parámetros óptimos de funcionamiento de cada uno de los procesos del pretratamiento en el agua para la remoción de mercurio en la PTAP de Bosconia y diseñar un sistema de dosificación de Sulfato de Aluminio Líquido.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar, mediante el uso de Carbón Activado y del coagulante-floculante Sulfato De Aluminio; por medio de ensayos de laboratorio y a nivel de pretratamiento la sustancia más eficiente para remover mercurio, buscando las dosis óptimas.
- ✓ Verificar el funcionamiento de las estructuras de medición de caudal, con el fin de precipitar la dosificación antes mencionada.
- ✓ Reducir la concentración de mercurio antes del tratamiento a concentraciones ($\leq 2\mu\text{g/l}$) para dar cumplimiento al decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud Nacional.
- ✓ Mejorar por medio de pruebas cualitativas y cuantitativas, el proceso de mezcla rápida en la parte del pretratamiento.
- ✓ Diseñar un tanque dosificador de Sulfato de Aluminio Líquido y evaluar su funcionamiento dentro de la PTAP de Bosconia.
- ✓ Comprobar eficiencia del tratamiento, monitoreando la reducción de turbiedad en las estructuras existentes. Y escoger el parámetro de eficiencia.

ALCANCES

- Se logró conocer, el funcionamiento de una planta de tratamiento de agua potable, y la importancia que tienen los diferentes procesos para la producción de un agua de muy buena calidad.
- Se creó conciencia del cuidado de las fuentes hídricas, actualmente el hombre con su ritmo de vida no tiene claro el valor de los recursos naturales en su futuro y por ende vierte a estos

sustancias tóxicas, basuras, aguas residuales, y toda clase de elementos perjudiciales para la salud.

- Se pudo establecer una interacción teórica-práctica llevada a cabo en el desarrollo de este proyecto en la búsqueda de evaluar los procesos ya existentes y buscar su mejoramiento.

LIMITACIONES

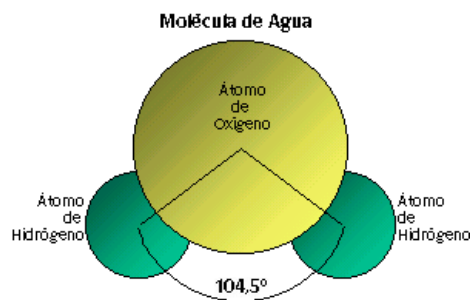
- Para los análisis de aguas con contenido de mercurio, era necesario hacerlos lo más pronto posible ya que este tiene la propiedad de evaporarse cambiando la concentración del mismo.
- La evaluación de las pérdidas de carga no fue de manera continua ya que la planta estuvo apagada en las horas de la noche.

El ensayo con trazadores evalúa la eficiencia hidráulica de diferentes estructuras pero sólo en el momento en que se hace la prueba y no representa necesariamente que los reactores se comporten así todo el tiempo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES DEL AGUA.

El agua cuya molécula está formada por dos átomos de Hidrogeno y uno de Oxigeno, se encuentra unido por una serie de enlaces covalentes a un ángulo de inclinación de las uniones Oxigeno-Hidrogeno de 104.5° , además se considera que al existir un dipolo en tal molécula, ésta puede atraer a sus vecinas por fuerzas de atracción entre cargas de diferente signo, estas fuerzas se denominan atracción dipolo-dipolo, las cuales son importantes en sustancias al estado líquido o sólido donde la cercanía molecular es muy grande.



1.1.1 Propiedades del agua.

1.1.1.1 El calor específico. La capacidad del agua para almacenar energía calorífica tiene consecuencias ambientales muy importantes una de estas es el clima. Así, las áreas geográficas cercanas a los grandes lagos, mares u océanos experimentan fluctuaciones más pequeñas de temperatura, no sólo entre invierno y verano sino que también entre el día y la noche, que aquellas áreas situadas en el interior de los continentes. El agua de estos cuerpos puede absorber gran cantidad de calor en verano, mientras que su temperatura sólo aumenta ligeramente. En invierno los cuerpos desprenden calor con lo que la temperatura del agua baja levemente y en el ambiente hay menos frío.

1.1.1.2 La tensión superficial. en el agua se manifiesta el fenómeno de capilaridad, es ahí donde fuerzas cohesivas que le corresponden a los enlaces de hidrógeno hacen posible la subida espontánea de un líquido en un tubo estrecho (capilar).

1.1.1.3 Viscosidad. El agua tiene mayor viscosidad que otros líquidos, porque sus fuerzas intermoleculares se deben a los enlaces de hidrógeno.

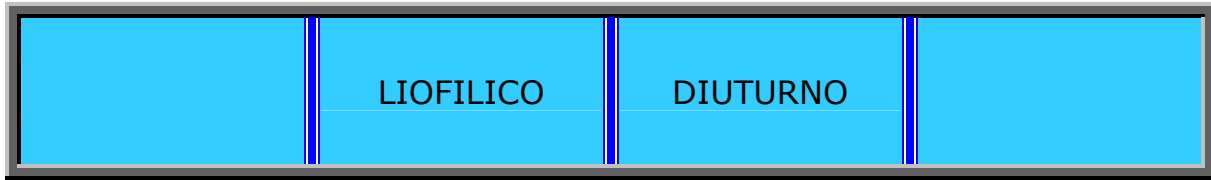
1.2 COLOIDES.

Son partículas disueltas o dispersas que miden desde aproximadamente $1\mu\text{m}$ hasta varios micrones, que pueden distinguirse al presentarse una dispersión de las partículas, luego de pasar un rayo de luz entre ella.

1.2.1 Generalidades de los coloides. A mediados del siglo XIX, el inglés John Tyndall demostró que la dispersión de la luz en la atmósfera era causada por las partículas en suspensión en el aire, este efecto sirvió para distinguir entre una disolución o solución verdadera de una dispersión coloidal. Así mismo se puede identificar, que cuando un rayo de luz que atraviesa un líquido con partículas en suspensión invisibles al ojo es dispersado, se está en presencia de un coloide, y si el rayo de luz no experimenta ninguna dispersión, el líquido es una disolución o solución verdadera.

1.2.1.1 Solución verdadera. En general las sustancias iónicas que se disuelven en un solvente están presentes como iónicas y las no-iónicas están presentes como moléculas. Se considera que una sustancia está en una solución verdadera, si la misma está disuelta en iones individuales o moléculas cuyo tamaño es menor que 0.001 micrones, un tamaño de partícula que tiende a no precipitar fuera de la solución porque la fuerza de la gravedad es insignificante. Las partículas están separadas unas de otras y cada una se mueve en forma más o menos independiente, en el solvente todas las moléculas en una solución

verdadera están en un constante movimiento al azar. **Ejemplo soluciones verdaderas:** Lavandina, Vinagre.



1.2.2 Coloides y emulsiones. Los agregados de moléculas no disueltas, forman más bien coloides que soluciones verdaderas y tales agregados son raramente más pequeños que 0.001 micrón. Un coloide es un sistema en el cual diminutas partículas, en un rango de tamaño desde 0,005 a 0.3 micrones de diámetro, se encuentran dispersas en algún medio. Los agregados y el medio en el cual los mismos están dispersos pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos. Un coloide formado por dos fases líquidas es llamado una emulsión o como se podría llamar un movimiento al azar.

En general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico, desde el punto de vista de sus propiedades. Un material coloidal puede tardar 755 días en sedimentar por tanto es importante cambiar esta condición. **Ejemplos coloides:** Vino, Sidra, Cerveza, Licores, Jugos de frutas

1.2.3 Los sistemas liófilos. Son suspensiones de partículas de tamaño coloidal; liófilo quiere decir enemigo del disolvente, lo cual significa que hay muy poca o ninguna, atracción o afinidad entre el medio y las partículas. Estos sistemas son termodinámicamente inestables en lo que respecta a la formación de grandes agregados no coloidales. Si se trata de dos líquidos, la condición inestable correspondiente constaría de dos capas líquidas separadas. Como se observa en la tabla 1.

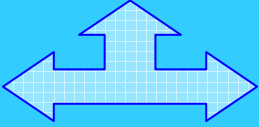
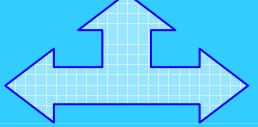
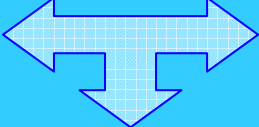
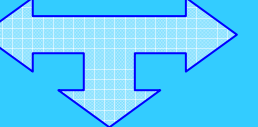
ORGANICO			INORGANICO
MOLECULAR			MICELAR
	LIOFOBICO	CADUCO	

Tabla 1 Clasificación de los coloides.

Tomado de Arboleda Valencia Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua. p40.

1.2.3.1 Los sistemas liófilos. son verdaderas soluciones de macromoléculas que tienen dimensiones en el intervalo del tamaño coloidal; en estos sistemas hay fuerte atracción entre el medio y las partículas. Entre los coloides liófilos se cuentan muchos polímeros naturales y sintéticos.

1.2.4 Forma de las partículas coloidales. La forma de las partículas coloidales influye en su comportamiento, aunque sólo puede determinarse de manera aproximada, en la mayoría de los casos puede ser muy compleja.

Como primera aproximación se pueden reducir a formas relativamente sencillas, como la esfera que además representa muchos casos reales, está caracterizada por su radio, para muchos fines se puede considerar como una esfera.

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

1.2.5.1 Propiedades cinéticas.

- ❖ Movimiento Browniano: movimiento constante e irregular de los coloides.
- ❖ Difusión: dispersión por alta energía cinética.
- ❖ 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.

1.2.5.2 Propiedades ópticas.

- ❖ Dispersión de la luz (efecto de Tyndall - Faraday): La dispersión de la luz es proporcional al tamaño de las partículas.
- ❖ 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.

1.2.5.3 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.

1.2.5.4 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, -OPO₃H₂ y -SH) y por último puede haber adsorción preferencial de iones en la superficie de los coloides o bien haber ligandos 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.

- ❖ Reemplazo isomórfico: Consiste en una imperfección en la estructura reticular del cristal, dicha imperfección es causada por la sustitución de un átomo de mayor ó menor valencia, produciendo de este modo una carga eléctrica en la partícula.
- ❖ Ionización: La mayoría de los coloides naturales contienen en la superficie grupos químicos (carboxilos, hidroxilos, etc.), que pueden ionizarse dando origen a cargas eléctricas, que normalmente son dependientes del pH.
- ❖ Adsorción preferencial: También los coloides pueden cargarse por adsorción preferencial de iones en la superficie, tal como sucede en la ionización, donde la carga primaria de los coloides produce una fuerza repulsiva que impide la aglomeración ó coagulación de las partículas cuando éstas se acercan unas a otras; las fuerzas que intervienen en este fenómeno son las Coulómbicas de repulsión y la de Van der Waals de atracción.¹

1.2.6 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.

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.

¹ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 2000. p19.

1.2.7 Acción de los coloides en la potabilización. El agua como elemento de la interacción con residuos sólidos, materia orgánica y demás fuentes de putrefacción, combina elementos que a la postre resultan perjudiciales para nuestra salud y que vienen deteriorándose con el paso del tiempo; es por esto que para asegurar la salud de la población, al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos con muchas de estas impurezas, incluyendo los ácidos húmicos que son responsables del color, los complejos arcilla-metal están en el rango del tamaño coloidal: 1 nm a 10 μm (1 nanómetro = 10^{-9}m ; 1 micrómetro = 10^{-6}m)².

El objetivo para obtener un agua limpia y sana, potable, de un agua natural, es remover los sólidos suspendidos, aglomerar y decantar los coloides y desinfectarla de organismos patógenos.

1.3 COAGULACIÓN.

Cuando el agua a tratar contiene partículas muy finas ó en estado coloidal, el empleo de la sedimentación simple resulta antieconómico ó imposible. (permanencias mayores de 6 horas no son económicas). Como ejemplo podemos mencionar que una partícula de arcilla de diámetro 0.0001 m sedimenta con una velocidad de 0.000154 mm/seg y tardaría 2 años en sedimentar 1 m.

En estos casos para la eliminación de la turbiedad se recurre al agregado de un producto químico, dando lugar a un proceso que se llama **coagulación-floculación** por el cual las partículas coloidales se aglutinan en pequeños flocs, de mayor peso que puedan sedimentar con mayor facilidad. Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar con rapidez.
- Remoción de color.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.

² Ministerio de Salud Nacional, Decreto 475 de 1998.

- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

Los términos coagulación y floculación son frecuentemente usados como sinónimos, significando ambos el proceso de aglomeración de partículas. En realidad, ambos términos tienen distinto significado. Se denomina **coagulación** al proceso de adicionar los productos químicos al agua (coagulantes), para reducir ó anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión. En cambio, **floculación** es la aglomeración de las partículas por efecto de un movimiento lento del agua, para formar partículas de mayor tamaño (flocs) que puedan sedimentar por gravedad.

Las partículas coloidales tiene un gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio circundante (Es una propiedad características de los coloides) dando como consecuencia partículas cargadas eléctricamente.

Las partículas coloidales que producen la turbidez y color de las aguas superficiales están cargadas negativamente, pudiéndose representar dicha partícula con como una esfera con cargas negativas, rodeadas por una capa constituida por iones positivos que se mueven solidariamente con la partícula, por la cual se la denomina capa fija y una capa difusa de iones positivos y negativos. La carga eléctrica de la partícula genera las siguiente

1.3.1 Potencial de Nerst: Diferencia de potencial entre la pared de la partícula y el seno del liquido.

1.3.2 Potencial Zeta : Diferencia de potencial entre la superficie externa de la capa fija y el seno del liquido. El valor del potencial Z determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas.

En consecuencia de acuerdo a lo descrito se puede decir que las fuerzas que actúan y que dan las características específicas sobre un coloide son:

- Fuerzas electrocinética o de repulsión: Las derivadas del potencial Zeta o de repulsión.
- Fuerzas debidas a la atracción de las masa o llamadas de Van der Waals.
- Fuerzas debidas a la energía cinética del movimiento Browniano.

Las dos primeras son las mas importantes y de mayor valor. Las fuerzas de Van der. Waals porque estas, producen la inestabilidad de la dispersión coloidal y las fuerzas electrocinéticas la estabilidad de la misma.

1.3.3 Desestabilización de los coloides. La desestabilización de las partículas suspendidas (coloides), consiste en eliminar las fuerzas de repulsión existente entre ellas; esto se hace mediante la adición adecuada de coagulante el cual desencadena una serie de reacciones químicas y/o físicas entre el coagulante, la alcalinidad, el agua y la superficie de las partículas, ésta modificación hace que tiendan a juntarse unas con otras requiriendo ser transportadas masivamente ya sea por floculación o adsorción. Existen cuatro formas de desestabilizar coloides:

1.3.3.1 Adsorción y neutralización de cargas. La adsorción de los contraiones del coagulante, hace que se neutralicen las cargas de la superficie del coloide estos efectos se relacionan con la compresión de la doble capa. La neutralización de coloides liofóbicos se logra:

- ✓ Por el cambio de concentración de los iones que determinan el potencial del coloide, cuando se añade un electrolito a una solución acuosa, la concentración de iones en la capa difusa se incrementará y el espesor de esta se reduce llevando a una

disminución del potencial zeta, donde las fuerzas de atracción serán efectivas causando la desestabilización del coloide.

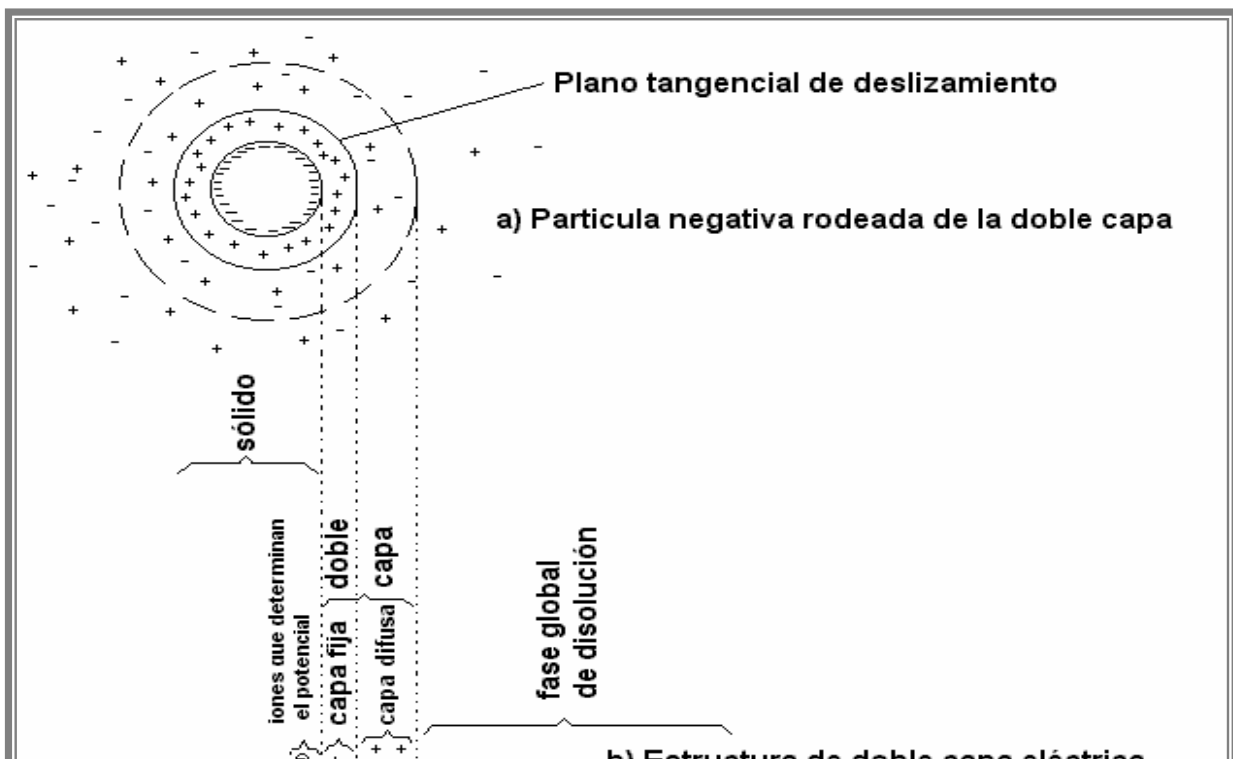
- ✓ Por la adsorción de iones de carga opuesta en los que se encuentra el potencial; ya que son capaces de reemplazar a estos en la capa adherida.

Los coagulantes usados para cumplir con la neutralización tienen una fuerte tendencia a adsorberse la superficie de las partículas, esto se debe a:

- La poca disolución del coagulante.
- La afinidad química del coagulante es decir: la mayoría de los coagulantes usados para este proceso suelen adsorberse en la superficie al punto en que la carga neta superficial quede invertida y en algunas ocasiones puede ser mayor, hasta que la suspensión se reestabilice.

1.3.3.2 Captura de un precipitado de hidróxido metálico. Al adicionar altas dosis de coagulante en el agua se excede el límite de solubilidad del agregado, esto hace que se precipiten los hidróxidos formados por la reacción de alcalinidad-agua con el coagulante, resultando un precipitado que ocasiona una aglomeración de partículas por barrido atrapando los coloides.

Figura 1 Estructura y potenciales de un coloide.



1.3.3.3 Por adsorción y puente interparticular. Los polielectrolitos utilizados en el tratamiento de agua son compuestos orgánicos de alto peso molecular (llamados polímeros), que tienen una fuerte tendencia a adsorber en la superficie la mayoría de las partículas de una suspensión acuosa; presentan como subunidad los monómeros que forman cadenas poliméricas, las cuales son: lineales, ramificadas o con enlaces cruzados añadidos a su complejidad.

Cuando los polielectrolitos entran en contacto con las partículas coloidales, algunos de sus grupos reactivos adsorben la superficie de la partícula y otras porciones se extienden dentro del agua adhiriéndose a otros coloides formando puentes partícula-polímero-partícula, formando un floc que crea puentes con otras partículas hasta alcanzar un tamaño óptimo y luego precipitan con facilidad.

El exceso de polímero puede llevar a la reestabilización de la turbiedad, lo mismo ocurre si se produce una agitación violenta que pueda romper las uniones partícula-polímero.

1.3.4 EL coagulante. El coagulante es una sustancia química que al agregarse al agua produce la desestabilización de las partículas en suspensión, induciéndolas a aglutinarse hasta formar partículas más grandes y pesadas que luego serán removidas en otros procesos.

Existen dos tipos de coagulantes:

- ▲ Los coagulantes metálicos.
- ▲ Los polielectrolitos.

1.3.4.1 Los coagulantes metálicos. En los coagulantes metálicos la polimerización se inicia cuando este se agrega al agua para luego realizar la adsorción de los coloides.

Se clasifican de dos maneras:

- ✓ Sales de aluminio.
- ✓ Sales de hierro.

En este capítulo se referirá al comportamiento de las sales de aluminio por ser las de mayor uso en PTAP.

Cuando se agrega *sal de aluminio* al agua, se desencadena una serie de reacciones con la alcalinidad y el pH de acuerdo a los procesos de hidrólisis y polimerización.

Forma un floc ligeramente pesado; es útil por su bajo costo y por ser de fácil manejo.

QUÍMICA DE COAGULACIÓN CON Al (III)

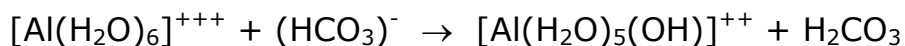
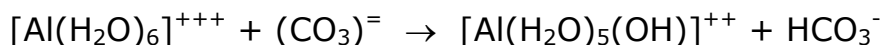
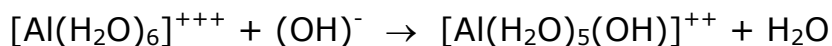


Los iones de aluminio hidratado $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ actúan donando un protón (H^+) reaccionando con las bases que encuentran en el agua así:

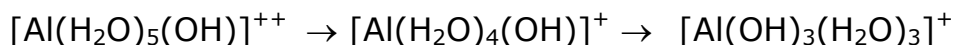
- Con la alcalinidad:
 OH^- , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^-
- La molécula de agua

Como las bases son más frecuentes reaccionaran siempre antes con ellas, que con la molécula de agua por lo tanto habrá un consumo y descenso del pH³.

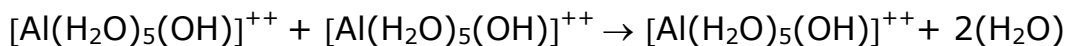
REACCIONES CON LA ALCALINIDAD



$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{++}$ es un compuesto inestable y transitorio que se hidroliza rápidamente reemplazando un H_2O por un $(\text{OH})^-$ de la siguiente manera:



y como resultado un hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ insoluble que precipita a ciertos valores de pH y que puede no tener carga o tenerla negativa. Las especies que contienen un solo ión de aluminio reaccionan así:



³ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 2000. p52.

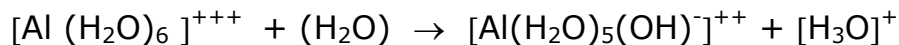
Esta reacción de polimerización continua con el tiempo, formando compuestos tales como $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$, y finalmente, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$ ó $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ según el pH.

Tanto los iones de aluminio hidratados como los compuestos poliméricos pueden ser adsorbidos rápidamente por las partículas del agua, produciendo su desestabilización. Los hidróxidos de aluminio son, en cambio, menos efectivos.

La alcalinidad es un factor importante, ya que si la alcalinidad (medida de la capacidad del agua para neutralizar acidez) del agua a tratar es baja, en su reacción con Al(III) disminuye el pH y la alcalinidad actúa como una solución amortiguadora que evita el descenso brusco del pH, por lo tanto se haría necesario la adición de una base y la utilización de una solución coagulante de menor acidez.

REACCIONES CON EL AGUA

Cuando los iones gestores de la alcalinidad son consumidos, el ion aluminio hidratado reacciona con el agua de la siguiente manera:



Se considera que el $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{++}$ es un compuesto transitorio, que se hidroliza para producir compuestos poliméricos hasta llegar al, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$ neutro o $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ negativo.

INFLUENCIA DEL pH

El pH es de vital importancia, ya que en las reacciones entre el agua y el coagulante metálico se encuentran los iones (H^+) y (OH^-), por lo tanto son dependientes del pH. Si la mezcla es muy ácida o muy alcalina afectará la formación del floc; cada coagulante tiene un rango de pH el cual utiliza una dosis mínima para producir en un corto tiempo una buena coagulación.

A pH bajos se producen las siguientes desventajas:

- La coagulación no es eficiente.
- Hace el agua corrosiva.

A pH altos:

- Hace el agua incrustante.

1.3.5 Polielectrolitos.

Clasificación de los polielectrolitos:

1. Según su origen:

- ✓ Naturales.
- ✓ Sintéticos.

2. Según su carga:

- ✓ Iónicos.
- ✓ No iónicos.

3. Según su uso:

- ✓ Coagulantes.
- ✓ Floculantes.

1.3.5.1 Polímeros Naturales. formados por compuestos orgánicos naturales los cuales tienen la ventaja de poseer baja toxicidad. Es de uso común en países desarrollados donde estos compuestos son más baratos que las sales hidrolizables.

Algunos de los compuestos que tienen buen rendimiento en plantas de tratamiento son:

- Las semillas de moringa oleífera.
- Los almidones.
- Los compuestos algínicos.
- Los derivados de la tuna y el nopal.
- Las escamas de pescado.

1.3.5.2 Polímeros Sintéticos. Son compuestos orgánicos producidos por medio de transformaciones químicas, derivadas del carbón y el petróleo que Pueden ser coagulantes o floculantes.

1.3.5.3 Polímeros Iónicos. Pueden ser catiónicos(carga positiva) o aniónicos(carga negativa).

1.3.5.4 Polímeros no iónicos. Sin carga o con baja tendencia a desarrollarla.

1.3.5.5 Polímeros coagulantes. Son generalmente catiónicos y en pocas excepciones son de bajo peso molecular. Funcionan por adsorción en la superficie de las partículas suspendidas y posteriormente forma puentes entre ellas.

1.3.5.6 Polímeros Floculantes. son polímeros aniónicos o no iónicos, tienen relativamente alto peso molecular por lo tanto forma puentes de interconexión entre partículas de longitud apreciable.

Los polímeros pueden ser empleados de diferentes maneras:

1. Coagulante primario: es el único coagulante pero no es tan efectivo como las sales de aluminio, para remover suspensiones causantes de color y turbiedad ya que la coagulación no se realiza de una manera eficiente, la dosis aplicada debe ser entre 1 y 5 mg/l.
2. Ayudantes de coagulación: se agregan antes del coagulante metálico; allí los polielectrolitos se adhieren a las partículas antes del coagulante, cuando se produce la hidrólisis del Al(III) puede ser adsorbido en sitios disponibles en las macromoléculas poliméricas, sustrayendo eficacia a la coagulación. La dosis empleada es entre 0.1 y 2 mg/L, porque poseen una cantidad enorme de segmento.
3. Ayudantes de floculación: se adiciona de 15 a 60 segundos después de agregado el coagulante, su objetivo es facilitar y acelerar el aglutinamiento de flocs pequeños a granulados y pesados de rápida sedimentación.
4. Ayudantes de filtración: las dosis bajas de polímeros no iónicos de alto peso molecular(0.005-0.05 mg/L) se aplican antes de la filtración para mejorar la eficiencia del mismo. Al adicionar bajas dosis de polímero no iónico para toda o parte del agua de retrolavado del filtro, ayuda a la filtración una vez este entra en servicio.

Cuando se emplean polielectrolitos debe tenerse en cuenta ciertos aspectos recomendados por la norma RAS 2000:

5. Es necesario conocer las características físicas y químicas del polímero (si es catiónico, aniónico o no iónico).
6. Los polielectrolitos no son igualmente efectivos en todas las aguas.
7. La sobredosis de polielectrolito produce la reestabilización.
8. Deben agregarse en solución diluida para asegurar una completa mezcla.

Lo anterior es de vital importancia ya que se debe tener en cuenta la clase de polielectrolito y la dosis a aplicar, actualmente en algunos países se prohíbe la utilización de éstos para tratamiento de agua y en otros se tienen límites restrictivos sobre las tasas de aplicación por ser de potencial riesgo para la salud. Desde los años ochenta la USEPA

(United States Environmental Protection Agency) apoyó técnica y económicamente en la iniciación de una norma estándar voluntaria preparada por la NSF(United States National Sanitation Foundation) en las que se listan una serie de productos poliméricos, aceptados para su uso en plantas de tratamiento y la dosis máxima de cada producto.

1.4 PROCESOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Según el decreto 475 del 10 de marzo de 1998 en el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable en Colombia, la purificación del agua "es un conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el presente decreto"; de acuerdo a ello los procesos utilizados comúnmente son la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

1.4.1 Coagulación. Es un proceso complejo que comprende una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad, el pH y el agua misma , inicia desde el momento en que se agregan los coagulantes al agua.

La coagulación es la misma desestabilización del coloide comprendida en dos fases; la primera es la adsorción del coagulante que actúa sobre las fuerzas de repulsión, la segunda es la formación de puentes químicos en la superficie de los coloides, posteriormente la formación de flocs causadas por las colisiones entre éstas, conocido como floculación, la remoción de los flocs o flóculos se llevará a cabo mediante otros procesos como la sedimentación y la filtración o la combinación de los dos.

La finalidad del proceso es:

- Remoción de ciertos materiales solubles por adsorción o precipitación.
- Remoción de material orgánico natural presente en todas las aguas como producto de lixiviados de suelos, su difusión a través de los sedimentos o desprenderse del plancton y bacterias; puede estar asociado con metales tóxicos y productos químicos orgánicos sintéticos.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados en la coagulación.
- Eliminación de sustancias productoras de olor y sabor causadas por materia orgánica en descomposición, algas y microorganismos.
- Destrucción de algas y plantas en general.

Los principales factores que influyen en la coagulación son:

- Las características del agua tales como el pH, la temperatura, la alcalinidad, la turbiedad y color.
- Características de las sustancias químicas empleadas en el proceso(tipo, dosis y concentración).
- Características de las unidades de la planta: intensidad de la mezcla rápida y tiempo de retención.

Los coagulantes deben ser aplicados en tanques, cámaras, canales o tuberías que aseguren una dispersión homogénea de éste, por ello la intensidad de la mezcla juega un papel preponderante ya que debe ser lo más rápida y homogénea posible para garantizar la desestabilización de los coloides; (las reacciones de polimerización de los coagulantes son casi instantáneas, así como la velocidad de adsorción del mismo por parte de las partículas), su duración es muy corta ya que las reacciones se completan en menos de 1 s en coagulación por adsorción-desestabilización, y de 1 a 7 s por coagulación por precipitación de hidróxidos⁴.

⁴ PEREZ PARRA, Jorge. Manual de Potabilización del agua. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.2000. p66.

El grado de intensidad de la mezcla se mide por el gradiente de velocidad(intensidad con que es agitada en la unidad) por lo tanto deben ser altos, el manual "Water Treatment Plant Desing" de la AWWA(American Water Works Association) recomienda para la mezcla rápida tiempos de 10 a 30 segundos y gradientes de velocidad mayores a 700 s^{-1} y que varían con el tiempo de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2 Tiempos y gradientes óptimos de mezcla rápida.

Tiempo (s)	G(s^{-1})
20	1000
30	900
40	790
>40	700

El punto de aplicación del coagulante es aquel que produzca más turbulencia, esto se dedujo a través de varios ensayos de laboratorio así como la experiencia de operación de Plantas de Tratamiento, donde se encontró que se emplean mayores dosis de coagulante cuando es aplicado superficialmente y menor cuando esto sucede en un sitio de mayor agitación.

La coagulación es el proceso más importante en la purificación del agua su efectividad depende de varios factores entre ellos están:

- ❖ Las fallas en la aplicación
- ❖ La dispersión del coagulante
- ❖ La utilización del coagulante inapropiado, en la dosis de polímero(si es empleado).

1.4.2 Floculación. El objetivo de la floculación es promover la interrelación de las partículas y formar agregados que pueden ser eficientemente removidos en otros procesos como la sedimentación, la filtración o la combinación de los mismos. Para que la floculación sea un proceso eficiente las partículas deben estar desestabilizadas lo cual se logra en la coagulación, por ello estos dos mecanismos están estrechamente unidos.

Existen dos tipos de floculación la primera es la pericinética y la segunda es la ortocinética.

La floculación pericinética se presenta por el movimiento Browniano⁵; actúa al comienzo del proceso de floculación con gradientes de velocidad muy lentos, alrededor de $0.01s^{-1}$ y en partículas de tamaño menor de $1\mu m$.

La floculación ortocinética se produce por gradientes de velocidad inducidos ya sea hidráulica o mecánicamente que provocan partículas con diferentes velocidades de movimiento produciendo su contacto; sucede generalmente en partículas con tamaños superiores a $1\mu m$.

Existen varios factores que afectan la floculación ellos son:

- ✓ Dosis de coagulante.
- ✓ Gradiente de velocidad o intensidad de la mezcla.
- ✓ Tiempo de floculación.
- ✓ Calidad del agua.

Dosis de Coagulante: la floculación y la coagulación son procesos semejantes de mezcla; la dosis juega un papel importante tanto en la coagulación como en la floculación ya que si no se tiene una dosis adecuada el resultado sería una pobre remoción de turbiedad, es decir si ésta se excede corre el riesgo de que en la floculación las partículas en suspensión volverían a estabilizarse, si la dosis es menor que la óptima

⁵ Las partículas en suspensión se mueven a causa del constante bombardeo de las moléculas de agua que las rodea.

entonces no se presentaría una desestabilización casi completa de los coloides.

Calidad del agua: la concentración y naturaleza de las partículas tiene influencia en el proceso, generalmente es más fácil flocular aguas con turbiedades altas y que presentan amplia distribución de tamaños, que aquellas con partículas con gran tamaño (arena fina) que inhiben el proceso.

Tiempo de floculación: es aquel que permite una formación de floc pesado, fácil de remover; existe un tiempo óptimo que se determina a través de la prueba de jarras y varía según el tipo de agua a clarificar; este valor se obtendrá cuando haya un mínimo de turbiedad residual, lo que quiere decir que la permanencia en el agua de un tiempo superior o inferior producirían malos resultados.

Gradiente de velocidad: es un factor proporcional ya que a medida que el gradiente de velocidad aumenta la aglomeración de las partículas también, pero a su vez las partículas desestabilizadas van cambiando sus propiedades (forma, densidad, etc) existe un máximo esfuerzo cortante que puede resistir el floc sin romperse, lo que indica que los flóculos crecen hasta un tamaño óptimo y por encima de este valor se rompen en partículas más pequeñas.

Tekippe y Han realizaron estudios teórico-prácticos para determinar la influencia del gradiente de velocidad, en los compartimientos de un floculador y concluyeron que lo más favorable es tener gradientes de velocidad decrecientes en el tiempo para obtener turbiedades residuales menores.

En el funcionamiento de floculadores es de vital importancia tener en cuenta las estructuras de entrega del agua de éste al sedimentador, el gradiente de velocidad debe ser menor a la última cámara de floculación para no producir un rompimiento del floc, la resuspensión de las partículas y la disminución de la eficiencia del tratamiento.

En la práctica existen varios tipos de floculadores, algunos de ellos son:

Floculador hidráulico: utiliza la disipación de energía como base de la floculación. Este posee varias ventajas como:

- ❖ Ahorro en gastos de consumo de energía, mantenimiento de motores, etc.
- ❖ Se puede tener un gran número de compartimientos, lo que reduce el tiempo de floculación y mejora sustancialmente la calidad de tratamiento de agua.
- ❖ Son más flexibles en las variaciones de caudal que llega a la planta.
- ❖ Aprovecha la energía hidráulica que tiene el agua para hacer la agitación.

Las desventajas que tiene son:

- ❖ Acumulación de lodos en la parte inferior de los compartimientos.
- ❖ Cuando se utiliza floculadores hidráulicos de flujo vertical tiene el inconveniente de ser profundos para caudales altos, 4.5 metros para un caudal de 1000 Lps.

Floculadores Mecánicos: son aquellos que requieren de energía para mover un agitador(hélices especiales, paletas fijas, etc) en una serie de tanques en donde se transfiere al agua el gradiente de velocidad tal que no se rompa el floc e impida que éste se precipite; cada una de las cámaras de floculación tiene una velocidad decreciente en el tiempo.

Los floculadores mecánicos de paletas son los más utilizados en plantas de tratamiento de éste hay tres clases de floculadores: el horizontal, el vertical y el inclinado.

El floculador mecánico horizontal tiene la ventaja de no contribuir a la formación de corto circuitos⁶ por que las paletas giran a la dirección contraria a la del fluido y tiene la desventaja de requerir un pozo seco al lado para acomodar el motor, lo que no le ocurre al vertical que se puede acomodar el motor en la parte superior sobre el eje facilitando el espacio y el mantenimiento, pero induce a rotar el agua en el mismo sentido del caudal lo que tiende a la formación de cortocircuitos.

⁶ Fenómeno que ocurre cuando parte del volumen que entra, atraviesa la unidad con toda rapidez que sale instantáneamente, sin permanecer almacenado en el mismo. El flujo tiene una velocidad infinita y un tiempo de retención igual a cero.

1.4.3 Sedimentación. consiste en la remoción de partículas sólidas por acción de la gravedad.

La sedimentación comprende varios modelos de acuerdo a tipo de partículas en suspensión; en la tabla 3 muestra los diferentes partículas a sedimentar y el proceso que se sigue en la clarificación del agua.

La sedimentación tipo 1 comprende las partículas discretas es decir que no cambian de forma y densidad a medida que se precipitan, generalmente son arenas y los diámetros oscilan entre 0.015-0.15cm, esta sedimentación se presenta por acción de la gravedad.

Por el contrario en la sedimentación tipo 2 o de partículas floculantes a medida que transcurre la sedimentación en la partícula ocurren cambios de tamaño y densidad^[1].

El comportamiento de los modelos tipo 3 y 4, junto con los sólidos que se analizan debido a las interferencias mutuas entre partículas hace que estas formen un manto de lodos que flota en el líquido.

Según CAMP se puede considerar en la sedimentación tipo 3, que cuando la concentración volumétrica de sólidos excede un 0.5%(5000ppm) en volumen se presenta una reducción de la velocidad de asentamiento produciéndose una sedimentación autointerferida; según Bond no hay una definición precisa para indicar el inicio de la interferencia ya que esta depende de las características de la suspensión.

Tabla 3 Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación.

Clarificación por sedimentación tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o

			presedimentadores.
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre si en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que vá modificándose lentamente con el tiempo.	Compactación de depósitos de lodos.

Tomado de ARBOLEDA V, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 1994.

Los parámetros que rigen el comportamiento de un sedimentador son:

9. La carga superficial: definida como la diferencia entre el caudal de agua a tratar y el área horizontal del sedimentador, también se conoce como la rata de desbordamiento superficial y también depende de otros factores como la calidad del agua, la naturaleza y formación del floc, la forma y tipo de sedimentador adoptado, el control del proceso mismo, coagulante y del grado de eficiencia deseado.
10. El tiempo de retención hidráulico: es el tiempo en que demora una partícula en recorrer la altura total del sedimentador y llegar a la zona de lodos. Sería igual a la altura del sedimentador dividido en la velocidad de asentamiento dada(velocidad de trabajo del sedimentador).

En la presente investigación se hará énfasis en los sedimentadores convencionales y los de alta rata que son los existentes en la PTAP de Bosconia.

1.4.3.1 Sedimentadores convencionales: para el desarrollo teórico de estos HANZEN y CAMP en 1946 introdujeron las siguientes hipótesis de diseño para tanques ideales:

1. El flujo es estable y uniforme.
2. La concentración de partículas del mismo diámetro es homogénea y constante en todos los puntos de la sección transversal en la zona de entrada.
3. El asentamiento de las partículas ocurre idénticamente si el líquido estuviera en reposo.
4. Las partículas que llegan al fondo quedan removidas y no se resuspenden.
5. Las partículas son discretas, el flujo y la velocidad de asentamiento son constantes; la precipitación de la partícula tiene un comportamiento lineal.

Este tipo de sedimentador se divide en cuatro zonas: la primera es la zona de entrada, segunda la zona de sedimentación, tercero y cuarto zona de lodos y zona de salida.

Zona de entrada: es de gran importancia ya que es una zona de disipación de energía, donde se debe pasar de un gradiente aproximadamente de $20-40 \text{ s}^{-1}$ a uno menor de 1 s^{-1} sin perturbaciones grandes; generalmente se diseñan pantallas con orificios circulares como estructura de entrada evitando la presencia de chorros de agua que provoquen movimientos rotacionales de masa u otras corrientes.

Zona de sedimentación: se diseña según las hipótesis anteriormente expuestas; en esta zona se encuentran tres clases de partículas.

La partícula límite(crítica) es aquella que su velocidad de descenso es la crítica, esta partícula sedimenta cuando el agua que la introdujo llega a la salida.

Cuando una partícula tiene una velocidad mayor que la partícula crítica , se sedimenta antes que el agua que la introdujo llegue a la salida.

Partícula parcialmente removida que tiene una velocidad de sedimentación menor que la crítica y no alcanzan a llegar al fondo antes que el agua que la introdujo llegue a la salida.

Zona de lodos: la cantidad de lodos varía según la proporción y si son usados los coagulantes.

Los dos aspectos que se tienen en cuenta son: la velocidad horizontal del agua en el fondo que no debe ser mayor (para evitar la resuspensión de partículas y generalmente varía entre 0.5cm/s-3cm/s) y la remoción de lodos.

Zona de salida: la zona de salida es de especial atención ya que se busca mejorar el flujo en la parte final del sedimentador, reducir las velocidades ascendentes del agua en la dirección de la estructura, disminuir el transporte de flocs, reducir el tirante del agua y por lo tanto el arrastre de partículas.

Las estructuras de salida generalmente son vertederos de rebose lisos o dentados, según la forma de la cresta y canaletas de rebose que pueden ser transversales o paralelas a la dirección del flujo, se recomienda que no trabajen ahogadas para evitar la resuspensión del floc debido al aumento de velocidad de salida; los orificios tienen la ventaja de recolectar el agua sin crear disturbios y producen el mínimo de pérdidas de carga, pueden distribuirse en una o dos hileras en todo el ancho del tanque sedimentador.

Ahora bien es importante aclarar que en la práctica los sedimentadores convencionales no se comportan como tanques ideales, como lo visualizaron HANZEN y CAMP estos son afectados por el oleaje producido por el viento, los cambios de temperatura, la variación de la densidad del agua y las corrientes cinéticas (producidas por alteraciones en la zona de entrada, obstrucciones en la zona de sedimentación y diseño impropio en la zona de salida).

1.4.3.2 Sedimentadores de alta rata. Consiste en una serie de tubos (pueden ser circulares, cuadrados, trapezoidales, hexagonales) o laminas (planas) paralelas colocadas con un ángulo de inclinación en un tanque.

El inconveniente de utilizar sedimentadores convencionales es que ocupan grandes espacios y su período de retención es mayor, si se desea trabajar con una carga superficial mayor de partículas más finas que la crítica, escapan sin sedimentarse.

Sus características son las siguientes:

11. Sedimentadores de poca profundidad, entre 3 a 5 metros con un número considerable de celdas superpuestas para tratar altos volúmenes de agua.
12. Tiempos de retención cortos entre 2 y 6 horas.
13. El fondo del decantador es inclinado a diferencia del convencional que es horizontal.

El parámetro más importante en los sedimentadores de alta rata es el área horizontal, depende más de ella que de la profundidad.

Hansen sugirió que si se colocaba una bandeja con una altura menor que H se recogían partículas con velocidades de sedimentación menores a la crítica, mejorando el proceso.

Estudios realizados por FISCHERSTROM(1955) sugieren la utilización de flujo laminar (número de Reynolds $R_E < 500$) para obtener una buena eficiencia hidráulica.

El caudal que entra a las celdas lo hace de manera ascendente de acuerdo al ángulo de inclinación de los tubos o placas. El sedimentador de alta rata se divide en tres zonas:

Zona de entrada: se caracteriza por ser una estructura que no permite el desplazamiento horizontal del agua, disminuye el gradiente de velocidad para evitar el rompimiento del floc y lo distribuye uniformemente para evitar corto circuitos y zonas muertas.

Zona de salida: son estructuras encargadas de recolectar el agua en toda su extensión ocupada por las placas, consisten en canaletas con vertederos o tuberías perforadas que se fijan en el nivel del agua y

deben garantizar la presencia de flujo del pistón (todas las partículas tienen igual tiempo de detención) en el sedimentador.

Zona de lodos: se caracteriza a la vez por tener dos zonas: la primera formada por los lodos de suspensión en la parte inferior de las placas, la segunda por una zona inferior compuesta por una tolva donde se depositan los sólidos sedimentados para su evacuación.

Proyectar la cantidad de lodos resulta una tarea complicada ya que depende de las condiciones del agua situación que no se puede prever, de todas formas es importante tener en cuenta que los lodos no se deben almacenar tanto tiempo porque se compactan y removerlos es difícil añadido a la descomposición de los mismos producen gases que hace que floten hasta la superficie.

Generalmente la zona de lodos debe tener un volumen mínimo igual al 50% del volumen total del reactor para que los procesos de llenado y vaciado no sean demasiado frecuentes⁷.

1.4.4 Filtración: se define como la remoción de partículas y microorganismos que no fueron retenidos en el proceso de sedimentación, básicamente consiste en pasar el efluente a través de un tanque que contiene un lecho granular.

Es el encargado de remover a parte de flóculos relativamente grandes(1 mm de diámetro), coloides, bacterias y virus en tamaños inferiores a 10^{-3} mm razón importante para la clarificación del agua.

En la filtración ocurren una serie de eventos o fenómenos que describen lo que sucede en el medio granular cuando pasa el agua a tratar; primero cuando entra agua con partículas relativamente grandes, estas quedan retenidas en el medio filtrante adhiriéndose a la superficie de los granos y tienen una resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo, teniendo en cuenta la magnitud de las fuerzas que mantiene pegadas las partículas a cada grano del lecho.

⁷ Seminario internacional sobre tecnología simplificada para potabilización de agua memorias. Cali Colombia agosto de 1987. p627.

Ahora si la partícula es pequeña, es decir su tamaño es menor que los elementos que componen el medio granular entonces la filtración se lleva a cabo por dos etapas como lo sugiere O'MELIA y STUMM(1967)

- Transporte de las partículas dentro de los poros.
- La adherencia de los granos al medio granular.

Por la complejidad del proceso de filtración no se ha determinado cual de los dos la gobierna, pero se tiene claro que más de un mecanismo o forma entra a transportar y adherir las partículas al medio granular.

Es importante anotar que los orígenes varían si la filtración se presenta en la capa superficial del lecho o en la profundidad del mismo, en la primera actúa primordialmente el cernido y en el segundo es de menor importancia este mecanismo.

Los mecanismos de transporte son:

- ✓ Cernido.
- ✓ Intercepción.
- ✓ Difusión.
- ✓ Sedimentación.
- ✓ Impacto inercial.
- ✓ Acción hidrodinámica.

Cernido: se presenta en la capa superficial del lecho cuando la partícula es de mayor tamaño que los poros del lecho filtrante formando una película de sólidos removidos que se van comprimiendo y su tamaño aumenta con el tiempo, a medida que pasa la filtración la resistencia al esfuerzo cortante falla produciendo un desprendimiento y arrastre a un lugar más profundo del lecho hasta quedar totalmente removida.

Sedimentación: es la precipitación de las partículas grandes y densas en áreas especiales que el medio filtrante ofrece para que los sólidos suspendidos queden depositados, se da en zonas donde la carga hidráulica sea baja.

Intercepción: la remoción de los flóculos se lleva a cabo primero por contacto de estas con la superficie de los granos o con el floc ya adherido a ellos.

Impacto inercial: cuando la partícula es grande y la velocidad de transporte es alta, al pasar por un obstáculo la partícula continúa su trayectoria original impulsada por fuerzas de inercia y al chocar con el grano del lecho queda adherido a él.

Difusión: por acción del movimiento Browniano, las partículas tienen la tendencia de difundirse en áreas de menor concentración, por esta razón se encuentran partículas adheridas a los granos en lugares donde la velocidad es igual a cero.

Acción hidrodinámica: se produce por acción de las partículas de diferentes tamaños y formas teniendo en cuenta que el escurrimiento del efluente no es uniforme.

Para que los mecanismos de adherencia resulten efectivos o no dependen de una serie de factores físicos, químicos y electroquímicos, los más importantes son:

Fuerzas de Van der Waals: son la primera causa de la adhesión, según V. MACKRLE y S. MACKRLE(1961) " dentro de una distancia Δr desde la superficie de cada grano, hay un volumen alrededor de cada grano que puede designarse como espacio de adhesión y las partículas suspendidas que entran en el espacio serían removidas por el flujo, a medida que sean atraídas para adherirse a la superficie de los granos".

Fuerzas electrostáticas: según KAUFMAN(1969)⁸:

- Si los granos del lecho tienen una carga negativa y el floc posee una carga positiva; se presenta una fuerza atractiva entre el medio y la partícula.
- Granos del medio son de carga negativa y el floc es de carga neutra, la barrera de energía desaparece y todo contacto se puede esperar que termine en adhesión.

⁸ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 2000. p376.

- Granos del lecho son de carga negativa y el floc también lo es, existen fuerzas de repulsión pero las fuerzas hidrodinámicas pueden vencer la barrera de energía para acercar los granulos y que actúen las fuerzas de Van der Waals, pero tiene poca probabilidad de adhesión.

Puente químico: como se explicó en el proceso de desestabilización de coloides que es efectuada por los productos de la hidrólisis se determinan valores de pH y se polimerizan.

Las cadenas poliméricas dejan sus segmentos extendidos en el agua, los cuales pueden ser adsorbidos por otras partículas u otros sitios vacantes en los granos del filtro que es independiente de las fuerzas de Van der Waals y de las cargas electrostáticas.

Los mecanismos de adherencia dependen del proceso de coagulación y de las características químicas del agua; mientras que el mecanismo de transporte depende primero del filtro(características granulométricas del lecho), de la rata de filtración, de la temperatura del agua, densidad y tamaño de las partículas suspendidas.

Tabla 4 Clasificación de los filtros.

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado.	Según el sentido del flujo.	Según la carga sobre el lecho.
Rápidos 120-360m ³ /m ² /día	1. Arena : (h=60-75 cm).	Ascendentes.	Por gravedad.
	2. Antracita: (h=60-75cm).	Descendentes.	Por presión.
	3. Mixtos: Antracita(35-50 cm). Arena(25-35cm).	Flujo Mixto.	
Lentos 7-14 m ³ /m ² /día	Arena (h=60-100cm).	Descendente. Ascendente. Horizontal	Por gravedad.

Tomado de ARBOLEDA V, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 1994.

Componentes de un filtro:

1. Medio filtrante: es un lecho de arena, antracita, granate, carbón activado.
2. Canales y tuberías para la entrada y salida del agua filtrada.
3. Canales y tuberías para la entrada y salida del agua de lavado del filtro.
4. Soporte del lecho granular: generalmente es grava y se encarga de distribuir uniformemente el agua además retiene impurezas.
5. Equipos y accesorios de control y monitoreo.

Filtros rápidos: se utilizan en plantas que trabajan con caudales grandes, su rata de filtración es alta, requiere que el efluente sea tratado posteriormente con la desinfección y su eficiencia depende de los tratamientos previos.

Factores que influyen en la filtración rápida:

- ▲ La velocidad o rata de filtración.
- ▲ Tipo de suspensión:
- ▲ Características físicas(volumen, tamaño y densidad)
- ▲ Características químicas(pH, potencial Z, temperatura).
- ▲ Dureza o resistencia del floc.
- ▲ Al medio filtrante: características.
- ▲ Tamaño efectivo.
- ▲ Coeficiente de uniformidad.
- ▲ Peso específico.
- ▲ Espesor de las capas.
- ▲ Forma.

El pH es factor importante en la filtración ya que no necesariamente el pH óptimo de filtración sea igual al pH optimo de coagulación, por lo que a medida que aumenta el pH la fuerza entre granos del lecho y partículas en suspensión si son atractivas en las capas superiores se hace repulsiva en las capas inferiores y podría deberse a ello el

incremento en la turbiedad del efluente, conclusión no se debe agregar cal antes de la filtración.

Los filtros rápidos tienen dos formas de operación: tasa constante y tasa declinante.

1.4.4.1 Filtración a tasa constante. se llama así debido a que el filtro opera a un caudal más o menos constante, a medida que transcurre la filtración el lecho se va colmatando se incrementan las pérdidas de carga por lo que tiene una altura dispuesta para tal fin.

1.4.4.2 Filtración a tasa declinante. Son las más utilizada en plantas de tratamiento su procedimiento inicia cuando el filtro prolonga su servicio y el medio granular disminuye su permeabilidad; como consecuencia la capacidad de la rata de filtración disminuye.

Como el caudal que entra a la planta es constante, se deben tener una serie de filtros que actúan conjuntamente como vasos comunicantes,⁹ de tal manera que se hace una variación entre el caudal máximo y mínimo filtrado, por lo tanto el filtro más limpio tendrá mayor caudal y el más sucio tendrá menos, lo cual es una gran ventaja ya que no se obliga a trabajar al filtro sino que este lo hace de acuerdo a las condiciones en las que se encuentra; cuando un filtro es lavado le transfiere caudal a los otros de tal forma que cuando entra en servicio tendrá la mayor rata de filtración y los demás filtros tendrán ratas menores.

Ventajas:

- ✘ Mejor calidad del agua.
- ✘ Menor costo de operación y mantenimiento.
- ✘ La carrera de filtración está determinada por las pérdidas de carga más que por el aumento de la turbiedad del efluente.
- ✘ No se requiere de equipos costosos que sirvan de controladores de flujo.

⁹ GOMEZ SÁNCHEZ, Jorge. *Plantas de Tratamiento para agua potable*. Bucaramanga: UIS. 2001.p 63J

✖ Se puede aumentar en un 50% la capacidad de filtración sin desmejorar la calidad del agua.

1.4.4.3 Pérdidas de carga en un filtro de tasa declinante. Son pérdidas producidas por la colmatación del lecho filtrante y la grava de soporte.

Las pérdidas por el lecho son de dos clases: la primera se llama pérdida inicial producida por la fricción así el lecho se encuentre limpio, se da porque las partículas de arena dispuestas en el filtro no tienen igual diámetro ni su forma es totalmente esférica.

El aumento de pérdidas de carga por la colmatación del lecho, puede llegar a presentar la falla de las fuerzas de cizallamiento en la interfase arena gruesa-grava fina, situación que ocurre cuando las pérdidas en el lecho de arena se aproxima a el valor de el espesor de la capa de arena.

La interconexión con los demás filtros es el vertedero de salida, que fija el nivel mínimo de agua y crea la cabeza necesaria para lavar el filtro¹⁰. Se sabe cual es el filtro más sucio pues este presenta el nivel más alto de agua, el filtro más limpio tiene más capacidad de filtración y por lo tanto su nivel es mínimo, esta situación obliga al canal de distribución a que llegue más agua hacia el filtro limpio.

1.4.4.4 Lavado de filtros. generalmente en plantas de tratamiento se construyen filtros de flujo descendente, porque no tienen mucha altura y la presión estática sobre el fondo es pequeña, el agua entra por la parte superior, pasa a través del lecho y es almacenada en el fondo.

El lavado de estos se hace por medio de flujo ascendente, es decir inyectando flujo en la dirección contraria a la filtración, logrando la expansión del medio y recogiénose en la parte superior de las canaletas de lavado.

¹⁰ Se lava con agua filtrada de todos los demás filtros almacenada en el canal de interconexión.

Las descargas del fondo intermedio ayudan a remover partículas retenidas en la grava de soporte que no son arrastradas por el flujo de lavado, ahí se debe hacer que la pérdida de carga por colmatación alcance un valor determinado, distribuyendo la carga a lo largo de la carrera de filtración antes del lavado ascendente.

Se recomienda hacer varias descargas presentándose una recuperación de la carga hidráulica cada vez mayor, después de la primera, la segunda, tercera y cuarta descarga las cuales tienen una duración entre 10 y 30 segundos de la primera a la cuarta; con dichas descargas se consigue un aumento de la carrera de filtración hasta de dos veces a comparación de filtros sin descargas de fondo intermedias, además se recomienda que las descargas de fondo sean efectuadas en todos los filtros de la batería a fin de que no desfasen apreciablemente las ratas de filtración.

2. DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA

La Planta de Tratamiento de Bosconia se encuentra localizada en el Km. 5, en la vía que comunica a Bucaramanga con el Municipio de Matanza.

En general la Planta de Tratamiento de agua potable (PTAP) se divide en:

- Captación.
- Pretratamiento.
- Planta de tratamiento.
- Estación de Bombeo.
- Línea de conducción hasta los tanques ubicados en el Batallón y de Morrórico.

Captación.

Situada a 700 m aguas arriba de la PTAP, compuesta de una captación lateral con las siguientes estructuras:

- ❖ Vertedero de rebose.
- ❖ 3 compuertas radiales.
- ❖ 3 vertederos (corresponden a las compuertas).
- ❖ Cámara de derivación.
- ❖ Cámara de aducción.

Cada compuerta se encuentra sobre un vertedero (talud 0.1:0.1), estas pueden ser accionadas de forma manual o automáticamente por medio de moto reductores, lo que les permite abrirse o cerrarse de acuerdo al caudal del río, permitiendo un nivel estable en el agua y su paso por las tres rejillas laterales y consecutivamente a la cámara de derivación, que es una estructura de sección trapezoidal de 7.8 m de alto y 12.4 m de longitud; de ahí el agua pasa la cámara de aducción de 2m de largo, 2m de ancho y 7m de profundidad, que controla el paso hacia la PTAP por medio de una compuerta y otra compuerta que permite el desagüe hacia el río.

De la cámara de aducción el agua es conducida por medio de una tubería American Pipe de 48" hacia el Pretratamiento.

Pretratamiento.

La tubería que sale de la cámara de aducción, llega al pretratamiento en la cámara de quietamiento encargada de hacer la disipación de energía, compuesta de dos tanques: en el primero se hace la predosificación de sulfato de aluminio, cuando hay niveles de mercurio mayor a lo estipulado por el decreto 475 del Ministerio de Salud Nacional ($2\mu\text{g/L}$) y el otro tanque correspondiente a la disipación de energía por medio de tres pantallas y comunica al canal de aproximación de 4.82m de largo, 2.3 m de ancho 1.31m de profundidad que lleva el agua para la canaleta Parshall de 5 pies de garganta y está en capacidad de medir caudales entre 62 L/s y 2435 L/s (USBR, 1978), encargada de determinar el caudal de entrada a los desarenadores y

aprovechar el resalto para la dosificación del polímero¹¹; de ahí el agua pasa por un canal de entrega de profundidad 1.53 y ancho variable a la cámara distribuidora, de 6m de ancho, 1.5m de largo y 3.19m de profundidad, a los desarenadores.

Las estructuras que componen el pretratamiento son:

- Dos desarenadores de 14.70m de largo, 4m de ancho y 3.4m de profundidad con carga superficial de $135 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$, tiene como función precipitar partículas granulares.
- Cámara de recolección de aguas desarenadas, consistentes en dos canales de aguas desarenadas y canal de paso de agua hacia los presedimentadores.
- Dos presedimentadores de 44.10m de largo, 14m de ancho y 3.85m de profundidad con carga superficial de $168 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$, tiene como función precipitar partículas más livianas que pueden retenerse en un sedimentador convencional.
- Canal de descarga de aguas presedimentadas y paso (tubería 42" American Pipe) hacia la planta de tratamiento.

Planta de tratamiento.

Las estructuras que componen la planta de tratamiento son:

- ▲ Cámara de quietamiento.
- ▲ Canaleta Parshall.
- ▲ Floculadores.
- ▲ Sedimentadores.
- ▲ Filtros.
- ▲ Tanque de almacenamiento.

La planta está diseñada para una capacidad nominal de 2000 L/s, pero sus estructuras pueden soportar un caudal de hasta 2400 L/s, con lo

¹¹ Ayudante de floculación EXRO 621, suministrado por la empresa EXRO. S.A.

cual se busca que la planta además de clarificar agua tenga la capacidad de llenar el tanque de almacenamiento, suministrar el agua necesaria para lavado de las instalaciones y consumos en la planta.

Cámara de quietamiento.

Esta construcción mide 3.20 m de largo por 2.30 m de ancho, es la encargada de recibir el agua de los presedimentadores, cuenta con un desagüe de 14" para limpieza de la conducción y/o control del caudal de entrada al tratamiento.

Posee un canal de aproximación de 2.3 m de ancho por 9m largo y 1.21 m de profundidad y tiene la función de llevar el agua de la cámara de quietamiento a la unidad de mezcla rápida.

Canaleta Parshall No. 2.

De acuerdo a las condiciones de operación definidas por R. Parshall tiene la capacidad de medir caudales entre 62 L/s y 2435 L/s (USBR, 1978), en donde se aprovecha la formación del resalto hidráulico para realizar la dosificación de sulfato de aluminio y el polímero ayudante de coagulación CYTEC 579¹².

Actualmente la planta cuenta con un equipo medidor de caudal marca "ENDRESS+HAUSER", y consiste en un dispositivo transmisor-indicador-registrador-totalizador acoplado al pozo adyacente a la canaleta Parshall (donde es tomada la lectura de la cabeza piezométrica).

Floculadores.

El agua a término de la canaleta Parshall es conducida por unas derivaciones hacia los cuatro floculadores de la siguiente manera:

¹² Ayudante de coagulación CYTEC 579, empleado para turbiedades mayores a 1000 UNT, o cuando el agua presenta mucho color.
La empresa CYTEC S.A. es la que suministra este producto.

En la entrada de los floculadores 1y 4 existe una sección de control compuesta por una compuerta de 24"x24", se presenta un canal de acceso de 30 m de largo, 1.1 m de ancho y 1.2 m de profundidad, con capacidad de 500 L/s haciendo posible una agitación hidráulica dentro del canal, debido a su bajo gradiente de velocidad, permitiendo que el agua llegue con microflocs a las cámaras de floculación.

En la entrada de los floculadores 2y3 al igual que los anteriores tiene una compuerta de las mismas dimensiones, aunque el canal de aproximación es de 1m de largo, 0.9 m de ancho y 0.912 m de profundo, contrario al anterior este llega directamente a la cámara del floculador, sin presentarse la agitación hidráulica de los canales anteriores.

Cuenta con 4 floculadores mecánicos de eje vertical distribuidos en 2 etapas, la primera floculadores 1 y 2, segunda etapa 3 y 4, cada uno divididos en 4 cámaras, sus dimensiones son 6 m de ancho, 6 m de largo y 5.4m de profundidad; diseñado para un período de retención de 24 minutos y una capacidad de 500 L/s.

Cada cámara posee un motor que tiene tres velocidades, correspondientes a los gradientes que se aplican al agua a tratar.

Cámara de flocul.	G (s-1)	rpm	Potencia
1	Máximo	70	3.4
	Medio	50	2.6
	Mínimo	40	2.2
2	Máximo	50	2.6
	Medio	40	2.2
	Mínimo	30	1.95
3 y 4	Máximo	40	2.2
	Medio	30	1.85
	Mínimo	20	1.41

El agua coagulada ingresa al floculador por la cámara 1 y pasa a la segunda cámara por medio de un paso inferior de sección cuadrada de 1.1m de lado y gradiente de velocidad de 24 s^{-1} ; entre la segunda y la

tercera cámara el paso es superior de sección rectangular de 1.6 m x 0.8m y gradiente de velocidad 17.3 s^{-1} y paso inferior entre la tercera y cuarta cámara, consta de una sección cuadrada de 1.2m de lado y gradiente de velocidad de 17.7 s^{-1} , finalmente entre la cuarta cámara y el canal de aguas floculadas el paso es superior de 0.6m de ancho por 3.25 m de alto y un gradiente de velocidad de 13.6 s^{-1} , continuando por un canal de 1.1m de ancho 3.25 m de profundidad que conduce el agua floculada al sedimentador correspondiente.

Sedimentadores.

Dispone de 4 sedimentadores de alta tasa ubicados en dos etapas, la primera etapa la componen los sedimentadores 1 y 2, y la segunda etapa los sedimentadores 3 y 4. Cada sedimentador mide 24 m de largo por 12 m de ancho y está dividido en cuatro módulos autónomos separados por un tabique cada módulo tiene una capacidad de 125 L/s y funciona de la siguiente manera:

El agua floculada entra por un canal central de 0.8m de ancho y 3.50 m de profundidad, ingresa por la parte inferior del sedimentador, dirigiéndose a través de unas plaquetas de distribución removibles de 50 cm. de ancho y separadas entre ellas cada 10 cm.; emerge entre las placas inclinadas a 60° , hacia las canaletas recolectoras que la trasporta al canal de aguas sedimentadas.

Cada sedimentador está diseñado para una carga superficial de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ y un período de retención de 15 minutos, cada módulo tiene dos filas de placas inclinadas de asbesto cemento de 2.4 m de largo, 1.2 m de ancho y 0.1 m de espesor, separadas cada 5 cm.

Las canaletas de recolección de agua sedimentada (en total son 5 por cada sedimentador) son de 0.7 m de ancho colocadas de manera transversal a los módulos, tiene una carga de 2.60 L/s/m y un caudal de diseño de 100 L/s.

Los lodos hidratados que se depositan en las tolvas son extraídos por medio de una tubería PVC de 1½" hacia los canales triangulares, los cuales se evacuaran cuando se opere la válvula de desagüe.

Filtración.

El sistema de filtración está constituido por 12 filtros que operan en dos baterías de 6 filtros cada una. La batería 1 recibe las aguas decantadas de los sedimentadores 1 y 2 y la batería 2 recibe las aguas provenientes del 3 y 4; este canal de aguas sedimentadas se encuentra unido por una compuerta de tal manera que pueden recibir aguas provenientes de los otros sedimentadores cuando se requiera.

La batería funciona a tasa declinante, de tal manera que el filtro más limpio recibe mayor rata de filtración que aquel que se encuentra más colmatado y el caudal se distribuye uniformemente entre ellos.

Cada filtro mide 8.5 m de largo por 6.7m de ancho, dividido en dos celdas de 3.65m de largo y 6.70 m de ancho. Diseñado para una capacidad nominal de 167 L/s y una tasa de filtración de 295 m³/m²-día, está compuesto por un lecho mixto de antracita y arena distribuido de la siguiente forma:

CAPA No.		Abertura de la malla que atraviesa	Abertura de la malla que retiene	Espesor(cm)	Altura sobre el falso fondo
GRAVAS	1- Fondo.	1½"=38 mm	¾" =19 mm	30	0
	2	¾"= 19 mm	⅜" = 10 mm	8	8
	3	⅜"= 10 mm	⅜" = 5 mm	8	16
	4	⅜" = 5 mm	Tamiz No. 10 = 2 mm	8	24
5- Arena torpedo.		Tamiz No. 16 = 1.2mm	Tamiz No. 20 = 0.8mm	6	30
6- Arena.		Tamaño efectivo = 0.45mm a 0.5 mm, Cu =1.3 a 1.6		20	50

7- Antracita.	Tamaño efectivo = 0.85mm a 1mm, Cu =1.25 a 1.6	45	95
---------------	--	----	----

El agua ingresa al filtro a través de una compuerta de accionamiento neumático, desciende a través del lecho, pasa por el falso fondo y llega a un canal de salida de agua filtrada compuesto por un vertedero de 2m de longitud.

La batería se divide longitudinalmente en dos filas de tres filtros como se muestra en la figura, separada por un canal de agua filtrada o canal de interconexión que recibe el efluente de toda la batería.

El lavado de filtros se hace por medio de flujo ascendente, con el agua proveniente del canal de aguas filtradas de la batería, primero se cierra la compuerta del afluente y se abre la de desagüe hasta que el nivel del agua quede en el borde de las canaletas de lavado, se abre la válvula de interconexión dando paso al agua para el retrolavado que asciende por el lecho, cae por las canaletas de lavado y finalmente al canal de recolección de las mismas.

Frente a la batería de filtros, se encuentra la cámara de control de nivel encargada de recibir por medio de dos vertederos de control el agua de cada batería; esta estructura es de 8.90m de largo, 3.0 m de ancho y 5.0m de profundidad, su finalidad es verter el agua a la cámara de recepción del tanque de almacenamiento y determinar el caudal producido por cada batería.

Tanque de almacenamiento.

Es un tanque en concreto con capacidad de 10000 m³. Entre la cámara de control y el tanque de aguas claras se encuentra un vertedero de rebose y la cámara de cloración (como su nombre lo indica es donde se aplica el cloro al agua) y se efectúa la corrección de pH.

El agua proveniente de la batería de filtros, pasa por los vertederos de control a la cámara de cloración, luego por un orificio de sección rectangular sigue hacia el tanque de almacenamiento y continúa a la cámara de succión de 10 m de profundidad para ser bombeada a los tanques del Batallón y Morrórico.

Para el buen funcionamiento del tratamiento y almacenamiento de agua, la planta posee un dispositivo de medición de nivel acoplado en el tanque de aguas claras.

3. METODOLOGÍA

La evaluación de los parámetros óptimos de funcionamiento de los diferentes procesos de clarificación se hicieron en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Bosconia.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en cinco etapas:

- ▲ Parámetros óptimos de operación de las pruebas de jarras. Acerca de la prueba de jarras Arboleda Valencia dice: "es usada para simular el proceso de coagulación que se produce en la planta de tratamiento y evalúa diferentes parámetros durante o al final del ensayo para caracterizar su funcionamiento"¹³.
- ▲ Evaluación de los procesos de tratamiento: coagulación, floculación, sedimentación y filtración¹⁴..véase capítulo 4.
- ▲ Evaluación de la eficiencia de remoción del mercurio y/o turbiedad por medio de sustancias coagulantes-floculantes y carbón activado: por medio de las pruebas de jarras se determinó cual sustancia es la más eficiente en la remoción de mercurio.
- ▲ Evaluación hidráulica de las estructuras que componen en pretratamiento que son los presedimentadores y la canaleta Parshall.
- ▲ Prueba en Planta: se efectuó en la Planta de Tratamiento de Bosconia y consistió en hacer un seguimiento a los diferentes procesos de clarificación empleando la mejor combinación de sustancias de acuerdo a los ensayos de laboratorio¹⁵.

13ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL, 2000. p. 164.

14 De acuerdo al manual de evaluación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la norma RAS 2000.

15 La que dé mejores resultados en las pruebas de jarras entre las sustancias coagulantes-floculantes y/o carbón activado.

3.1 PARÁMETROS ÓPTIMOS DE LAS PRUEBAS DE JARRAS.

Preparación de reactivos empleados en los ensayos:

- ✓ Solución de sulfato de aluminio al 10%. Se pesó en una balanza de precisión 20 gramos de sulfato de aluminio en polvo; en una bureta se colocaron 200 ml de agua destilada, luego se mezcló el agua y el sulfato de manera tal que se evitaron pérdidas de material en un vaso de precipitado de 500 ml y dentro de el un agitador magnético, se dispuso agitar hasta que la mezcla se disolvió completamente.
- ✓ Solución de Sulfato de aluminio al 1%. Con una pipeta graduada de 10 ml se tomó el mismo volumen de sulfato de aluminio solución al 10% y se vertió en una bureta de 100 ml, se completó este volumen con agua destilada y se agitó para obtener una solución homogénea.
- ✓ Solución de ayudante de coagulación al 0.1%. Por medio de una pipeta aforada de 1 ml, se tomó 0.5ml de ayudante de coagulación CYTEC 579 y se colocó en un balón aforado de 500 ml, inmediatamente se le agregó agua destilada hasta completar este volumen y se agitó hasta que se mezclara completamente¹⁶.

Los ensayos realizados al agua fueron los siguientes:

- Turbiedad: se tomaron 25 ml de muestra y se agitó uniformemente, luego se llenó la celda teniendo cuidado que no aparecieran burbujas de aire, y se introdujo en el turbidímetro Hach 2100N, se esperó hasta que se estabilizara la lectura y se anotó el dato correspondiente¹⁷.
- Color verdadero: se hizo pasar 50 ml de muestra a través del papel filtro, luego este contenido se depositó en la celda respectiva; se encendió el Espectrofotómetro Hach DR 2000 el

¹⁶ BARRENECHE MARTÍNEZ, John. Optimización de los procesos de clarificación mediante el uso de polielectrolitos sintéticos en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Bucaramanga, 2003, 112p. Trabajo de Grado (Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química. Área Tratamiento de agua potable.

¹⁷ STANDARD METHODS. Examination of water and wast the water. Edición 19. (SM 2130).

cual tiene almacenada una función o curva de calibración del parámetro a determinar; el método correspondiente para la medición de color es 120, y se desplazó a la longitud de onda 455 nm para la lectura del mismo. Para fijar el cero (0) UPC de color en el aparato se pasó un blanco de agua destilada y en seguida se colocó la muestra¹⁸.

- Medición del pH: se determinó utilizando el pHmetro Metrohm 744, se colocó en un vaso precipitado 50 ml de muestra y se introdujo el electrodo del pHmetro, se esperó hasta que la lectura del aparato se estabilizara. Antes de hacer los ensayos de pH es necesario calibrar el equipo con soluciones buffer de pH conocido, en este caso 4 y 7¹⁹.
- Alcalinidad: se vertió 50 ml de muestra en un vaso precipitado, se agregó 3 gotas de indicador mixto y se introdujo un agitador magnético, luego se colocó el vaso sobre el equipo de agitación del titulador Dosimat 21/4218. Para la titulación se emplea ácido sulfúrico 0.02N, hasta que la muestra cambia a un color pardo, el valor que arrojó el equipo se multiplica por 20 para obtener el valor respectivo en mg/l de CaCO₃²⁰.

3.1.1 Determinación de la dosis óptima de coagulante. El objetivo de este ensayo es encontrar la dosis de coagulante que produce un floc pesado, de mayor velocidad de asentamiento y deje ver el agua más cristalina.

Se efectuaron los siguientes pasos:

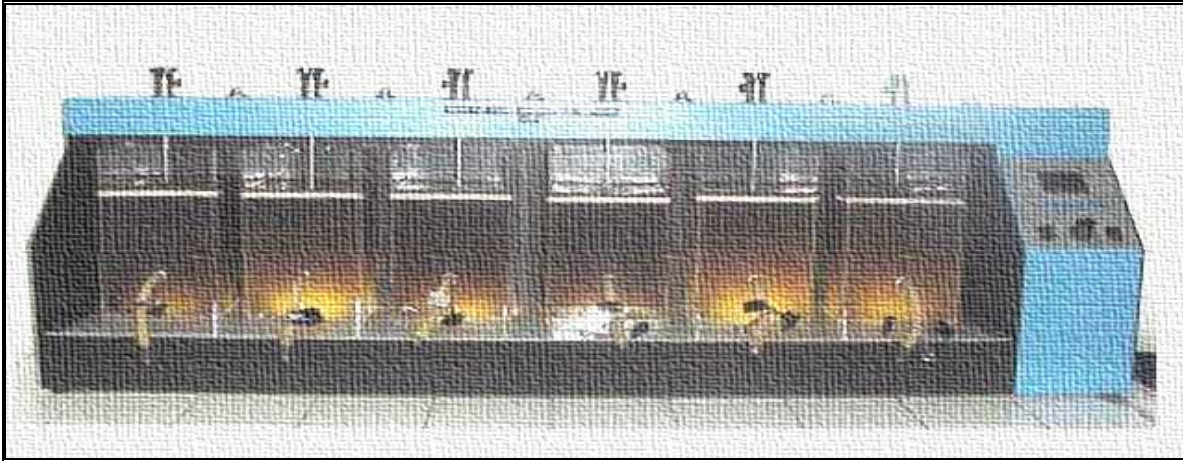
1. Se determinó pH, turbiedad, color, alcalinidad y temperatura al agua cruda.
2. Se introdujo en el equipo de jarras (ver figura 2), seis jarras cuadradas con capacidad de dos litros cada una, con la misma cantidad de muestra de agua cruda y se colocó a funcionar el equipo a 100 rpm.

18 Ibid., (SM 2120).

19 Ibid., (SM 4500 A y B).

20 Ibid., (SM 2330).

Figura 2 Equipo de Jarras Phipps and Bird.



3. Por medio de una pipeta se vertieron cantidades de coagulante a seis vasos de precipitado de 25 ml; luego se utilizaron jeringas médicas para succionar el contenido de los vasos y se colocaron frente a la jarra correspondiente.
4. Al mismo tiempo se inyectó el contenido de las jeringas en las jarras procurando que la solución de sulfato penetrara profundamente para que la dispersión fuera más rápida. Se dejó transcurrir 60 segundos a una velocidad de 100 rpm.
5. Pasado este tiempo, la velocidad se redujo a 40 rpm, para dejar flocular el agua durante 15 minutos.
6. Cumplido el tiempo de floculación, se suspendió la agitación, se levantaron las paletas y se dejó sedimentar 10 minutos.
7. Luego de la sedimentación se purgaron las jarras, sacando un volumen no mayor a 5 ml y enseguida se tomaron las muestras a las cuales se les harán los análisis.
8. Se determinó pH final, turbiedad residual, y color verdadero.
9. Se graficó la turbiedad residual contra la cantidad de sulfato de aluminio agregado. La dosis óptima es aquella que produce la menor turbiedad residual en el ensayo.

En el anexo 2 pueden observarse los ensayos realizados a diferentes muestras de agua con turbiedades representativas; así como los parámetros utilizados para determinar el mismo.

Tabla 4 Dosis óptima de coagulante para diferentes muestras de agua cruda.

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE (PPM)
23	20
33	20
47	30
49	30
120	35
130	40
140	40
150	45
171	45
250	50
420	110
920	145

Al realizarse una regresión lineal de los datos de la tabla anterior, se obtiene una ecuación de la forma:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = D.O (Dosis óptima de coagulante), en ppm.

A y B son constantes.

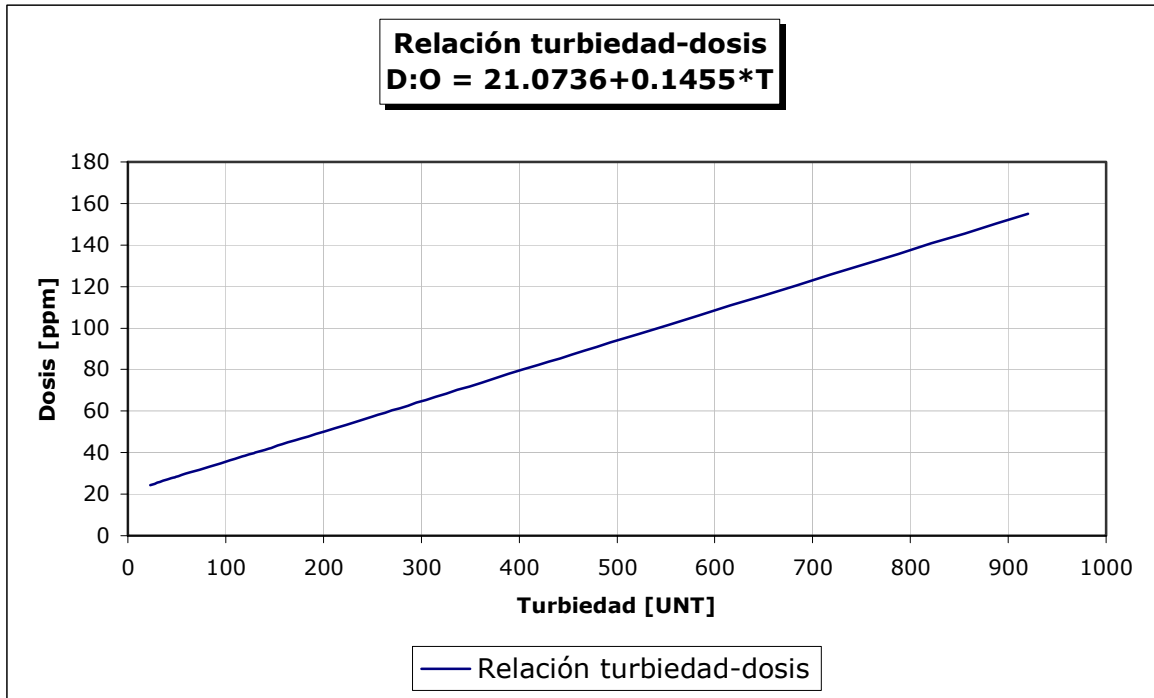
X = Turbiedad del agua cruda en UNT.

$$**D.O = 21.0736 + 0.1455 \cdot T (1)**$$

r=0.969, grado de ajuste

En la figura 3 se muestra la curva que se obtiene a partir de la ecuación 1, determinando para diferentes turbiedades del agua cruda (T) la respectiva dosis óptima de coagulante (D.O).

Figura 3 Relación Turbiedad-dosis.



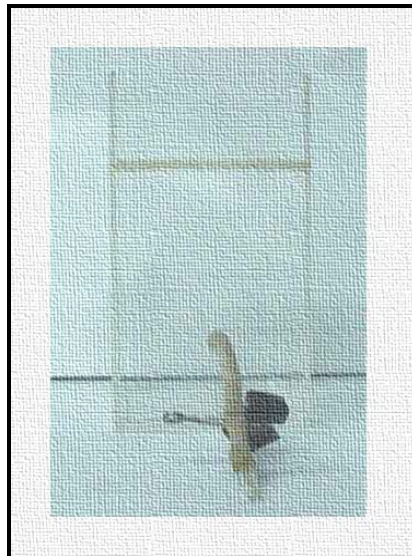
3.1.2 Determinación del tiempo y gradiente óptimo de mezcla rápida. El objetivo de esta prueba es de conocer la intensidad que debe dársele a la mezcla durante el proceso de coagulación a fin de optimizar la floculación y la remoción de partículas durante el proceso de sedimentación.

Procedimiento:

1. Es necesario establecer la dosis óptima de coagulante, descrita ...en la sección 3.1.1...
2. Con el uso de pipetas, se colocó la dosis óptima en vasos de precipitado de 25 ml y se succionaron con jeringas médicas. En el equipo de jarras se introdujo las muestras de agua cruda para el ensayo, frente a ellas la jeringa con la dosis óptima de coagulante.
3. En el equipo de jarras se colocó una velocidad de 120 rpm, cuando el agua se homogenizó se inyectó el contenido de la jeringa en la primera celda, este instante es el tiempo cero, a partir de el transcurridos 20 segundos se agregó la dosis a la segunda celda, y

- así sucesivamente a las demás celdas, el tiempo de mezcla del ensayo fue 2 minutos.
- Finalizada la coagulación, se redujo la velocidad a 40 rpm por 15 minutos y 10 minutos de sedimentación; se tomaron las muestras teniendo en cuenta ...la sección 3.1.1, numeral 7... y se determinó la turbiedad a cada una de ellas.
 - Se repitió el ensayo utilizando una velocidad de 110 rpm, siguiendo el mismo procedimiento anterior; también para 100, 90 y 80 rpm.
 - Se graficó el tiempo de mezcla rápida vs. turbiedad residual para cada una de las velocidades empleadas.

Figura 4 Celda cuadrada en acrílico de dos litros de capacidad.



El tiempo y gradiente óptimo de mezcla rápida será el valor mínimo de turbiedad del ensayo, se toma la velocidad que produce este dato y se encuentra el gradiente respectivo. La relación Velocidad de las paletas vs. Gradiente de velocidad desarrollada por Hudson y Wagner para ensayos que se hacen con celdas cuadradas en acrílico de dimensiones 11.5x11.5x21 y dos litros de capacidad(ver figura 4), que tiene un tubo de cobre de $\frac{3}{16}$ " situado a 10 cm por debajo del nivel normal del agua²¹

21 ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL, 2000. p.172.

En el anexo 3, se puede detallar las pruebas realizadas para diferentes valores de turbiedad del agua cruda, y que en resumen están en la tabla 5.

Tabla 5 Tiempos y gradientes óptimos de mezcla rápida para diferentes Turbiedades.

TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA (UNT)	TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA (SEG)	VELOCIDAD ÓPTIMA DE MEZCLA (RPM)	GRADIENTE ÓPTIMO S⁻¹
23	60	80	100
33	60	80	100
120	80	90	110
140	80	100	130
250	100	100	130
420	100	100	130
920	120	110	150

3.1.3 Determinación de la influencia del pH en la coagulación.

El objetivo de este ensayo es determinar el rango de pH óptimo que caracteriza a la muestra estudiada, el cual varía según el agua y los reactivos empleados.

Los pasos seguidos fueron:

1. Se efectuó la prueba de jarras descrita anteriormente para determinar la dosis óptima de coagulante y el tiempo y gradiente óptimo de mezcla rápida.
2. Se llenaron las 6 jarras y a cada una de ellas se les agregó *ácido sulfúrico (H₂SO₄) diluido 0.1N*, o *hidróxido de sodio (NaOH) diluido 0.1N*, para bajar o subir el pH, de forma que este varió desde más o menos 4-5 en la primera, hasta 8-9 en la última, se esperó hasta que el pH se estabilizara.
3. Se introdujo las celdas en el equipo de jarras, colocándose una la velocidad óptima de acuerdo ...al parágrafo 6, sección 3.1.2... y se

- preparó un juego de jeringas médicas con la dosis óptima de coagulante.
4. Se aplicó la dosis de coagulante; el tiempo de coagulación fue el óptimo determinado en la prueba anterior...véase numeral 6, sección 3.1.2....
 5. Finalizada la coagulación, se disminuyó la velocidad de las paletas a 40 rpm y se dejó flocular por 15 minutos.
 6. Se retiró las paletas de los vasos y se dejó sedimentar por 10 minutos.
 7. Se extrajo la purga a cada celda y se tomaron las muestras.
 8. Se determinó pH final, turbiedad residual y color a cada una de las muestras anteriores.

El pH óptimo del ensayo es aquel que produce la mínima turbiedad. En la tabla 6, se presenta el pH óptimo para distintas turbiedades del agua cruda; en el anexo 4 se encuentran la totalidad de los ensayos con los parámetros óptimos empleados.

Tabla 6 Relación entre Turbiedad del agua cruda-pH óptimo de coagulación.

pH ÓPTIMO DE COAGULACION			
TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	pH	TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	pH
33	8.87	250	7.00
120	8.09	420	7.86
140	8.61	920	8.01

3.1.4 Determinación de la importancia de la mezcla rápida mediante ensayos de segregación. El objetivo del presente ensayo es el de conocer cualitativamente hasta qué punto el fenómeno de la segregación²² afecta la eficiencia de la coagulación de un agua, y por tanto, cuan crítica es la rapidez con que se haga la dispersión de los coagulante.

El procedimiento efectuado fue el siguiente:

1. Se determinó la dosis óptima de coagulante...sección 3.1.1... y la velocidad y tiempo optimo de mezcla rápida...sección 3.1.2....
2. Se preparó un juego de jeringas médicas con la dosis óptima de coagulante. Se llenaron las celdas de siguiente manera: la primera se agregó 500 ml de muestra, la segunda 1000 ml, 1500 ml en la tercera y la última 2000 ml.
3. Se introdujeron en el equipo de jarras las celdas, colocándose la velocidad óptima de mezcla rápida. Se aplicó la dosis simultáneamente dejándose el tiempo optimo de coagulación.
4. Pasado este tiempo se completó los volúmenes de las jarras 1, 2 y 3, agregando más muestra de agua cruda hasta llegar a los 2000 ml; luego se dejó flocular el agua durante 15 minutos reduciendo la velocidad de las paletas a 40 rpm.
5. Terminada la floculación se levantaron las paletas y se dejó sedimentar por 10 minutos.
6. Luego de la sedimentación se purgaron las jarras y se tomaron las muestras de agua y se determinaron la turbiedad y el color residual.

De los ensayos efectuados ...véase anexo 5..., se concluye que la mejor calidad del agua se obtuvo cuando el coagulante tubo una completa dispersión en toda la masa de agua.

²² Se entiende por segregación la dispersión no homogénea de la totalidad de la dosis de coagulantes en el volumen de agua a tratar.

3.1.5 Determinación de la influencia que la concentración de la solución de coagulantes tiene en la coagulación. El objetivo del ensayo es determinar la concentración de la solución de coagulante que dé los mejores resultados en la planta de tratamiento.

Los pasos seguidos fueron:

1. Se efectuó una prueba de jarras convencional para determinar la dosis óptima de coagulante.
2. A partir de la solución patrón de sulfato de aluminio al 10% se preparó soluciones al 5%, 1%, 0.5% y 0.1%.
3. Se llenaron 5 vasos (jarras cuadradas) y se introdujeron en el equipo de jarras. La dosis que se aplicó es la óptima pero para la concentración respectiva de acuerdo a la tabla IV.5 Cantidad en ml que hay que agregar a un vaso de precipitado de 2000 cc para obtener distintas dosificaciones, según sea la concentración de la solución de coagulantes²³; el tiempo de mezcla fue el óptimo...véase sección 3.1.2....
4. Hecha la mezcla rápida, se redujo la velocidad de las paletas a 40 rpm durante 15 minutos(floculación).
5. Se levantaron las paletas y se dejó sedimentar 10 minutos.
6. Se purgaron los vasos y se tomaron las muestras de turbiedad residual.

En el anexo 6 se describen los parámetros, los resultados y las gráficas de turbiedad residual vs. la concentración de la solución de coagulante para cada una de las muestras analizadas.

De los ensayos realizados se obtiene la tabla 7, relación entre la turbiedad del agua cruda-concentración óptima de coagulación, de la cual se deduce que la concentración óptima está entre (0.1%-10%).

23 ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL, 2000. p 181.

Tabla 7 Relación entre la turbiedad del agua cruda y la concentración de coagulante.

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE	
TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	CONCENTRACIÓN %
33	0.1
120	10
140	10
250	10
420	10
920	10

3.1.6 Determinación de la eficiencia de los ayudantes de coagulación. El objetivo del ensayo es determinar la relación coagulante/polielectrolito (proporción en porcentaje de la dosis de las sustancias respecto a la dosis óptima de coagulante) con que se obtienen mejores resultados.

Los ensayos se realizaron para muestras representativas, el procedimiento seguido fue:

1. Se efectuó una prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante ...véase 3.1.1....
2. Se determinó el tiempo y gradiente optimo de mezcla rápida...véase 3.1.2....
3. Se preparó una nueva prueba de jarras en la que se agregó a la primera jarra el 60% de la dosis óptima de coagulante y el 40% restante en ayudante de coagulación²⁴, la segunda el 70% de la dosis y el 30% restante en ayudante de coagulación, la tercera jarra contenía una relación de 80/20, para la cuarta jarra 90/10, la quinta presentó una relación 95/5 y la última jarra contenía la dosis óptima como punto de comparación para con las demás.
4. Se hizo girar las paletas a la velocidad óptima y se agregó el coagulante de acuerdo al...numeral 3 y 4 sección 3.1.1..., este

²⁴ 579-C diluido al 0.01%.

- instante fue el tiempo cero, transcurridos 10 segundos se adicionó los ayudantes de coagulación por medio de jeringas médicas.
5. Finalizado el tiempo optimo de mezcla rápida se disminuyó la velocidad de las paletas a 40 rpm, dejando flocular durante 15 minutos.
 6. Concluida la floculación se levantaron las paletas y se dejó sedimentar 10 minutos.
 7. Se purgaron las jarras, se tomaron las muestras y por ultimo se determinó la turbiedad residual, el color y el pH.
 8. Se graficó la turbiedad residual vs. la dosis de ayudante de coagulación.

Se realizaron pruebas con muestras de turbiedades representativas; reemplazando diferentes proporciones de la dosis óptima de sulfato de aluminio por polímero y se encontró mejores resultados empleando la relación sulfato de aluminio / ayudante de coagulación, 90/10; en el anexo 7 se encuentran los resultados obtenidos así como las gráficas de turbiedad residual vs. la dosis de polímero.

Tabla 8 Relación turbiedad inicial-Turbiedad residual empleando ayudante de coagulación C-579.

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)	
	DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE (ppm)	90% DOSIS OPTIMA+10% POLIELECTROLITO (ppm)
250	3.7	2.4
420	3.6	2.1
920	5.6	3.5

3.1.7 Determinación del tiempo y gradiente óptimo de floculación. El objetivo de este ensayo es conocer la intensidad que debe dársele a la mezcla durante el proceso de floculación a fin de optimizar la remoción de partículas durante el proceso de sedimentación.

A continuación se menciona el procedimiento seguido:

1. Se determinó la dosis óptima de coagulante de manera descrita en ...el inciso 3.1.1....
2. Se determinó el tiempo y gradiente optimo de la mezcla rápida...inciso 3.1.2....
3. Se preparó una nueva prueba de jarras, con un juego de jeringas médicas con la dosis óptima. Luego se puso a girar las paletas a la velocidad óptima y cuando el agua se homogenizó se agregó simultáneamente el contenido de las jeringas procurando que el chorro se dirija al centro de la celda; se cronometró el tiempo optimo de coagulación.
4. Pasado el tiempo de mezcla rápida, se reduce la velocidad de agitación a 60 rpm, en este momento se cuenta como el inicio de la floculación y se procedió a efectuar los siguientes pasos.
 - Minuto 5, se levantó la paleta de la celda No. 1.
 - Minuto 10, se levantó la paleta de la celda No. 2.
 - Minuto 15, se levantó la paleta de la celda No. 3 y se tomó la muestra de la jarra No. 1²⁵.
 - Minuto 20, se levantó la paleta de la celda No. 4 y se tomó la muestra de la jarra No. 2.
 - Minuto 25, se levantó la paleta de la celda No. 5 y se tomó la muestra de la jarra No. 3.
 - Minuto 30, se levantó la paleta de la celda No. 6 y se tomó la muestra de la jarra No. 4.
 - Minuto 35, se tomó la muestra de la jarra No. 5.
 - Minuto 40, se tomó la muestra de la jarra No. 6.
5. Se determinó la turbiedad residual.
6. El segundo ensayo consistió en seguir la misma rutina anterior pero con una velocidad de floculación de 50 rpm, luego otro ensayo usando 40rpm , otro ensayo con 30, 20 y finalmente 10 rpm.
7. Se graficó el tiempo de floculación vs. turbiedad residual para cada uno de los gradientes empleados.

El tiempo optimo de floculación es definido como el tiempo que produce la mínima turbiedad residual.

²⁵ La muestra se tomó, primero purgando la jarra correspondiente.

Los ensayos fueron realizados para muestras de agua cruda con turbiedades representativas, ...véase anexo 8..., ahora se hace el análisis de los resultados utilizando los parámetros obtenidos en cada uno de estos.

Los valores críticos de los períodos de floculación se obtuvieron tomando para cada uno de los tiempo empleados en el laboratorio el valor de la velocidad de rotación en el que se presentó la mínima turbiedad residual, luego para estas velocidades se determina el gradiente al cual corresponde. Esta relación se encuentra en la gráfica de Velocidad de rotación de las paletas(rpm) vs. Gradientes de velocidad (S^{-1}) desarrollada por Hudson y Wagner para celdas en acrílico de sección rectangular de dos litros de capacidad.

A los valores críticos de períodos de floculación y gradiente de velocidad se les realizó una regresión lineal con el propósito de encontrar la ecuación que relacione el gradiente de velocidad con el tiempo de mezcla²⁶. Para encontrar el criterio de diseño de la unidad, se divide el tiempo optimo en el número de módulos del floculador(4) y para cada uno de los tiempos acumulados de floculación se obtiene el gradiente optimo correspondiente.

3.1.7.1 Análisis de los ensayos de determinación de gradiente y tiempo optimo de floculación.

3.1.7.1.1 Ensayo 1

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
33	61	8.02	63	15

²⁶ La ecuación debe presentar un grado de ajuste satisfactorio para ser usada como criterio de diseño de la unidad de floculación.

Tabla 9 Valores críticos de períodos de floculación(t) y gradiente de velocidad(G)

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	40	33
10	40	33
15	30	23
20	30	23
25	30	23
30	20	14

Se aplicó, regresión lineal a los valores críticos de períodos y gradientes de floculación:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Se establecieron los siguientes valores:

$$A = 1.852$$

$$B = -0.403$$

$$r = 0.8473(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log}G = 1.852 - 0.403 \cdot \text{Log}T$

$$G^{2.48} \cdot T = 10^{4.59} \quad (2)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (2) se obtiene la tabla 10.

Tabla 10 Criterios de diseño de la unidad de floculación ensayo 1.

MODULO	TIEMPO(min)	G
---------------	--------------------	----------

	PARCIAL	TOTAL	S⁻¹
1	3.75	3.75	41.62
2	3.75	7.5	31.47
3	3.75	11.25	26.72
4	3.75	15	23.80

3.1.7.1.2 ENSAYO 2

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
120	169	8.09	58.2	20

Tabla 11 Valores críticos de períodos de floculación(t) y gradiente de velocidad(G) para el ensayo 2.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	60	60
10	30	23
15	20	14
20	20	14
25	20	14
30	20	14

Por medio de la regresión lineal, aplicada a los valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad se encontró la ecuación de diseño de la unidad, los resultados son:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas para regresión lineal, se encontraron los siguientes valores:

A = 2.248

B = -0.818

r = 0.921(grado de ajuste)

La ecuación es $\text{Log}G = 2.248 - 0.818 * \text{Log}T$

$$G^{1.22} * T = 10^{2.75} \quad (3)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación para cada uno de los módulos, en la ecuación (3) se obtiene los resultados de la tabla 12.

Tabla 12 Criterio de diseño de la unidad de floculación.

MODULO	TIEMPO(min)		G S ⁻¹
	PARCIAL	TOTAL	
1	5	5	48.00
2	5	10	27.20
3	5	15	19.50
4	5	20	15.40

3.1.7.1.3 ENSAYO 3

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
140	304	8.05	55.6	20

Tabla 13 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	60	60
10	60	60
15	60	60
20	50	47
25	40	33
30	40	33

Siguiendo la misma metodología anterior, empleando mínimos cuadrados, se encontraron las constantes y la ecuación de diseño de la unidad de floculación:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas se obtiene los siguientes resultados:

$$A = 2.098$$

$$B = -0.361$$

$$r = 0.8171(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log}G = 2.098 - 0.361 \cdot \text{Log}T$

$$G^{2.77} \cdot T = 10^{5.81} \quad (4)$$

Reemplazando los datos de tiempo optimo de floculación para cada modulo en la ecuación (4) se estiman los valores de la tabla 14

Tabla 14 Criterio de diseño de la unidad de floculación.

MODULO	TIEMPO(min)		G S ⁻¹
	PARCIAL	TOTAL	
1	5	5	70.00
2	5	10	54.50
3	5	15	47.08
4	5	20	42.44

3.1.7.1.4 ENSAYO 4

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO ₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
250	371	8.19	55.8	30

Tabla 15 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S ⁻¹)
5	30	23
10	30	23
15	30	23
20	30	23
25	20	14
30	20	14

Aplicando mínimos cuadrados a los datos de la tabla anterior los resultados son:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas, los resultados son:

$$A = 1.651$$

$$B = -0.338$$

$$r = 0.825(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log}G = 1.651 - 0.338 \cdot \text{Log}T$

$$G^{2.96} \cdot T = 10^{4.88} \quad (5)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (5) se produce la tabla 16.

3.1.7.1.5 ENSAYO 5

En la tabla siguiente se presenta el cuadro resumen del ensayo y en la tabla 17 los valores críticos de floculación para el mismo.

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
420	846	7.86	45.2	30

Tabla 16 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 4.

MODULO	TIEMPO(min)		G S⁻¹
	PARCIAL	TOTAL	
1	7.5	7.5	22.54

2	7.5	15	17.84
3	7.5	22.5	15.55
4	7.5	30	14.11

Tabla 17 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	40	33
10	30	23
15	30	23
20	20	14
25	20	14
30	20	14

Aplicando mínimos cuadrados a los datos de la tabla anterior, los resultados son:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas se estiman los siguientes datos:

$$A = 1.889$$

$$B = -0.519$$

$$r = 0.948(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log}G = 1.889 - 0.519 \cdot \text{Log}T$

$$G^{1.93} \cdot T = 10^{3.64} \quad (6)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (6) se determina la tabla 18.

Tabla 18 Criterio de diseño de la unidad de floculación.

MODULO	TIEMPO(min)	G
---------------	--------------------	----------

	PARCIAL	TOTAL	S⁻¹
1	7.5	7.5	27.07
2	7.5	15	18.90
3	7.5	22.5	15.32
4	7.5	30	13.20

3.1.7.1.6 ENSAYO 6

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
920	3240	8.01	53.4	30

Los períodos críticos de floculación de acuerdo al ensayo se encuentran en el cuadro 19; la velocidad de floculación es escogida según la mínima turbiedad.

Tabla 19 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	40	33
10	30	23
15	30	23
20	30	23
25	30	23
30	30	23

Se empleó regresión lineal a los valores críticos de período y gradiente de floculación

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas se obtiene:

$$A = 1.599$$

$$B = -0.180$$

$$r = 0.810(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log}G = 1.599 - 0.180 * \text{Log}T$

$$G^{5.55} * T = 10^{8.88} \quad (7)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (7) se obtiene los valores de la tabla 20.

3.1.7.1.7 ENSAYO 7

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
23	87	8.00	52.9	10

Tabla 20 Criterio de diseño de la unidad de floculación ensayo 6.

MODULO	TIEMPO(min)		G S⁻¹
	PARCIAL	TOTAL	
1	7.5	7.5	27.69
2	7.5	15	24.43
3	7.5	22.5	22.72
4	7.5	30	21.57

Tabla 21 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	40	33

10	40	33
15	30	23
20	30	23
25	30	23
30	30	23

Se adoptó mínimos cuadrados a los datos de la tabla anterior, los resultados son:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

$Y = \text{Log } G$

$X = \text{Log } T$

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas se tienen los siguientes valores:

$$A = 1.703$$

$$B = -0.246$$

$$r = 0.876(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log } G = 1.703 - 0.246 \cdot \text{Log } T$

$$G^{4.065} \cdot T = 10^{6.92} \quad (8)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (8) se obtiene la tabla 22.

Tabla 22 Criterio de diseño de la unidad de floculación.

MODULO	TIEMPO(min)		G S ⁻¹
	PARCIAL	TOTAL	
1	2.5	2.5	40.22
2	2.5	5	33.91
3	2.5	7.5	30.69
4	2.5	10	28.59

3.1.7.1.8 ENSAYO 8

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	COLOR (UPC)	PH	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)
65	47	8.01	54.6	20

Tabla 23 Valores críticos de períodos de floculación y gradientes de velocidad.

Tiempo de floculación (min)	Velocidad de floculación (rpm)	Gradiente de floculación (S⁻¹)
5	40	33
10	40	33
15	40	30
20	40	30
25	30	23
30	30	23

Se realizó regresión lineal a los datos de la tabla anterior, los resultados son:

$$Y = A + B \cdot X$$

Donde

Y = Log G

X = Log T

A Y B son constantes

Aplicando las fórmulas se tienen los siguientes valores:

$$A = 1.699$$

$$B = -0.198$$

$$r = 0.706(\text{grado de ajuste})$$

La ecuación es $\text{Log} G = 1.699 - 0.198 \cdot \text{Log} T$

$$G^{5.05 \cdot T} = 10^{8.58} \quad (9)$$

Reemplazando los valores de tiempo optimo de floculación en la ecuación (9) se obtiene la tabla 24.

Tabla 24 Criterio de diseño de la unidad de floculación.

MODULO	TIEMPO(min)		G S-1
	PARCIAL	TOTAL	
1	5	5	36.35
2	5	10	31.69
3	5	15	29.25
4	5	20	27.63

A continuación se presenta el cuadro resumen para diferentes datos de turbiedad.

Tabla 25 Tiempo y gradiente optimo de floculación para diferentes valores de turbiedad.

TURBIEDAD AGUA CRUDA(UNT)	TIEMPO OPTIMO DE FLOCULACIÓN(min)	GRADIENTE OPTIMO DE FLOCULACIÓN(S ⁻¹)			
		1	2	3	4
23	10	40.22	33.91	30.69	28.59
33	15	41.62	31.47	26.72	23.80
65	20	36.35	31.69	29.25	27.63
120	20	48.00	27.20	19.50	15.40
140	20	70.00	54.5	47.08	42.44
250	30	22.54	17.84	15.55	14.11
420	30	27.08	18.90	15.32	13.20
920	30	27.69	24.43	22.72	21.57

3.1.8 Determinación de la eficiencia del sedimentador de placas. El objetivo del ensayo es determinar la eficiencia remocional ideal del sedimentador de placas.

El ensayo se realizó siguiendo el procedimiento:

1. Se determinó la dosis óptima de coagulante ... véase 3.1.1....
2. Se estimó los tiempos y gradientes de mezcla rápida y lenta...véase 3.1.2 y 3.1.7....
3. Se desarrollaron las etapas 1, 2, 3, 4, 5 ...numeral 3.1.1..., aplicando tiempos y gradientes óptimos de mezcla...tabla 25 numeral 3.1.7....
4. Se suspendió la agitación y se levantaron las paletas, se dejó sedimentar 10 minutos, tomando muestras a intervalos determinados de tiempo; cada 30 segundos hasta completar 2 minutos, luego cada minuto llegar al minuto 6 y finalmente cada 2 minutos hasta completar los 10 minutos de duración del ensayo.
5. Se determinó la turbiedad a cada una de las muestras.
6. Se graficó la curva eficiencia teórica del sedimentador de placas (T_f/T_o) vs. velocidad de sedimentación (cm/s).

De acuerdo a la curva de eficiencia teórica del sedimentador de placas...véase anexo 9..., se deducen los valores de $a = 0.02$, que le corresponde una velocidad de sedimentación para la mayor eficiencia remocional $C_f = 0.010$.

Tabla 26 Eficiencia de la sedimentación en función de la carga superficial.

q (m^3/m^2-d)	Vs (cm/s).	Co	Rt	Tr UNT	Tf UNT
20	0.023	0.012	1.000	119.98	0.02
30	0.035	0.031	0.996	119.48	0.52
40	0.046	0.038	0.992	119.06	0.94
50	0.058	0.037	0.991	118.95	1.05
60	0.069	0.093	0.971	116.47	3.53
70	0.081	0.137	0.952	114.26	5.74
80	0.093	0.181	0.933	111.94	8.06
90	0.104	0.226	0.913	109.55	10.45
100	0.116	0.270	0.893	107.11	12.89

110	0.127	0.314	0.872	104.62	15.38
120	0.139	0.358	0.851	102.11	17.89
130	0.150	0.403	0.830	99.57	20.43
140	0.162	0.447	0.809	97.02	22.98
150	0.174	0.491	0.787	94.46	25.54
160	0.185	0.535	0.766	91.88	28.12
170	0.197	0.580	0.744	89.29	30.71
180	0.208	0.624	0.722	86.70	33.30

Donde

Porcentaje de remoción total, R_t , es:

$$[1-(C_o-C_f)]+((a+V_{S.})/2)*(C_o-C_f)/V_{S.}$$

T_r , es la turbiedad removida en UNT.

T_f , es la turbiedad final, de acuerdo a la carga superficial, UNT.

$$T_f = T_o * R_t$$

La elección de la carga superficial se puede hacer con base a dos criterios:

14. La velocidad de sedimentación que da la máxima eficiencia remocional.
15. La velocidad de sedimentación que da la máxima turbiedad tolerable por el filtro.

Según el primer criterio se seleccionó de la tabla 26, $V_{S.} = 0.023 \text{ cm/s}$, este valor se afecta por un coeficiente de seguridad, C , de 1.3, debido a que el ensayo fue efectuado en condiciones ideales.

$$V_{S.} = V_{s.}/1.3 = 0.023 \text{ cm/s}/1.3 = 0.01769 \text{ cm/s}$$

La planta dispone de sedimentadores laminares de flujo inclinado ascendente, con placas de asbesto-cemento de $2.4*1.2 \text{ m}$ y 1 cm de espesor, espaciadas 5 cm entre sí. El ángulo de inclinación de las placas respecto a la horizontal es 60° .

Longitud relativa, $L = l/d = 1.20 \text{ m}/0.05 \text{ m} = 24 \text{ m}$.

$$V_o = V_s.(Sen\theta+L*Cos\theta)/S_c$$

Donde

V_o es la velocidad de sedimentación.

S_c , es el factor de forma del sedimentador, para placas planas es 1.

V_s , es la velocidad crítica de sedimentación.

$$V_o = 0.01769(Sen60^\circ + 24 * Cos60^\circ) = 0.227 \text{ cm/s}$$

N_R , es el número de Reynolds; el flujo en el sedimentador debe ser laminar para garantizar el correcto funcionamiento del sedimentador. Este valor preferiblemente debe ser menor a 250.

$$N_R = V_o * d / \nu$$

Donde

d , es la separación entre placas, 5 cm.

ν , es la viscosidad cinemática a una temperatura de 20°, 0.0101 cm²/s

$$N_R = 0.227 \text{ cm/s} * 5 / 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s} = 112.37 < 250.$$

La carga superficial aparente está dada por la expresión:

$$q = V_o * Sen60^\circ * 86400 / 100 = 0.227 * 0.8660 * 86400 / 100 = 169.85 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$$

La carga superficial de diseño es 170 m³/m²-día.

3.1.9 Determinación de la velocidad de sedimentación. El objetivo de este ensayo es determinar la relación entre el tiempo de sedimentación y el porcentaje de turbiedad removida para diferentes turbiedades representativas de agua.

El ensayo se hizo de acuerdo a los siguientes pasos:

1. De acuerdo ...al numeral 3.1.1... se determinó la dosis óptima de coagulante.

2. Siguiendo el procedimiento de ...las secciones 3.1.2 y 3.1.7... se estimaron los tiempos y gradientes de mezcla rápida y lenta.
3. Se desarrollaron las etapas 1, 2, 3, 4, 5 ...división 3.1.1..., adoptando tiempos y gradientes óptimos de mezcla rápida y lenta.
4. Finalizada la floculación, se levantaron las paletas y se extrajeron muestras en intervalos regulares de tiempo, $t = 1\text{min}, 3\text{ min}, 5\text{ min}, 10\text{ min}, 30\text{ min}, 60\text{ min}$.
5. Se determinó la turbiedad residual a todas las muestras.
6. Se graficó la curva turbiedad removida vs. tiempo de sedimentación.

Donde

$$\text{Turbiedad removida} = (1 - N_t/N_o) * 100$$

N_o = Turbiedad inicial del agua cruda (UNT).

N_t = Turbiedad de la muestra en el instante t .

En el anexo 10 se encuentran los resultados de las pruebas realizadas para diferentes valores de turbiedad del agua cruda.

3.2 EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS COAGULANTES-FLOCULANTES Y CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO.

El objetivo de esta evaluación es encontrar la sustancia o la combinación más efectiva de estas para la remoción de mercurio. El mercurio se encuentra asociado a los coloides causantes de turbiedad por lo que esta evaluación se hizo por medio de las pruebas de jarras.

Las sustancias empleadas fueron:

- ❖ Sulfato de aluminio sólido, solución al 1%.
- ❖ Sulfato de aluminio líquido, solución al 2%.
- ❖ Carbón activado, concentración 1000 ppm.
- ❖ Ayudante de floculación EXRO 621, solución al 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04% y 0.05%.

Se establecieron las siguientes combinaciones:

- ✓ Sulfato de aluminio sólido, solución al 1 %, como coagulante.
- ✓ Sulfato de aluminio líquido, solución al 2%, como coagulante.
- ✓ Sulfato de aluminio sólido, solución al 1%, como coagulante más ayudante de floculación, EXRO 621.
- ✓ Sulfato de aluminio sólido, solución al 1%, como coagulante, más carbón activado.
- ✓ Sulfato de aluminio solución al 1%, como coagulante, más carbón activado, más ayudante de floculación EXRO 621.

Los parámetros evaluados en la prueba de jarras fueron:

- Dosis óptima de los coagulantes-floculantes.
- Dosis óptima del coagulante-floculante, más el ayudante de floculación.
- Dosis óptima de la combinación coagulante-floculante, más carbón activado.
- Dosis óptima de la combinación coagulante-floculante, más carbón activado, más ayudante de floculación

Los análisis efectuados tanto a las muestras de agua cruda, como a las muestras tomadas en las pruebas de jarras fueron de turbiedad, pH y color se hicieron de acuerdo al ...numeral 3.1 Parámetros óptimos de funcionamiento....

3.2.1 Análisis para la determinación de mercurio. el ensayo se hace utilizando el analizador de mercurio Bacharach MAS-50D que aplica la técnica del espectrofotómetro por absorción atómica de vapor frío; en un frasco winkler limpio y seco se colocaron 150 ml de muestra se adicionaron 5ml de mezcla ácida y 4 gotas de permanganato de potasio, al cabo de 5 minutos se agregó 1 ml de cloruro de hidroxilamina y 5 ml de cloruro estannoso e inmediatamente se conectó el frasco winkler al aparato de aireación, a medida que el mercurio se va volatilizando y arrastrando hacia la celda de absorción, la absorbancia aumenta a un valor máximo en instantes; tan pronto se obtuvo un valor estable de

absorbancia se retiró el poro del frasco. Es importante tener en cuenta que se pasó una muestra blanca o libre de mercurio antes de hacer el ensayo para establecer un cero en el equipo, este presenta una ecuación producto de la calibración empleando muestras patrón, utilizando esta ecuación se encuentra el contenido de mercurio en la muestra en ($\mu\text{g/L}$)²⁷.

3.2.2 Preparación de reactivos empleados en los ensayos.

- ✓ Solución al 0.1% del ayudante de floculación EXRO 621. Se pesaron 0.5 gramos de ayudante de floculación en una balanza de precisión. En un vaso precipitado de 1000 ml se vertieron 250 ml de agua destilada y se agregaron los 0.5 g de polímero evitando pérdidas de este, se colocó el vaso en un mezclador y se dejó agitar por 15 minutos, transcurrido éste tiempo se agregó 125 ml de agua destilada y se continuó agitando por 30 minutos más (período muy importante en el cual se da la maduración del polímero, en el que se extienden sus cadenas para lograr su objetivo principal) y finalmente se adicionó 100 ml de agua destilada, se dejó reposar por media hora; en un balón aforado de 500 ml se añadió la solución anterior y se completó con agua destilada hasta alcanzar el volumen, se tapó y agitó²⁸. La solución madre era remplazada a los 15 días a partir de su preparación.
- ✓ Solución de Sulfato de aluminio líquido al 2%. Se tomó una muestra representativa de sulfato de aluminio líquido; por medio de una pipeta se succionó 10 ml de éste y se depositó en una bureta de 100 ml, se completó el volumen con agua destilada y se agitó para tener una solución homogénea, hasta ahora se tiene una solución de sulfato de aluminio al 20%, para el 2% se sacó 10 ml de la solución anterior y se agregaron en una bureta de 100 ml, se completó el volumen con agua destilada y se agitó.
- ✓ Solución de Sulfato de aluminio al 1%. Con una pipeta graduada de 10 ml se tomó el mismo volumen de sulfato de aluminio solución al 10% y se vertió en una bureta de 100 ml,

27 STANDARD METHODS. Examination of water and waste the water. Edición 19. (SM 3112).

28 BARRENECHE MARTÍNEZ, John. Optimización de los procesos de clarificación mediante el uso de polielectrolitos sintéticos en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Bucaramanga, 2003, 118p. Trabajo de Grado (Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química. Área Tratamiento de agua potable.

se completó este volumen con agua destilada y se agitó para obtener una solución homogénea.

- ✓ Soluciones de ayudante de floculación EXRO 621 al 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%. Para preparar la solución al 0.01% se tomó por medio de una pipeta graduada, 5 ml de polímero EXRO 621 solución al 0.1% y se colocaron en una bureta de 50 ml, se completó este volumen agregando agua destilada y se agitó un poco para lograr mezclarlas; para la solución al 0.02% se siguió el mismo procedimiento anterior pero la relación de polímero y agua destilada es 10/40 (10 ml de polímero y 40 ml de agua), para 0.03% fue 15/35, al 0.04% la proporción fue 20/30 y finalmente al 0.05% fue 25/25.
- ✓ Carbón activado solución 1000 ppm. Mediante una balanza de precisión se pesó 0.25 gramos de carbón activado; en una bureta de 250 ml se depositó el carbón activado y se completó este volumen agregando agua destilada²⁹.

3.2.3 Determinación de la dosis óptima de los coagulantes-floculantes. Se siguió la metodología empleada en ...el numerera 3.1.1....

Anteriormente se dijo que la dosis óptima de coagulante era aquella que producía la mínima turbiedad residual del ensayo, teniendo en cuenta este concepto, se determinó el mercurio residual para esta estableciendo un punto de comparación para las otras combinaciones.

Esto se puede ver con más detenimiento en el anexo 11 para Sulfato de Aluminio sólido, y en el anexo 12 para Sulfato de Aluminio Líquido.

3.2.4 Determinación de la dosis óptima de ayudante de floculación.

²⁹ En los ensayos de jarras se tubo el detalle de agitar bien la solución ya que el carbón activado tiende a precipitarse.

1. Se estableció la dosis óptima de sulfato de aluminio sólido solución al 1%.
2. Se preparó una nueva prueba de jarras en la que va a adicionar la dosis óptima de coagulante y se varió la dosis de ayudante de floculación, en la primera jarra no tenía polímero, la segunda 0.05 ppm, la tercera 0.1 ppm, la cuarta 0.15 ppm, la quinta 0.20 ppm y la sexta 0.25 ppm³⁰ de EXRO 621 solución al 0.01%.
3. Se puso girar las paletas a 100 rpm, luego se agregó la dosis de coagulante y a los 30 segundos se adicionó la dosis de ayudante de floculación³¹; la duración de la coagulación fue de 60 segundos.
4. Se redujo la agitación a 40 rpm, dejando flocular por 15 minutos.
5. Se suspendió la agitación, se levantaron las paletas y se dejó sedimentar 10 minutos.
6. Concluida la sedimentación se purgaron los vasos y se tomaron las muestras correspondientes.
7. Para finalizar se llevaron a cabo ...los numerales 8 y 9 sección 3.1.1....
8. Establecida la dosis óptima de ayudante de floculación, se hizo la prueba de mercurio residual.
9. Se repitió en ensayo empleando una concentración de EXRO 621 al 0.02%, luego de 0.03%, 0.04% y por último de 0.05%.

Los ensayos realizados, los resultados y las gráficas correspondientes pueden verse en el anexo 13.

3.2.5 Determinación de la dosis óptima de carbón activado.

1. Fue necesario determinar la dosis óptima de sulfato sólido, siguiendo los pasos del ...numeral 3.1.1....
2. Se preparó una nueva prueba de jarras, en la que se agregó la dosis óptima establecida en el numeral anterior, y dosis variables de carbón activado de tal manera que la primera jarra no contenía carbón activado, la segunda 1 ml, tercera jarra 2 ml, cuarta jarra 3 ml, quinta jarra 4 ml y la última jarra 5 ml³².

³⁰ La dosis máxima permitida para ser usada en aguas potables según la NSF de USA es 1 mg/l.

³¹ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL, 2000. p. 51.

³² En algunos casos fue necesario hacer una prueba de jarras adicional, en la que se agregó 6 ml, 7 ml, 8ml, 9ml, 10 ml de carbón activado.

3. Se siguió el proceso descrito en ...el párrafo 2, 3 y 4, sección 3.1.1..., con la diferencia de que a los 10 segundos de agregado el coagulante se adicionó el carbón activado.
4. Después, se llevó a cabo lo estipulado en ...el numeral 5, 6, 7 y 8, sección 3.1.1....
5. Ya establecida la dosis optima de carbón activado, se hizo la prueba de mercurio residual.

Los resultados pueden ser observados en el anexo 14.

3.2.6 Determinación de la dosis óptima de carbón activado empleando sulfato de aluminio sólido solución al 1% y ayudante de floculación.

1. Se realizó una prueba de jarras para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio sólido, conforme a lo señalado en ...la sección 3.1.1....
2. Conociendo la dosis, se elaboró un ensayo para establecer la dosis óptima de ayudante de floculación, EXRO 621, considerado ...en el apartado 3.2.4....
3. Se preparó un juego de jeringas médicas con dosis variables de carbón activado, que iban desde 1ml, para la segunda jarra hasta 5 ml en la última jarra; una jarra se dejó sin dosis de carbón activado para establecer el punto de comparación para las demás.
4. De acuerdo al proceso señalado en ...el párrafo 2, 3, 4, sección 3.1.1..., se hizo una nueva prueba, pero se adicionó primero la dosis óptima de sulfato, tomado como este el instante cero, a los 10 segundos se dosificó el carbón activado y a los 30 segundos se agregó la dosis optima de ayudante de floculación.
5. Finalizada la coagulación, se continuó el procedimiento descrito en ...el numeral 5, 6, 7 y 8, de la sección 3.1.1....
6. Se determinó la dosis óptima de carbón activado y por último se realizó la prueba de mercurio residual.

Las pruebas y los parámetros empleadas están consignados en el anexo 15 y algunas pruebas adicionales como la dosis optima de carbón activado, empleado como sustancia coagulante y la dosis óptima del ayudante de floculación en conjunto con el sulfato de aluminio líquido se encuentran en los anexos 16 y 17.

4. EVALUACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO

4.1 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.

Las sustancias químicas empleadas en la planta son:

- Sulfato de aluminio como coagulante.
- Cal para corrección de pH.
- Cloro como desinfectante.
- Polímeros CYTEC 579 y EXRO 621 como ayudante de coagulación y floculación³³.

4.1.1 Sulfato de aluminio. Para el almacenamiento del sulfato se utiliza una bodega ubicada en el primer piso del Edificio de Químicos, tiene un área de 140 m² y una capacidad de almacenar 4000 bultos. Genera un ambiente propicio para el depósito de esta, ya que no es húmedo, tiene buena ventilación e iluminación y es de fácil acceso. El sulfato es transportado al tercer piso, lugar donde se encuentran las tolvas de los dosificadores por medio de un elevador con capacidad de 300 kilos.

Se utilizan bultos de 25 kilos de sulfato tipo B de la empresa SULFO QUÍMICA S.A. Cuando se reciben los pedidos de sulfato se les realiza ensayos de control de calidad correspondientes a porcentajes de alúmina, de hierro y porcentaje de insolubles³⁴.

4.1.2 Cal. Son almacenados en la bodega del primer piso del Edificio de Químicos, tiene un área de 56 m². Viene en presentación de bultos de 25 kilos de cal hidratada industrial, suministrada por la empresa Calco; es transportada al tercer piso por medio de un elevador y

³³ Suministrados por las empresas CYTEC y EXRO.

³⁴ En el anexo 18 puede verse el control de calidad hecho por la planta al coagulante.

depositado en el mezclador cilíndrico de 2.5m de diámetro y 0.8 m de altura que al disolverlo pasa a los extintores de cal marca DEGREMONT cada uno con capacidad de 2500 L.

La cal se aplica para modificar el pH puede hacerse en dos puntos, cuando se agrega sulfato de aluminio o en el tanque de agua tratada. Para garantizar una mezcla completa y uniforme entre la cal y el agua se utiliza el extintor, esta es aplicada en solución a una concentración del 5%³⁵.

4.1.3 Cloro. En medio de las dos bodegas del primer piso del Edificio de Químicos se encuentra la bodega de almacenamiento de cloro con capacidad de guardar 12 tanques, ahí se encuentran las indicaciones necesarias para cuando suceda algún escape, además un equipo detector de fugas de cloro, mascarar artigases, gafas, 2 tanques de aire y todo el equipo necesario para cuando suceda una emergencia.

En el segundo piso del Edificio de Químicos se encuentra la sala de cloradores, básicamente son dos marca WALLACE & TIERNAN con capacidad de 900 kilos /día cada uno, con todos los accesorios para su operación. Los puntos de dosificación de cloro son dos, el canal de aproximación a la canaleta Parshall³⁶ y en la cámara de cloración en el tanque de aguas claras.

4.1.4 Polímeros. Se usan los siguientes: CYTEC 579 como ayudante de coagulación y EXRO 621, ayudante de floculación. CYTEC 579 viene en presentación de cilindros de plástico, son almacenados en la bodega de sulfato de aluminio; el EXRO 621 se encuentra en sacos de 25 kilos para prepararse a determinada concentración.

Para la dosificación de estas sustancias la Planta ha tenido en cuenta los siguientes aspectos:

³⁵ Los certificados de calidad de la planta para el uso de cal se pueden revisar en el anexo 19.

³⁶ Se dosifica ahí cuando se presenta niveles de cianuro mayores a lo estipulado por el decreto 475 de 1998.

- ✓ Certificado de aprobación del uso de ayudantes de coagulación o floculación por parte de la NSF (National Foundation Sanitation).
- ✓ Certificado de calidad y ficha de seguridad por parte de la compañía que suministra el producto.

4.2 COAGULACIÓN.

Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

QUÍMICOS	DOSIFICACIÓN
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	PH, TURBIEDAD, COLOR, ALCALINIDAD.
VARIABLES FÍSICAS	TIEMPO Y GRADIENTE DE VELOCIDAD.

4.2.1 Dosificación de sustancias químicas.

4.2.1.1 Dosificación de Sulfato de Aluminio. Se lleva a cabo por medio de un dispositivo electrónico llamado "Chemtrac", es un controlador de flujo que registra los porcentajes de salida del mismo.

Para saber el grado de exactitud de los dosificadores, se hicieron una serie de aforos tomando como dato teórico el caudal dado por el aparato y el caudal real que llega a la flauta; estos registros se hicieron para una concentración del 10% manteniendo constante la agitación en la tolva, este procedimiento se hizo tres veces y se promediaron los resultados, en el anexo 20 se encuentran los resultados de esta prueba.

4.2.1.2 Dosificación de cal. Se llevó a cabo en los extintores de cal DEGEMONT; la metodología empleada es la misma que la anterior hacer tres aforos por cada escala y promediarlos(ver anexo 21).

4.2.1.3 Dosificación de polímero. Para la aplicación de polímero se utiliza una bomba marca Prominent, calibrada según la escala de la misma. La dosificación se hace de acuerdo a la relación entre sulfato de aluminio y ayudante de coagulación, es decir que la dosis de sulfato de aluminio representa el 70% y el restante es de polímero. En planta es suministrado después del sulfato de aluminio por medio de un tubo perforado para garantizar una distribución homogénea en el agua.

4.2.2 Mezcla Rápida. La evaluación se llevó a cabo en dos etapas, la primera teniendo en cuenta la eficiencia del proceso en función de las características del agua, de la dosis de coagulante, intensidad de la mezcla y el tiempo del mismo; la segunda etapa se desarrolló mediante un estudio de la canaleta Parshall como medidor de caudal.

4.2.2.1 Eficiencia de la mezcla rápida. El objetivo es determinar la eficiencia del proceso mediante una prueba en planta y en el laboratorio con el equipo de jarras. El procedimiento efectuado fue:

1. En el laboratorio se determinó la dosis óptima y mezcla rápida óptima, usando condiciones ideales de floculación y sedimentación.
2. En la planta se tomó una muestra ya coagulada y se le hizo una prueba de jarras con iguales condiciones de floculación y sedimentación.

Con los datos de laboratorio se determina la eficiencia

$$I_1 = 1/T_{\text{final}} - 1/T_{\text{inicial}}$$

Donde T_{final} es la turbiedad final y T_{inicial} es la turbiedad inicial del agua.

$$E = I_2/I_1 * 100$$

Para diferentes turbiedades del agua cruda los resultados fueron:

Tabla 27 Eficiencia del proceso de acuerdo a la turbiedad del agua cruda

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	I (%)
120	40
23	49.34
250	70.4

De acuerdo al criterio la eficiencia del proceso según el manual de evaluación de plantas de tratamiento del programa regional HPE/ OPS/ CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, la eficiencia en general del proceso es regular.

4.2.2.2 Intensidad de la mezcla. La intensidad de la mezcla rápida se mide por el gradiente de velocidad.; según la norma RAS 2000 este valor debe ser mayor a 1000 s^{-1} que para su determinación fue necesario encontrar las pérdidas de carga de la unidad.

Para evaluar las pérdidas de carga el procedimiento seguido fue:

1. Se midió el nivel piezométrico en la canaleta Parshall más exactamente en el pozo de medición al lado de la misma (H_0) ...ver figura 5....
2. Se midió la diferencia de nivel entre la cresta y la salida de la canaleta(K).
3. Se midió el nivel del agua en la salida de la canaleta(H_3).
4. Repetir este procedimiento para diferentes caudales.

El gradiente de velocidad está dado por la siguiente expresión:

$$G = (h_f * \delta / \mu * T_r)^{1/2}$$

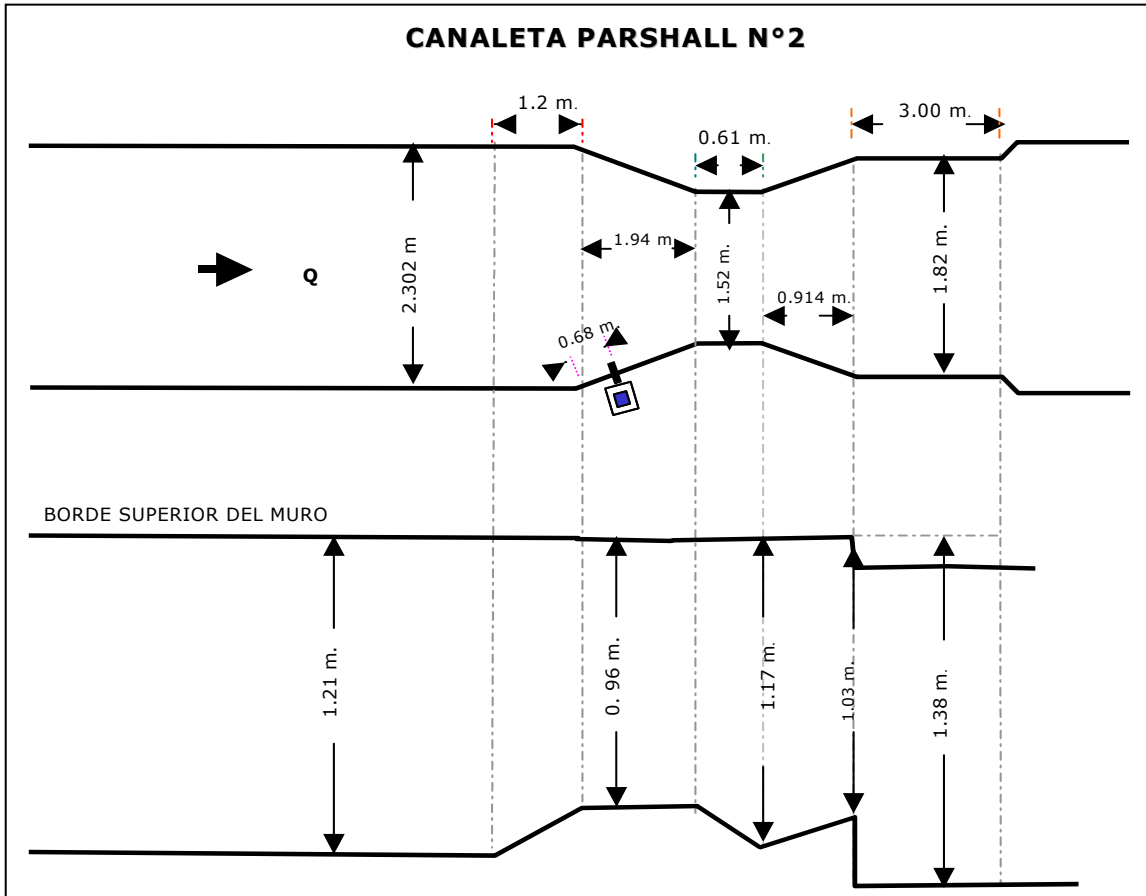
h_f = pérdidas de carga (m).

T_o = tiempo de retención de la mezcla en segundos.

$\mu = 1.009 \times 10^{-4}$ Kg-f-Seg/m² para una temperatura de 20°C.

$\delta = 998.23$ kg-f/m³ para una temperatura de 20°C.

Figura 5 Planta y perfil de la canaleta Parshall No. 2.



El tiempo de retención de la mezcla empleado para determinar el gradiente de velocidad, fue hallado teóricamente para cada uno de los caudales estudiados, en la tabla 28 se muestran para diferentes caudales el gradiente de velocidad.

4.2.2.2.1 Calibración de la canaleta Parshall. Por medio de un aforo se estableció la ecuación de calibración de la canaleta.

Tabla 28 Gradiente de velocidad de la mezcra rápida.

Q m^3/s	H_a m	K m	H_3 m	$V_a^2/2g$ m	$V_3^2/2g$ m	H_f m	G S^{-1}
1.300	0.600	0.076	0.527	0.057	0.093	0.114	787.566
1.216	0.590	0.076	0.507	0.052	0.088	0.123	793.270
1.097	0.530	0.076	0.427	0.052	0.101	0.131	776.125
0.878	0.450	0.076	0.387	0.046	0.078	0.107	628.306
0.675	0.370	0.076	0.342	0.041	0.059	0.085	491.703
0.533	0.320	0.076	0.287	0.034	0.053	0.090	449.655
0.454	0.26	0.076	0.257	0.037	0.048	0.069	361.881

El aforo se hizo de acuerdo a la Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos³⁷; y que se resume a continuación:

1. Se efectuaron las mediciones de las dimensiones del canal de aproximación para elegir los puntos en los cuales se tomarían las mediciones con molinete, en este caso fueron 5.
2. Se esperó hasta que el flujo se estabilizara.
3. En los puntos ya establecidos se midió el nivel del agua, para dividir la sección transversal en un número determinado de verticales, para niveles mayores a 60 cm, se tomaron velocidades a 20cm y 80cm de la profundidad; si el nivel era menor a 60 cm, entonces la velocidad media se estableció midiendo la velocidad a 60 cm de la profundidad. En este caso las profundidades fueron menores a 60 cm, se escogieron dos verticales por cada punto para tener menores errores en el cálculo del caudal.
4. Se tomó la altura de la lamina de agua y se sumergió el molinete verticalmente de manera que la hélice quedara enfrentada al flujo y a la profundidad determinada anteriormente desde el fondo del canal hasta el eje horizontal de ésta.
5. Se puso en ceros el contador del molinete y el cronómetro. Después de 50 segundos se tomó la lectura del contador del instrumento.
6. Se modificó la altura del eje del molinete respecto al fondo del canal y se tomó la lectura.
7. Se repitió los pasos 4, 5, 6 y 7 para los puntos restantes de medición.

³⁷ GAVILÁN LEÓN, Germán. Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001, p3.

En la tabla siguiente se resume los datos obtenidos de este ensayo, para enfatizar su realización se recomienda ver el anexo 23.

Q L/S	H_a cm
1718	61.5
1479	56
1374	53
869	40
751	37
740	36
616	32
423	26

La ecuación que relaciona la cabeza aguas arriba y el flujo Q para varios tamaños de canaleta Parshall tiene la forma:

$$Q = k * H^n$$

Para la determinación de los coeficientes k y n se utilizó la regresión lineal con los valores de caudal y altura piezométrica.

$$\text{Log } Q = \text{Log } k + n * \text{Log } H$$

$$Y = k + n * X$$

La ecuación para la canaleta Parshall No. 2 es:

$$Q = 2.23776 * H^{1.61483}$$

Tiene una correlación de 0.99954, lo que la hace satisfactoria para su empleo.

De acuerdo al aforo hecho con molinete, se encontraron caudales inferiores con el molinete. Los valores medidos con el molinete difieren en menos del 5% de los medidos en la canaleta Parshall, errores esperados en este tipo de aforadores.

4.2.2.3 Determinación de los gradientes de velocidad de los canales de interconexión con los floculadores 1 y 4. Para ello es necesario hallar las pérdidas de carga en el canal, midiendo el nivel del agua en la entrada y la salida del canal .

$$h_f = h_1 - h_2$$

$$G = (h_f * \delta / \mu * T_r)^{1/2}$$

h_1 : nivel del agua al comienzo del canal.

h_2 : nivel del agua al final del canal.

T_r : tiempo de retención según el ensayo de trazadores

Tabla 29 Gradiente de velocidad, canal de conexión al floculador 1.

Canal 1		
h_1(m)	h_2(m)	G(s⁻¹)
60	61	28

Tabla 30 Gradiente de velocidad, canal de conexión al floculador 4.

Canal 4		
h_1(m)	h_2(m)	G(s⁻¹)
60	64	57

4.3 FLOCULACIÓN.

La evaluación de esta unidad se levó a cabo teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Determinación de la intensidad de floculación.
2. La eficiencia comparativa del proceso.
3. Determinación de las condiciones hidráulicas de los floculadores.
4. Control del proceso de floculación.

4.3.1.1 Determinación de la intensidad de floculación. La intensidad se mide por medio de los gradientes de velocidad de cada una de las cámaras del floculador.

Para lo anterior se utiliza la siguiente expresión:

$$G = K(N^3 \cdot \Sigma Ar^3 / \mu \cdot V)^{1/2}$$

Donde:

K: factor de forma de los floculadores (90).

N: número de vueltas por segundo.

μ : viscosidad dinámica del agua 0.984×10^{-4} Kg-f-m/S/m³.

V: volumen de la unidad (176.4 m³).

ΣAr^3 : 69.023 m⁵

4.3.2 Eficiencia comparativa del proceso. En laboratorio se estudian las condiciones ideales para el proceso de floculación, para tal fin se determina dosis optima de coagulante, gradiente optimo y el tiempo de retención.

Tabla 31 Gradientes de velocidad de los floculadores.

FLOCULADOR 1		FLOCULADOR 2		FLOCULADOR 3		FLOCULADOR 4	
CÁMARA No.	G S ⁻¹	CÁMARA No.	G S ⁻¹	CÁMARA No.	G S ⁻¹	CÁMARA No.	G S ⁻¹
1	40.39	1	40.39	1	50.61	1	40.39
2	28.03	2	28.03	2	28.03	2	29.49
3	38.77	3	28.03	3	28.03	3	30.98
4	21.10	4	32.49	4	19.80	4	28.03

Tabla 32 Revoluciones por minuto de cada compartimiento de los floculadores.

FLOCULADOR 1		FLOCULADOR 2		FLOCULADOR 3		FLOCULADOR 4	
CÁMARA No.	rpm	CÁMARA No.	rpm	CÁMARA No.	rpm	CÁMARA No.	rpm
1	2.22	1	2.22	1	2.60	1	2.22
2	1.76	2	1.76	2	1.76	2	1.81
3	2.14	3	1.76	3	1.76	3	1.87
4	1.42	4	1.93	4	1.42	4	1.76

Por medio de mínimos cuadrados se determina la ecuación de la recta y el gradiente de velocidad necesario para flocular 24 minutos (tiempo de retención ideal de los floculadores), se hace una prueba de jarras utilizando el gradiente anterior, floculando por 24 minutos y sedimentando 10 m, terminado este tiempo se toman las turbiedades correspondientes y se promedian a este valor (T_I).

En la planta, se sacan 3 muestras de agua (2 litros) al final del floculador y se deja sedimentar 10 minutos, se toman las turbiedades respectivas y se promedian (T_p)

$$E = T_I/T_p * 100$$

Tabla 33 Eficiencia de la floculación según la calidad del agua cruda.

TURBIEDAD AGUA CRUDA (UNT)	I (%)
120	30.6
23	25.92
250	55.35

4.3.3 Determinación de las condiciones hidráulicas de los floculadores. Se hizo mediante el ensayo con trazadores, determinando primero el caudal real de cada unidad; el procedimiento fue el siguiente:

- ❖ Se calculó la cantidad de sal común de acuerdo a los volumen de agua y determinar la conductividad inicial del agua.
- ❖ Se agregó la sal en el canal de mezcla de aproximación, allí se toma el tiempo igual a cero y se empieza a muestrear ha períodos de tiempo predeterminados hasta que la conductividad del agua sea igual a la inicial(antes de agregar sal).
- ❖ La suma total del trazador de cada uno de los reactores será el 100% de caudal que ingresa a la planta; determinar cada uno de los porcentajes de caudal que pasaron por cada unidad.

El caudal de trabajo de la planta fue de 850 L/s y el caudal de cada unidad es:

Tabla 34 Caudal de trabajo de los floculadores.

FLOCULADOR NO	CAUDAL DE TRABAJO(L/S)	TIEMPO DE RETENCIÓN(MIN)
1	225.630	52.12
2	222.887	52.76
3	240.235	48.95
4	161.247	72.93

Para determinar y caracterizar los flujos, evaluar la eficiencia hidráulica de los Floculadores y encontrar el tiempo real de retención se tomaron muestras a la salida de los mismos inicialmente cada minuto y al finalizar cada 5 minutos. Los análisis de flujos se hizo de acuerdo a la referencia bibliográfica [2].

4.3.3.1 Análisis por el método Wolf-Resnick. Los datos de las columnas (3) y (8) del anexo 26 son graficados en papel semilogarítmico dando como resultado la curva de cantidad de trazador que permanece en el floculador (1-F(t)); a la cual se traza una línea tangente en la parte superior, haciendo el examen se obtiene:

Tabla 35 Análisis de flujos Método Wolf-Resnick

FLOC No.	\emptyset	t/t_0	t_2/t_0	$\text{Tan}(\theta)$	P(%) Flujo pistón	m(%) Espacios muertos	M Flujo Mezclado
1	0.43	0.43	1.55	0.892	46.8	8.11	53.11
2	0.5	0.5	1.10	1.666	65.7	23.8	34.2
3	0.41	0.41	1.1	1.449	57.7	28.9	42.2
4	0.25	0.25	1.12	1.149	39.7	37	60.3

4.3.3.2 Análisis por el método convencional. con los datos de las columnas (2) y (5), del mismo anexo mencionado anteriormente se realiza la curva de concentración de trazador con respecto al tiempo de acuerdo a este se determinan los siguientes valores:

- ✓ t_1 = tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
- ✓ t_{10} = tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total de trazador.
- ✓ t_c = tiempo correspondiente al paso del 50% de la máxima concentración de trazador.
- ✓ t_b = tiempo correspondiente al paso del 10% de la máxima concentración de trazador.
- ✓ t_p = tiempo modal, corresponde a la concentración máxima de trazador.
- ✓ t_m = tiempo mediano, es equivalente al paso del 50% de la cantidad total de trazador.
- ✓ t_0 = es el tiempo medio o teórico de retención.
- ✓ t_{90} = tiempo equivalente al paso del 90% de la cantidad total de trazador.
- ✓ t_f = tiempo transcurrido en atravesar la totalidad del trazador.

A los valores anteriores se les resta el tiempo de retención de la mezcla rápida a la entrada de cada uno de los floculadores y el tiempo de retención de los canales de aproximación a los floculadores 1 y 4. Para los floculadores 1 y 4 es 2.25 y 2.30 minutos respectivamente; floculadores 2 y 3 es 55 y 60 segundos.

Según se puede observar, la información de la floculación analizada y estudiada se detalla en las tablas 36, 37, 38 y 39 que se muestran a continuación:

Tabla 36 Análisis por el método convencional Floculador 1

CRITERIO	CONSECUENCIA
$T_1/t_0 = 0.0911$	Flujo Mezclado, existencia de cortocircuitos.
$t_m/t_0 = 0.731$	Presencia de Flujo Pistón y espacios muertos.
$t_p/t_0 = 0.877$	Relación entre flujo pistón y flujo mezclado.
$t_c/t_0 = 1.413$	No existe difusión debido a turbulencias.
$t_b/t_0 = 2.225$	Existe flujo mezclado ideal.
$C = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $C = 1.132$	Indica la existencia de flujo pistón y mezclado. Es función de La recirculación.

Tabla 37 Análisis por el Método Convencional Floculador 2

CRITERIO	CONSECUENCIA
$T_1/t_0 = 0.1412$	Flujo Mezclado, existencia de cortocircuitos.
$t_m/t_0 = 0.6411$	Existencia de espacios muertos.
$t_p/t_0 = 0.709$	Predominio de Flujo Pistón en relación al Flujo Mezclado.
$t_c/t_0 = 0.824$	Existencia de Flujo Mezclado.
$t_b/t_0 = 1.915$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa .
$C = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $C = 0.227$	Indica el predominio del flujo pistón.

Tabla 38 Análisis por el Método Convencional Floculador 3.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$T_1/t_0 = 0.0817$	Flujo Mezclado, existencia de cortocircuitos.
$t_m/t_0 = 0.587$	Presencia de espacios muertos o cortocircuitos.
$t_p/t_0 = 0.735$	Relación entre Flujo Pistón y flujo Mezclado.
$t_c/t_0 = 1.033$	No existe difusión debido a turbulencias.
$t_b/t_0 = 1.279$	Por debajo del valor de la mezcla completa ideal.
$C = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $C = 0.224$	Indica el predominio del Flujo Pistón.

Tabla 39 Análisis por el Método Convencional Floculador 4.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$T_1/t_0 = 0.0781$	Flujo Mezclado, existencia de cortocircuitos.
$t_m/t_0 = 0.585$	Existencia de espacios muertos o cortocircuitos.
$t_p/t_0 = 1.065$	Relación del Flujo Pistón respecto al Flujo Mezclado.
$t_c/t_0 = 0.774$	Unidad con Flujo Mezclado ideal.
$t_b/t_0 = 1.521$	Por debajo del valor de la mezcla completa ideal.
$C = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $C = -0.0274$	Indica el predominio del flujo pistón.

4.3.3.3 Índice de Morril. con las columnas (2) y (7) del anexo 26, se hace la gráfica de tiempo y fracción de trazador que pasa, utilizando papel de probabilidades-logarítmico, obteniéndose los valores correspondientes a t_{90} y t_{10} .

Tabla 40 Índice de Morril

FLOC NO	t₉₀(Min)	t₁₀(Min)	t₉₀/ t₁₀	CONSECUENCIA
1	60.75	13.75	4.41	Existencia de Flujo Mezclado y espacios muertos.
2	48.45	15.45	3.135	Existencia de Flujo Mezclado.
3	46	10	4.6	Existencia de Flujo Mezclado y espacios muertos.
4	97.7	24.7	3.955	Existencia de Flujo Mezclado y espacios muertos.

4.4 SEDIMENTACIÓN.

Es el proceso principal en la clarificación del agua que separa los sólidos de líquidos, por lo tanto es importante conocer su eficiencia remocional.

Los factores que afectan esta eficiencia se clasifican:

- ✓ Las características del proceso.
- ✓ Las condiciones de flujo hidráulico.

Las cuales dependen de:

- ✓ Las características fisicoquímicas del agua, color, turbiedad y temperatura.
- ✓ Del proceso de coagulación y floculación.
- ✓ Del diseño de las unidades, las estructuras de entrada, salida y depósito de lodos.
- ✓ Factores externos como los vientos, cambios de temperatura en el ambiente, etc.
- ✓ Operación y mantenimiento.

Las actividades realizadas para evaluar las unidades de sedimentación fueron:

- ▲ Ensayos de laboratorio para establecer los parámetros ideales.
- ▲ Análisis de datos de producción y eficiencia.
- ▲ Ensayos de caracterización de procesos y componentes de unidades.
- ▲ Determinación de condiciones y características hidráulicas.

4.4.1 Determinación de la eficiencia. Se hace mediante la calidad del agua sedimentada. Los datos presentados en el anexo 9 corresponden a los cuatro sedimentadores de la planta agrupados en rangos de turbiedad predeterminados, encontrándose su frecuencia de presentación y el porcentaje de frecuencia acumulada.

Se observa(anexo 30) que para un 98.56% del tiempo la turbiedad del sedimentador 1 es menor que 10 UNT, indicando un proceso muy bueno y excelente con un 91.5% para turbiedades inferiores a 5 UNT.

Tabla 41 Clasificación de los sedimentadores en función de la calidad del agua producida

EFICENCIA	TURBIEDAD DEL AGUA SEDIMENTADA UNT
Excelente	< 5
Muy buena	5 - 10
Buena	10 - 15
Regular	> 15

4.4.2 En función de la calidad del agua cruda. El grado de eficiencia de la sedimentación depende de la calidad del agua cruda(turbiedad, color, temperatura), es un factor importante, al respecto Camp considera que cuando la concentración volumétrica de sólidos excede en un 0.5%(5000 ppm) en volumen se presenta una disminución en la velocidad de asentamiento, produciéndose una sedimentación autointerferida, usualmente la eficiencia puede

incrementarse hasta un contenido de 600 ppm, sobre los cuales disminuye por empezar a presentar este tipo de sedimentación.

En el anexo 31 se encuentran los datos de calidad de agua cruda en función de la turbiedad media del agua sedimentada, este valor se da como promedio de la turbiedad de los cuatro sedimentadores de la planta.

Analizando los datos de las columnas (3) y (4) de la tabla del anexo anteriormente mencionado, y aplicando mínimos cuadrados; la ecuación de eficiencia remocional de turbiedad será:

$$T_s = (\text{LOG}(T_{AC}) - 1.522) / 0.315$$

Donde T_s es la turbiedad del agua sedimentada y T_{AC} es la turbiedad del agua cruda.

Adicionalmente, de esta ecuación se puede concluir que para una turbiedad de 600 UNT se consigue una turbiedad sedimentada de 3.98 UNT, y para que la turbiedad del agua sedimentada sea 5 UNT, máximo valor de turbiedad permitido en aguas potables, el valor de la turbiedad del agua cruda es de 1250 UNT, lo que quiere decir que los sedimentadores funcionan eficientemente.

4.4.3 En función del pretratamiento. La velocidad de sedimentación de las partículas floculentas depende del tamaño, densidad y consistencia de estas por lo que se encuentra directamente relacionado con la dosis de coagulante utilizado, si se emplearon o no polielectrolitos, de la intensidad y tiempo de mezcla rápida y floculación; esta evaluación tiene como objetivo determinar la influencia del pretratamiento (coagulación-floculación) en el proceso de sedimentación.

Procedimiento: reproducir en el equipo de jarras las condiciones óptimas de coagulación-floculación y en la sedimentación tomar muestras a intervalos conocidos de tiempo a una altura determinada (H); hallar con estos datos $V_s = H/T_s$

En planta, tomar tres muestras(2 litros) a la salida de las unidades de floculación, dejar sedimentar y tomar muestras para análisis de turbiedad residual a igual profundidad e intervalos de tiempo que el ensayo anterior; hallar $V_s = H/T_s$.

Con los datos de la planta y el laboratorio se hace la figura de turbiedad remanente versus velocidad de sedimentación, obteniéndose la eficiencia teórica y real para el sedimentador de placas.

Para una carga superficial de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ que corresponde a una velocidad de sedimentación de 0.01967 cm/s . el índice de eficiencia es:

$$I = \frac{I_L}{I_p} * 100 = 30.61\%$$

El índice de eficiencia encontrado indica que el proceso de coagulación-floculación es deficiente.

4.4.4 Determinación de las condiciones y las características hidráulicas. Para la caracterización de flujo se llevaron a cabo los siguientes ensayos:

- ✓ Determinación de porcentaje de flujo pistón y flujo mezclado.
- ✓ Determinación de espacios muertos y cortocircuitos.
- ✓ Determinación de tiempo real de retención.
- ✓ Determinación de las líneas de flujo.
- ✓ Carga superficial real.

4.4.4.1 Ensayo con trazadores. Tiene como objetivo determinar y caracterizar los flujos, evaluar la eficiencia hidráulica del decantador y determinar el tiempo real de retención.

En el anexo 33 se encuentran los datos concernientes al ensayo con trazadores efectuado al sedimentador 1; a continuación se presenta el análisis de flujos de acuerdo a los tres métodos existentes.

4.4.4.1.1 Método Wolf-Resnick. Los datos de las columnas (3) t/t_0 y (8) $1-F(t)$, se grafican en escala logarítmica-aritmética, obteniéndose la curva de cantidad de trazador que permanece en el sedimentador $1-F(t)$, además se tiene en cuenta el efecto del Floculador en el Sedimentador, por análisis de la gráfica se obtienen los siguientes valores:

\emptyset : 0.75
 t/t_0 : 0.75
 t_2/t_0 : 1.9

$$\text{Tan}(\theta) = \frac{1}{t/t_0 - t_2/t_0} = 0.869$$

Determinación del Flujo Pistón:

$$P = \frac{\emptyset \times \text{Tan}(\theta)}{0.435 + \emptyset \times \text{Tan}(\theta)} = 0.6$$

Flujo Pistón P, 60%.

Determinación de Espacios Muertos:

$$m = 1 - \emptyset/P = -0.25$$

No hay Espacios Muertos m.

Determinación de Flujo Mezclado:

$$M = 1 - P = 0.4$$

Flujo Mezclado M, 40%.

4.4.4.1.2 Método Convencional. Con los datos de las columnas (2) t y (5) $C-C_0$ se grafican para obtener la variación de la cantidad de trazador con el tiempo total de duración del ensayo t_f del ensayo con

trazadores. A los siguientes valores es necesario restarles 2.25 minutos, es el tiempo de retención de la mezcla rápida y el canal de aguas coaguladas hacia el floculador 1 y 45.75 minutos correspondientes al tiempo de retención del Floculador 1; haciendo el análisis resultan los siguientes valores:

Tabla 42 Análisis por el Método Convencional Sedimentador 1

CRITERIO	CONSECUENCIA
$t_1/t_0 = 0.161$	Tendencia a Flujo Mezclado. Presencia de cortocircuitos.
$t_m/t_0 = 1.05$	Espacios muertos negativos o errores en el ensayo.
$t_p/t_0 = 0.966$	Predominio de Flujo Pistón en relación al Flujo Mezclado.
$t_c/t_0 = 0.541$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa.
$t_b/t_0 = 1.294$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa.
$C = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $C = 1.275$	Indica la presencia de Flujo Pistón y Flujo Mezclado. Es función de la recirculación.

4.4.4.1.3 Índice de Morril. En base a los datos de las columnas (2) t y (7) F(t) se elabora la figura , porcentaje de trazador F(t) que pasa en razón al tiempo de duración del ensayo. De acuerdo a ello se estiman los siguientes valores:

$$t_{90}/t_{10} = 4.35$$

Lo que indica la presencia de Flujo Mezclado.

4.5 FILTRACIÓN.

Es un proceso complejo cuyo objetivo es remover partículas que no fueron retenidas en la sedimentación, envuelve una serie de mecanismos que aún no se ha definido cual de ellos es el más importante en la filtración.

Los factores que influyen en la filtración rápida son las características de las partículas suspendidas (tamaño, pH, densidad, resistencia, etc) y por otra parte las características del medio filtrante (tipo, tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad, forma, peso específico, espesor de las capas filtrantes).

4.5.1 Características del proceso de filtración. Se busca es determinar el caudal y la velocidad con la que están operando los filtros, así como las pérdidas de carga a lo largo de la carrera de filtración para tener una idea del estado en que se encuentra el proceso.

4.5.1.1 Velocidad y Caudal de filtración. Para determinarlos es necesario introducir una mira en el filtro, cerrar la válvula de ingreso de agua sedimentada y medir el tiempo en que el nivel desciende 10 cm, tomar varios tiempos y promediar.

$$V_f (m^3 / m^2 - día) = \frac{Q(m / s) * 86400}{A_L}$$

$$Q(m / s) = \frac{A_F(m^2) * 0.1m}{t(s)}$$

Tabla 43 Velocidad y caudal de filtración.

FILTRO No.	AREA (m ²)		TIEMPO DE DESCENSO (S)	DISTANCIA DE DESCENSO (m)	CAUDAL CALCULADO l/s	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (m ³ /m ² -día)
	FILTRO A _F	LECHO A _L				
1	57	48.91	120	10	47.5	83.92
2	57	48.91	131	10	43.51	76.86
3	57	48.91	125	10	45.6	80.55
4	57	48.91	126	10	45.52	79.91
5	57	48.91	142	10	40.1	70.90
6	57	48.91	150	10	38	67.12
7	57	48.91	130	10	43.84	77.45
8	57	48.91	127	10	44.88	79.28
9	57	48.91	134	10	42.53	75.14
10	57	48.91	150	10	38	67.12
11	57	48.91	152	10	37.5	66.24
12	57	48.91	144	10	39.58	69.92

4.5.1.2 Pérdidas de carga en el filtro. Para determinar la evolución de las pérdidas de carga es necesario iniciar con las baterías de filtros limpias, es decir se lavaron todos los filtros y se abrió la compuerta que comunica las aguas decantadas de las dos etapas de los sedimentadores. Se colocaron dos reglas graduadas, una en la caja del filtro y la otra en la salida del agua filtrada, el cero de las dos reglas debe coincidir con el nivel del agua del filtro recién lavado, cuando empieza a operar, se toman los datos de los niveles en la caja y la salida, las turbiedades del afluente y el efluente y medir las fluctuaciones de carga en el efluente.

En los anexos 34 y 35 se pueden verificar los datos concernientes a los filtros 7 y 12, cuyas curvas de pérdidas de carga indican una penetración muy limitada de materia coagulada dentro del medio filtrante, condición normal de operación de los filtros. En la calidad del agua filtrada se puede ver que a medida que pasa el tiempo la calidad de esta es generalmente menor a 0.5 UNT, algunos incrementos se presentaron por aumentos en la turbiedad del afluente o por variación en el caudal de operación en la planta, pero casi siempre fue menor a este valor lo que hace este proceso muy eficiente.

4.5.1.3 Calidad de la etapa inicial de filtración. Al ser puesto en operación un filtro después de lavarlo generalmente se tienen turbiedades más altas del efluente que en el resto de la operación del mismo, esto se presenta debido a que ciertas partículas que han sido desprendidas durante el proceso de lavado han quedado retenidas en el lecho y dentro de este, saliendo al comenzar la operación. En el anexo 36 se muestran los datos correspondientes a este ensayo.

La máxima turbiedad dada recién entraron en operación los filtros fue de 1 UNT, lo que indica que el proceso de lavado es eficiente para remover la colmatación de los filtros.

4.5.1.4 Bolas de barro. La presencia de bolas de barro indica el grado de deterioro del lecho filtrante o puede indicar el lavado deficiente que no remueve el material retenido en el lecho, o también a una frecuencia inadecuada de retrolavados.

El procedimiento fue el siguiente: después de un lavado normal del filtro, se drena hasta un nivel bajo; se extrajo una muestra representativa del medio filtrante (en 4 puntos del filtro) y se determinó su volumen, se tomó el material por partes y se depositó en el tamiz No. 10 y sumergirlo en un balde con agua, de esta forma quedan retenidas las bolas de barro. En una bureta se depositó un volumen de agua conocido; el volumen de bolas de barro fue el volumen de aumento cuando se agreguen las bolas de barro.

$$\% \text{ bolas de barro} = V_b/V_o * 100$$

Donde

V_b = Volumen de las bolas de barro, en ml.

V_o = Volumen total de la muestra analizada, en ml.

De acuerdo a la clasificación de la tabla 44, los 12 filtros de la planta se encuentran en buen estado, el lavado es eficiente, comprobado también en la calidad inicial del agua filtrada.

Tabla 44 Clasificación de los filtros según el porcentaje de bolas de barro.

% DE VOLUMEN DE BOLAS DE BARRO	CONDICIONES DEL MEDIO FILTRANTE
0-0.1	Excelente
0.1-0.2	Muy Bueno
0.2-0.5	Bueno
0.5-1.0	Regular
1.0-2.5	De Regular a Mal
2.5-5.0	Mal
>5.0	Muy Malo

4.5.1.5 Características del proceso de lavado. Es muy importante determinar las condiciones de lavado ya que generalmente los problemas que ocurren por operación del filtro son debidos a la eficiencia con la que son lavadas estas unidades.

4.5.1.5.1 Velocidad de lavado del filtro. Tiene como objetivo determinar la velocidad y el caudal de lavado con que está operando el filtro. Primero se introduce una mira a la caja del filtro se cierra la válvula de ingreso de agua sedimentada y se deja descender hasta el nivel más bajo, se cierra la válvula de salida de agua filtrada, se abre la válvula de ingreso de agua de lavado y medir el tiempo en que tarda en subir el nivel del agua en la caja una altura de 10 cm.

El rango de la velocidad de lavado con agua normalmente debe encontrarse entre 0.6 m/min y 1.0 m/min, valor recomendado por la norma RAS 2000, en la planta se encuentran velocidades entre 0.6-0.8m/min por lo que la planta cumple con este requisito, como detalla la tabla 45 que podremos apreciar enseguida:.

Tabla 45 Determinación de la velocidad y el caudal de lavado

FILTRO No.	AREA (m2)		TIEMPO DE SUBIDA (S)	DISTANCIA DE SUBIDA (Cm)	CAUDAL LAVADO L/S	VELOCIDAD DE LAVADO(m/min)
	FILTRO A _F	LECHO A _L				
1	57	48.91	9	10	543	0.66
2	57	48.91	10	10	489.1	0.60
3	57	48.91	10	10	489.1	0.60
4	57	48.91	10	10	489.1	0.60
5	57	48.91	9.5	10	514.8	0.63
6	57	48.91	9	10	543	0.66
7	57	48.91	9	10	543	0.66
8	57	48.91	11	10	444.63	0.55
9	57	48.91	8	10	611.37	0.75
10	57	48.91	11	10	444.63	0.55
11	57	48.91	10	10	489.1	0.60
12	57	48.91	9	10	543	0.66

4.5.1.5.2 Expansión del lecho filtrante. Para determinar el porcentaje de aumento del lecho durante el lavado fue necesario fijar una varilla con cajitas soldadas distanciadas 5 cm entre sí, dentro del filtro colocando el extremo inferior encima del medio filtrante. Se efectúa el lavado normal y cuando se suspenda el mismo medir la distancia a la tapa más alta que contenga material filtrante.

La expansión depende de la velocidad con la que se inyecte el agua de lavado y el diámetro del medio granular.

Tabla 46 Porcentaje de expansión del lecho filtrante

FILTRO No.	EXPANSIÓN (cm)	PROFUNDIDAD DEL LECHO (cm)	% DE EXPANSIÓN
1	25	95	26.32
2	30	95	31.58
3	35	95	36.84

FILTRO No.	EXPANSIÓN (cm)	PROFUNDIDAD DEL LECHO (cm)	% DE EXPANSIÓN
4	35	95	36.84
5	30	95	31.58
6	20	95	21.05
7	25	95	26.32
8	30	95	31.58
9	35	95	36.84
10	35	95	36.84
11	30	95	31.58
12	25	95	26.32

4.5.1.5.3 Duración del proceso de lavado. El objetivo de esta actividad era determinar como varía la turbiedad del agua de lavado a fin de deducir el tiempo óptimo en que debe ejecutarse esta operación.

El procedimiento seguido fue iniciar el lavado normal del filtro y tan pronto como empezó a caer el agua de lavado en las canaletas se tomaron muestras a intervalos de tiempo predeterminados para finalmente determinárseles la turbiedad.

En el anexo 38 están consignados los datos de este ensayo, de la curva correspondiente el tiempo óptimo de lavado es de 8 a 10 minutos para las dos baterías.

5. EVALUACIÓN PRETRATAMIENTO

Básicamente el enfoque dado a la evaluación consistió en determinar las condiciones hidráulicas de funcionamiento de las siguientes estructuras:

- Canaleta Parshall No. 1.
- Los dos presedimentadores.

Para ello se hizo un control de cada uno de los procesos por medio de los siguientes ensayos:

16. Prueba con trazadores, cuyo fin es determinar la proporción de flujo pistón y flujo mezclado, de cortocircuitos y zonas muertas existentes en el presedimentador.
17. Estudio de la canaleta Parshall No. 1 como mezclador hidráulico; por medio de un aforo y toma de datos de niveles se hizo un seguimiento al resalto hidráulico para encontrar su comportamiento de acuerdo al caudal.
18. Topograma de turbiedades en los dos presedimentadores para tener una idea clara de las condiciones internas de flujo de las unidades y determinar los problemas hidráulicos ocasionados por las obras de entrada y de salida.

5.1 PRUEBA CON TRAZADORES.

La sustancia trazadora escogida fue la sal común, adicionada de forma instantánea en el resalto de la canaleta Parshall No. 1, de forma tal que se garantizara la mezcla total con la masa de agua.

Se tomaron muestras a la entrada y salida de los presedimentadores a intervalos de tiempo definidos.

5.1.1 Determinación del caudal de trabajo para cada presedimentador. Con los resultados de la prueba con trazadores en la entrada de los presedimentadores se puede definir el caudal que pasa para cada uno de ellos; en el anexo 39 y 40 se encuentran los datos obtenidos del ensayo, de ahí se sacan los valores correspondientes a la cantidad total de trazador, se suman y esto representa el 100% del caudal de la planta, luego cada cantidad representa una fracción del caudal.

Cantidad total de trazador del presedimentador 1 = 14064.

Cantidad total de trazador del presedimentador 2 = 16574.

Caudal de trabajo de la planta = 876 l/s.

Caudal de trabajo del presediementador 1 = 402 l/s.

Caudal de trabajo del presediementador 2 = 474 l/s.

5.1.2 Determinación de las características hidráulicas del presedimentador1.

Tiempo Teórico de retención (T_0) = V / Q

V = Volumen.

Q = Caudal que pasa por la unidad.

$$T_0 = 2452.45 \text{ m}^3 / 0.402 \text{ l/s} = 101.67 \text{ min.}$$

5.1.2.1 Análisis por el Método Wolf-Resnick. Con los datos de las columnas 3 (t/t_0) y 8 ($1-F(t)$), se grafican, obteniéndose la curva de cantidad de trazador que permanece en el presedimentador $1-F(t)$; ...véase anexo 43..., la cual se traza una tangente a la parte superior de la curva para determinar:

$$v = 0.159$$

$$t_1/t_0 = 0.159$$

$$t_2/t_0 = 0.5357$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 2.6546$$

Determinación del Flujo Pistón (P)

$$P = \frac{\theta \times \tan \alpha}{0.435 + \theta \times \tan \alpha} = 0.49245$$

Flujo Pistón; P = 49.24%.

Determinación de Espacios Muertos (m)

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 0.67713$$

Espacios muertos; m = 67.71%.

Determinación de Flujo Mezclado (M)

$$M = 1 - P = 0.5075$$

Flujo Mezclado; M = 50.75%.

5.1.2.2 Análisis por el método convencional. En el se establece la eficiencia hidráulica de un reactor analizando la tendencia de la curva de concentración de trazador (C-C₀) vs. Tiempo y relacionar sus diferentes parámetros con condiciones de flujo; De acuerdo a esto se establecen los siguientes valores a los que se les resta el tiempo de retención del proceso anterior, mezcla rápida-entrada al presedimentador, 6 minutos.

t₁ = Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente, 10 min - 6 min = 4 min.

t_m = Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad total de trazador = 30.98min - 6 min = 24.39 min.

- t_p = Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración = 25 min – 6 min = 19 min.
- t_f = Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor = 102 min – 6 min = 96 min.
- t_b = Tiempo correspondiente al paso del 10% de la máxima concentración de trazador = 88.45 min – 6 min = 82.45 min.
- t_c = Tiempo correspondiente al paso del 50% de la máxima concentración de trazador = 67.55 min – 6 min = 61.55 min

De acuerdo a los siguientes criterios se calificó el comportamiento de la unidad evaluada.

Tabla 47 Características hidráulicas presedimentador 1. Método convencional.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$t_1/t_0 = 0.039$	Existencia de flujo Mezclado.
$T_1/t_0 < 0.30$	Tendencia de paso directo del trazador entre la entrada y la salida (corto-circuito).
$t_m/t_0 = 0.240$	Presencia de corto-circuitos o de espacios muertos.
$t_p/t_0 = 0.186$	Predominio de Flujo mezclado.
$t_c/t_0 = 0.605$	Se aproxima al valor que presentaría una unidad con flujo mezclado ideal.
$t_b/t_0 = 0.811$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa.
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $e = 0.609$	Indica la existencia de flujo Pistón y Mezclado.

5.1.2.3 Índice de Morril.

$$t_{10} = 20.42 \text{ min} - 6 \text{ min} = 14.42 \text{ min.}$$

$$t_{90} = 60.51 \text{ min} - 6 \text{ min} = 54.51 \text{ min.}$$

$$I.M = \frac{t_{90}}{t_{10}} = 3.78$$

Lo que indica la presencia de dos tipos de flujos, pistón y mezclado.

5.1.3 Determinación de las características hidráulicas del presedimentador2.

Tiempo Teórico de retención (T_0) = V / Q

V = Volumen.

Q = Caudal que pasa por la unidad.

$$T_0 = 2452.45 \text{ m}^3 / 0.474 \text{ l/s} = 86.23 \text{ min.}$$

5.1.3.1 Análisis por el Método Wolf-Resnick. Los resultados de esta prueba se encuentran en el anexo 35, los datos de las columnas 3 (t/t_0) y 8 ($1-F(t)$), se grafican, obteniéndose la curva de cantidad de trazador que permanece en el presedimentador $1-F(t)$; la cual se traza una tangente a la parte superior de la curva para determinar:

$$v = 0.102$$

$$t_1/t_0 = 0.102$$

$$t_2/t_0 = 0.649$$

$$\text{Tan } \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 1.826$$

Determinación del Flujo Pistón (P)

$$P = \frac{\theta \times \text{Tan } \alpha}{0.435 + \theta \times \text{Tan } \alpha} = 0.300$$

Flujo Pistón; P = 30%.

Determinación de Espacios Muertos (m)

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 0.6598$$

Espacios muertos; m = 65.98%.

Determinación de Flujo Mezclado (M)

$$M = 1 - P = 0.6999$$

Flujo Mezclado; M = 70%.

5.1.3.2 Análisis por el método convencional. De acuerdo a lo estipulado en ...la sección 1.1.3.2 ... se establecen los siguientes valores a los que se les resta el tiempo de retención del proceso anterior, mezcla rápida-entrada al presedimentador, 5.75 minutos.

$$t_1 = 11 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 5.25 \text{ min.}$$

$$t_m = 25.22 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 19.47 \text{ min.}$$

$$t_p = 19 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 13.25 \text{ min.}$$

$$t_f = 152 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 146.25 \text{ min.}$$

$$t_b = 56.30 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 50.55 \text{ min.}$$

$$t_c = 9.12 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 3.37 \text{ min.}$$

De acuerdo a los siguientes criterios se calificó el comportamiento de la unidad evaluada.

Tabla 48 Características hidráulicas presedimentador 1. Método convencional.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$t_1/t_0 = 0.0608$	Existencia de flujo Mezclado.
$t_1/t_0 < 0.30$	Tendencia de paso directo del trazador entre la entrada y la salida (corto-circuito).
$t_m/t_0 = 0.226$	Presencia de corto-circuitos o de espacios muertos.
$t_p/t_0 = 0.153$	Predominio de Flujo mezclado.
$t_c/t_0 = 0.030$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa; existencia de difusión debido a turbulencias.
$t_b/t_0 = 0.586$	Por debajo del valor correspondiente a la mezcla completa; existencia de turbulencias y recirculaciones.
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_0}$ $e = 1.45$	Indica la existencia de flujo Pistón y Mezclado.

5.1.3.3 Índice de Morril.

$$t_{10} = 17.87 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 12.12 \text{ min.}$$

$$t_{90} = 65.07 \text{ min} - 5.75 \text{ min} = 59.32 \text{ min.}$$

$$I.M = \frac{t_{90}}{t_{10}} = 4.89$$

Lo que indica la presencia de dos tipos de flujos, pistón y mezclado pero predomina este último.

5.2 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CAUDAL PARA LA CANALETA PARSHALL NO. 1.

El objetivo de la actividad era por medio de un aforo establecer la ecuación de calibración de la canaleta.

El aforo se hizo de acuerdo a la Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos³⁸; y que se resume a continuación:

1. Se efectuaron las mediciones de las dimensiones del canal de aproximación para elegir los puntos en los cuales se tomarían las mediciones con molinete, en este caso fueron 5.
2. Se esperó hasta que el flujo se estabilizara.
3. En los puntos ya establecidos se midió el nivel del agua, para dividir la sección transversal en un número determinado de verticales, para niveles mayores a 60 cm, se tomaron velocidades a 20cm y 80cm de la profundidad; si el nivel era menor a 60 cm, entonces la velocidad media se estableció midiendo la velocidad a 60 cm de la profundidad. En este caso las profundidades fueron menores a 60 cm, se escogieron dos verticales por cada punto para tener menores errores en el cálculo del caudal.
4. Se tomó la altura de la lamina de agua y se sumergió el molinete verticalmente de manera que la hélice quedara enfrentada al flujo y a

³⁸ GAVILÁN LEÓN, Germán. Guía de laboratorio de hidráulica de canales abiertos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001, p3.

la profundidad determinada anteriormente desde el fondo del canal hasta el eje horizontal de ésta.

5. Se puso en ceros el contador del molinete y el cronómetro. Después de 50 segundos se tomó la lectura del contador del instrumento.
6. Se modificó la altura del eje del molinete respecto al fondo del canal y se tomó la lectura.

Tabla 49 Resultados del aforo canaleta Parshall No. 1.

Q (L/S)	H (cm)
1300	60
1216	59
1097	53
878	45
675	37
533	32
454	28

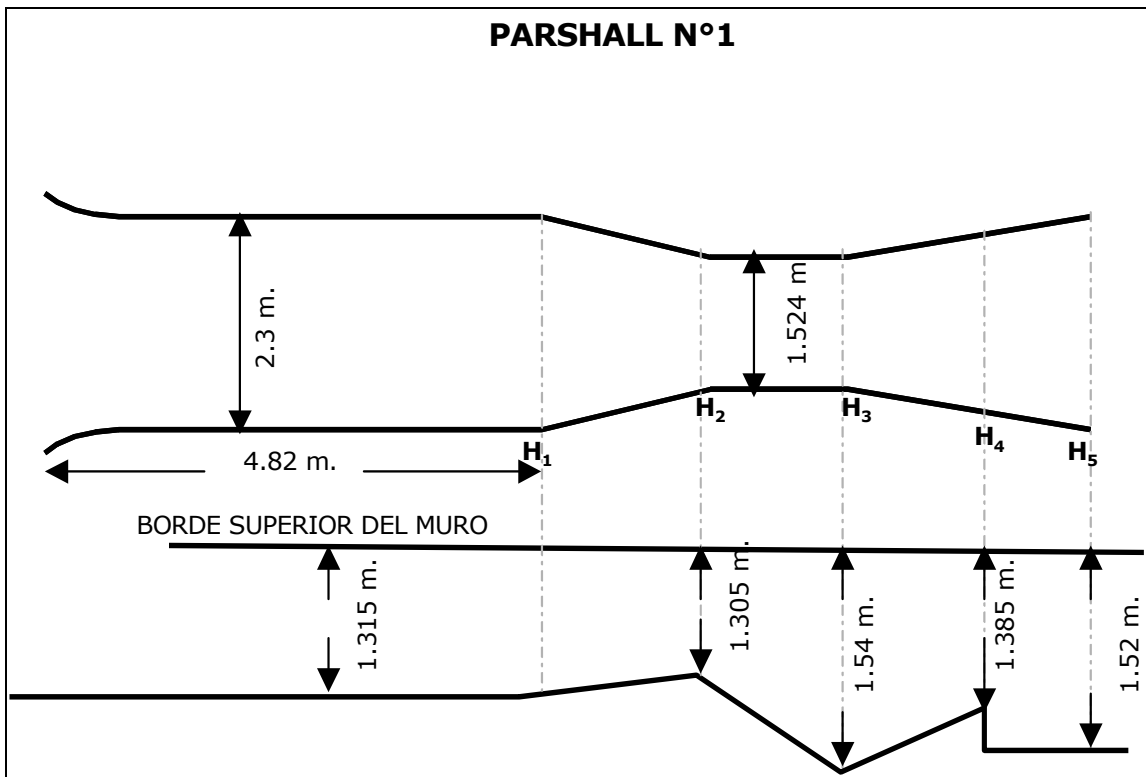
La ecuación que relaciona la cabeza aguas arriba y el flujo Q para varios tamaños de canaleta Parshall tiene la forma:

$$Q = k * H^n$$

Para la determinación de los coeficientes k y n se utilizó la regresión lineal con los valores de caudal y H.

$$\text{Log } Q = \text{Log } k + n * \text{Log } H$$

Figura 6 Canaleta Parshall No. 1.



La ecuación que relaciona la cabeza aguas arriba y el flujo Q para varios tamaños de canaleta Parshall tiene la forma:

$$Q = k * H^n$$

Para la determinación de los coeficientes k y n se utilizó la regresión lineal con los valores de caudal y H .

$$\text{Log } Q = \text{Log } k + n * \text{Log } H$$

$$Y = k + n * X$$

La ecuación para la canaleta Parshall No. 1 es:

$$Q = 4.78134 * H^{1.366192}$$

Tiene una correlación de 0.99894, lo que la hace satisfactoria para su empleo.

5.2.1 Estudio de la canaleta Parshall No. 1 como mezclador hidráulico. La mezcla rápida es un proceso de vital importancia y que determina en buena parte la eficiencia de los procesos posteriores; como indicador no será analizado ya que esta no es usada para este fin³⁹, pero si es aprovechada como mezclador hidráulico.

Lo primero que se tuvo en cuenta fue el gradiente de velocidad ya los coagulantes y polímeros requieren de un gradiente óptimo de mezcla rápida.

En el resalto hidráulico es aplicado el ayudante de floculación EXRO 621; para el uso de polímeros Arboleda Valencia hace la siguiente aclaración: "Los polímeros requieren bajos gradientes entre 400 y 800 s⁻¹, se ha demostrado que altos gradientes (mayores a 1000 s⁻¹) son perjudiciales para la mezcla de polímeros"⁴⁰.

El gradiente de velocidad está determinado por la siguiente ecuación:

$$G = (h_f \cdot \delta / \mu \cdot T_r)^{1/2}$$

h_f = pérdidas de carga (m).

T_o = tiempo de retención de la mezcla en segundos.

μ = 1.009 x 10⁻⁴ Kg-f-Seg/m² para una temperatura de 20°C.

δ = 998.23 kg-f/m³ para una temperatura de 20°C.

El tiempo de retención utilizado en la ecuación anterior fue hallado de manera teórica para cada uno de los caudales aforados.

Tabla 50 Gradiente de velocidad para diferentes caudales.

H_a m	K m	H₃ m	V_a²/2g m	V₃²/2g m	H_f m	G S⁻¹
0.600	0.076	0.527	0.057	0.093	0.114	787.566
0.590	0.076	0.507	0.052	0.088	0.123	793.270
0.530	0.076	0.427	0.052	0.101	0.131	776.125
0.450	0.076	0.387	0.046	0.078	0.107	628.306
0.370	0.076	0.342	0.041	0.059	0.085	491.703
0.320	0.076	0.287	0.034	0.053	0.090	449.655
0.26	0.076	0.257	0.037	0.048	0.069	361.881

³⁹ No se miden caudales en el pretratamiento, esto se hace en la canaleta ubicada en la planta de tratamiento.

⁴⁰ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL, 2000. p.108.

En esta canaleta se lleva a cabo la dosificación de polímero, para lo cual Arboleda Valencia aconseja trabajar con gradientes entre 400 y 800 s⁻¹, lo cual es bueno para garantizar una buena mezcla agua-polímero⁴¹.

5.3 LÍNEAS DE FLUJO EN LOS PRESEDIMENTADORES.

El objetivo de esta actividad es caracterizar las líneas de flujo en las unidades, los pasos seguidos fueron: primero se dividió los presedimentadores en sentido longitudinal y transversal, luego se tomaron las muestras superficiales a 50 cm de profundidad con un equipo de toma de muestras a profundidad acoplado con una tapa; para el sentido transversal se tomaron muestras a 1.50 m de profundidad.

Este ensayo es muy útil para obtener una idea clara de las condiciones internas de flujo de una unidad y determinar los problemas hidráulicos ocasionados por las estructuras de entrada y de salida.

En el plano que se presenta en la página a continuación se muestra el topograma de turbiedades para los dos presedimentadores, de acuerdo a estos resultados se puede determinar que existe una componente horizontal que origina una distribución no uniforme del flujo, la entrada de orificios rectangulares ocasiona un flujo irregular y que el sistema de recolección ocasiona una desviación apreciable de las líneas de flujo con arrastre de partículas.

5.3.1 Determinación de la carga superficial real.

$$q(m^3 / m^2 - día) = \frac{H * 100}{T_o * 60} * 864$$

Donde

H: profundidad en metros.

T_o: tiempo de retención; teórico(Q/V) y real, obtenido en la prueba de trazadores.

⁴¹ Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 2000. p108.

✓ Carga superficial teórica Presedimentador 1 =

$$q(m^3 / m^2 - día) = \frac{3.85 * 100}{101.67 * 60} * 864 = 54.527 m^3 / m^2 - día$$

✓ Carga superficial real del presedimentador 1 =

$$q(m^3 / m^2 - día) = \frac{3.85 * 100}{24.39 * 60} * 864 = 227.232 m^3 / m^2 - día$$

La carga superficial real es 4.17 veces mayor que la teórica , por ende la eficiencia de la unidad es baja.

• Carga superficial teórica presedimentador 2 =

$$q(m^3 / m^2 - día) = \frac{3.85 * 100}{86.23 * 60} * 864 = 64.293 m^3 / m^2 - día$$

• Carga superficial real presedimentador 2 =

$$q(m^3 / m^2 - día) = \frac{3.85 * 100}{19.47 * 60} * 864 = 284.745 m^3 / m^2 - día$$

La carga superficial real es 4.43 veces mayor que la teórica, por lo tanto la eficiencia del reactor es baja.

Figura 7 Topograma de turbiedades, superficial.

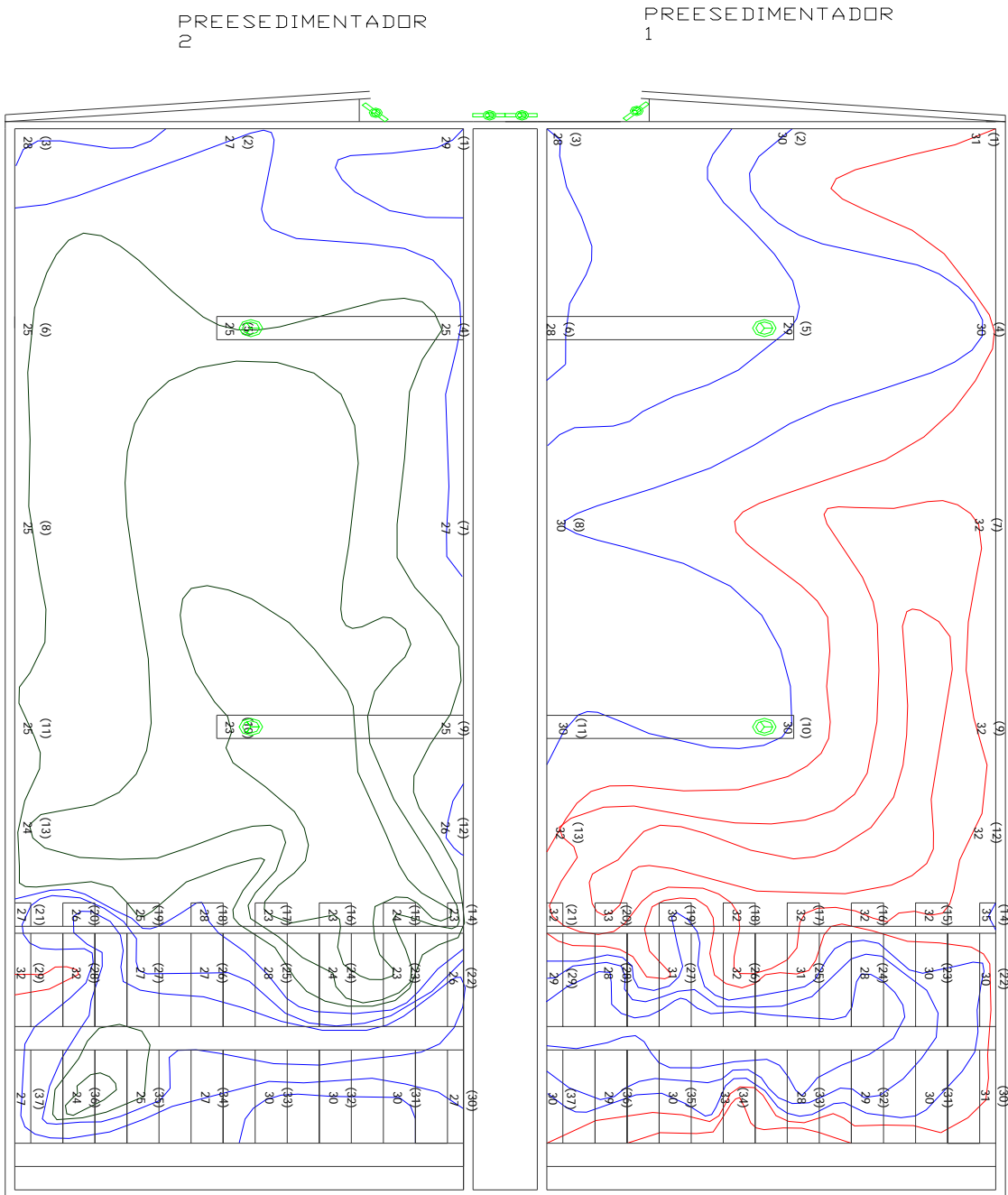
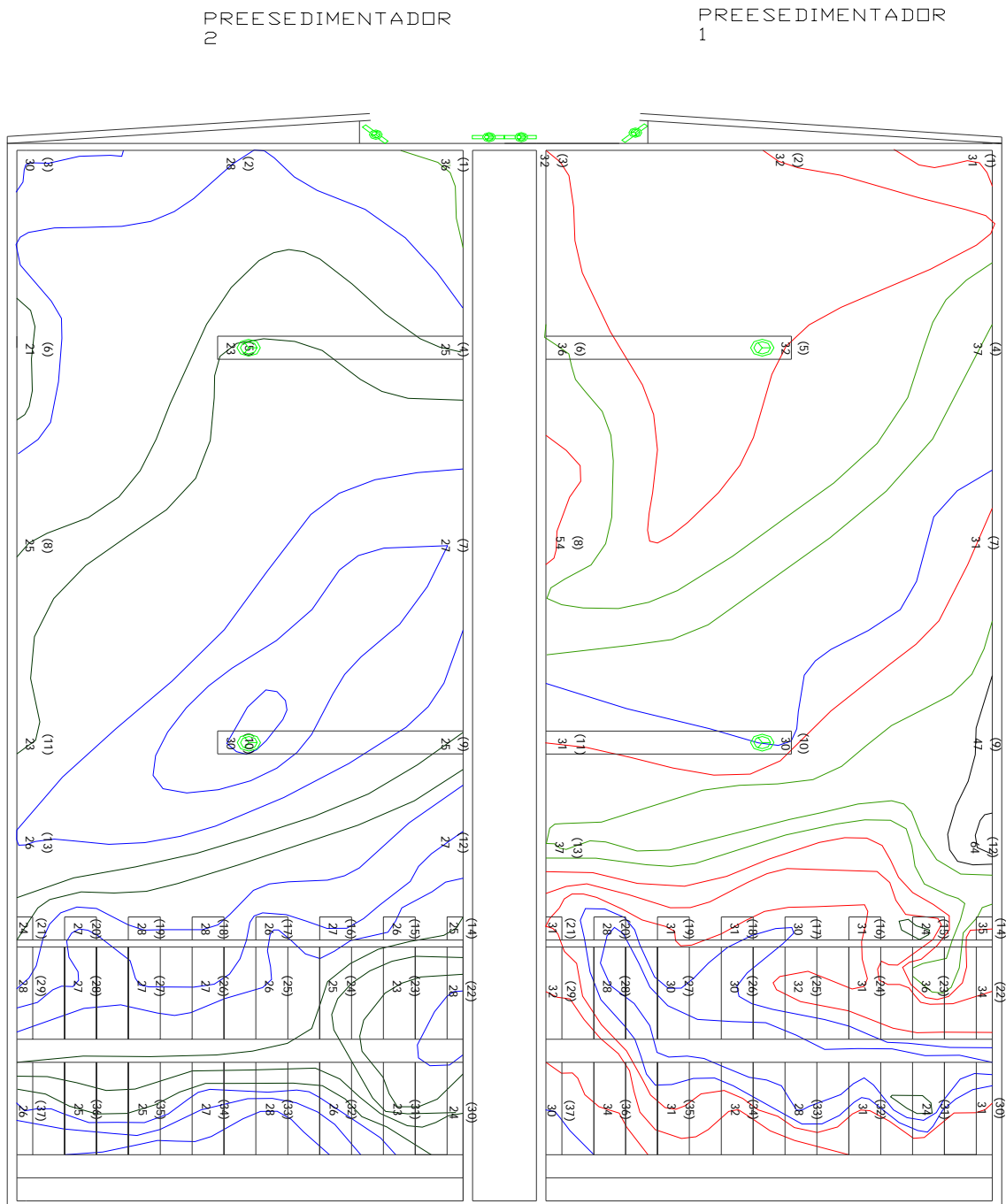


Figura 8 Topograma de turbiedades, profunda.



6. PRUEBA EN PLANTA

Para determinar la sustancia más efectiva en la remoción de mercurio⁴² se hizo el siguiente análisis:

- La sustancia(s) que remueven mayor cantidad de turbiedad.
- De acuerdo al análisis visual en los ensayos determinar la(s) sustancia(s) que produjeron un floc más pesado.
- Un factor importante es el pH, por lo tanto se debe prestar un especial cuidado a la reducción del mismo.

6.1 REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE COAGULANTES-FLOCULANTES Y CARBÓN ACTIVADO.

En la sección 3.2 se explicó la metodología empleada para la evaluación de estas sustancias ahora se hará el análisis de los resultados.

Las sustancias empleadas para la evaluación fueron:

- ✓ Sulfato de aluminio sólido, solución al 1%
- ✓ Sulfato de aluminio sólido solución al 2%.
- ✓ Carbón activado, concentración 1000 ppm.
- ✓ Ayudante de floculación EXRO 621, concentraciones al 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05%.

6.1.1 Consideraciones generales.

⁴² De mercurio y/o turbiedad, ya que las partículas de mercurio están unidas a los coloides causantes de turbiedad.

Mercurio

Número atómico: 80.

Peso atómico: 200.6 uma

Único metal que es líquido a temperatura ambiente, presenta alta tensión superficial, expansión termal lineal, buena conductividad eléctrica, alta densidad(13.55 g/cm³), habilidad para alearse fácilmente con otros metales.

Punto de ebullición: 357.3°C .

Punto de fusión: -38.9°C.

Presión de vapor: 163x10⁻³ Pascales.

El mercurio tiene muchos usos entre los cuales estan:

- En la producción de cloro y soda.
- En la agricultura para la producción de funguicidas y bactericidas.
- Fabricación de equipos eléctricos, de medición y control.
- Fabricación de productos farmacéuticos y odontológicos.
- En la minería aurífera se utiliza en el proceso de amalgamación.
- Uso de combustibles provenientes de los fósiles.

6.1.2 Toxicidad del mercurio. El mercurio se caracteriza por formar compuestos tóxicos por eso se considera peligroso, añadido a su prolongada existencia en el medio ambiente.

Este se considera tóxico para el hombre en dos formas, la primera aguda es decir que se está expuesto a bajas concentraciones de mercurio puede presentar nauseas, vómito, dolores abdominales, diarrea hasta producir dificultades respiratorias y tos. La segunda es la crónica presentadas por exposiciones más severas y afecta el sistema nervioso central produciendo disturbios psicológicos, temblores, salivación en exceso, pérdida del apetito, pérdida de peso y anemia.

En el ambiente el mercurio forma dos compuestos: el metilmercurio que es un compuesto orgánico y es más peligroso que el compuesto inorgánico ya que puede ser penetrados en el cuerpo por inhalación, ingestión o absorción causando envenenamiento ejemplo de ello es el envenenamiento por ingestión de alimentos contaminados en la bahía de Minamata en Japón, en 1953, la industria química descargaba clorato de mercurio en la bahía, formando biológicamente metilmercurio en el ambiente acuático, el cual fue absorbido por los peces y envenenó a 121 personas de ellas murieron 46, el envenenamiento puede causar daños irreversibles en el cerebro provocando desordenes sensoriales, ataxia, desordenes mentales, disminución de la audición, etc. Pero se considera la forma más perjudicial la inhalación por presentar índices de mayor contaminación en el cerebro.

El mercurio inorgánico se absorbe en el tracto gastrointestinal de los adultos, no penetra fácilmente a las células y no es tan tóxico como el metilmercurio, pero la absorción de éste es mayor en niños y jóvenes; para el mercurio inorgánico la USEPA, 1991 recomienda que el límite de mercurio en el agua sea de $2\mu\text{g/L}$ basados en la inducción de enfermedades autoinmunes de riñón.

6.1.3 Degradación del mercurio en el agua. La formación de mercurio orgánico en el agua o metilmercurio se presenta por la gran variedad de microorganismos presentes capaces de metilarlo depende de varios factores como el clima(más aun si es tropical) de la materia orgánica presente, la temperatura.

El mecanismo de metilación aun no ha sido entendido pero se cree que el mercurio Hg^{+2} es el precursor del metilmercurio pero sólo se da con bacterias anaeróbicas, por lo tanto en sitios donde la carga orgánica es favorable para la formación de metilmercurio, ya que la materia orgánica en descomposición actúa como fuente de energía de los microorganismos en la interfase agua-sedimento, este proceso es muy importante ya que de ahí en adelante resiste los cambios ambientales excepto los procesos de degradación bioquímica.

Para el caso en estudio el mercurio presente en el agua viene como producto de la explotación aurífera en los distritos mineros de Vetas y California en el que es utilizado para el proceso de amalgamación, el

cual se resume de la siguiente forma: los mineros para sacar el máximo rendimiento a la producción de oro contenido en los concentrados de la molienda, muele estos concentrados(en barriles amalgamadores) con un poco de agua y a tanteo se agrega mercurio, transcurrido un tiempo en que dura la molienda el mercurio agregado se fragmenta en 3 partes:

1. Fracción que se transforma en amalgama con el Oro y la Plata liberados por el material molido.
2. Una fracción libre, no forma amalgama.
3. Una parte se adhiere a las partículas finas del mineral.

Concluido el proceso se lava el mineral molido se recupera el oro, la plata y dos primeras fracciones de mercurio y la tercera cae a la quebrada más cercana en Vetas al Río Vetas y en California a la quebrada la Baja, dos de los efluentes del Río Suratá. Éste mercurio se asocia con los sedimentos y continua desplazándose a través de la corriente constituyendo coloides causantes de turbiedad y de fácil sedimentación, el transporte no es uniforme ya que el caudal del Río es variable, añadido a su fácil precipitación, puede sedimentarse en el fondo o en la orilla del río tal que cuando ocurre una avenida, aparte de desplazar los sedimentos del fondo, las orillas son transportados mas sedimentos producto de la erosión, material arrastrado por la lluvia, etc por esta razón siempre que se presentan fluctuaciones de caudal, fluctúa también turbiedad y por consiguiente los niveles de mercurio en la corriente.

6.1.4 Remoción de mercurio. Actualmente los métodos más empleados para tratamiento de aguas con mercurio inorgánico son:

1. La precipitación química: consiste en la precipitación directa del mercurio como compuesto insoluble, se logra mediante la adición de un coagulante obteniéndose la precipitación por sedimentación o se retiene en la filtración.
2. Resinas de intercambio iónico: consiste en pasar el agua por un tanque que contiene un filtro con resinas de intercambio iónico las

cuales atrapan el mercurio con mayor eficiencia, tiene el inconveniente de ser un tratamiento costoso.

3. Filtración a través de diatomita: se utiliza para la remoción de partículas insolubles que no sedimentan por otros métodos.
4. Adsorción por carbón activado: es un método costoso, se utiliza cuando no se conoce los compuestos de mercurio presentes, para mayor eficiencia se recomienda que se haga con otro método de tratamiento en conjunto como la precipitación química.

La remoción de mercurio ha sido estudiada a nivel de laboratorio y en plantas piloto, estos estudios demuestran que la remoción del mercurio inorgánico depende del pH y la turbiedad del agua, la remoción tiene poca dependencia en la concentración de mercurio en rangos entre 0.003 y 0.0016 mg/l, la remoción con sulfato férrico(17 mg/l) probó ser del 66% a pH 7 y del 97% a pH 8 mientras que el sulfato de aluminio fue menos efectivo con un 38% a pH 8.

Las resinas de intercambio iónico han probado a nivel de laboratorio ser efectivas hasta un 98% en la remoción de mercurio tanto en forma orgánica como inorgánica.

El carbón activado pulverizado aumenta los porcentajes de remoción si se usa conjuntamente con alumbre pero requiere cantidades mayores si son empleadas para remover olor y sabor .

De acuerdo a las consideraciones anteriores y los ensayos hechos en laboratorio, en las tablas siguientes se presenta un cuadro resumen de los resultados.

Tabla 51 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo1.

Características de las muestras de agua cruda.		
Turbiedad:171 UNT	PH:7.89	Mercurio:6.561 µg/l
Color:139 UPC	Alcalinidad:63 µg/l de CaCO ₃	Fecha: julio 31/2003

	Sulfato sólido	Sulfato líquido	Sulfato Sólido+A:F		Sulfato sólido+C.A		Sulfato sólido+A.F+C.A		
			Sulfato	Ayudante de Floccu.	Sulfato	Carbón activado	Sulfato	Ayudante de Floccu	C.A
Dosis optima ppm	35	18	35	0.15 al 0.05%	35	6.6	35	0.15 al 0.05%	3
Turbiedad residual UNT	2.1	1.6	0.57		0.9		0.79		
pH	6.52	6.65	6.48		6.46		6.53		
Mercurio residual µg/l	0.405	0.270	0.058		0.061		0.063		

Tabla 52 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 2.

Características de las muestras de agua cruda.									
Turbiedad:47 UNT			PH:8.0				Mercurio:13.66 µg/l		
Color:93 UPC			Alcalinidad:52.2µg/l de CaCO ₃				Fecha: julio 25/2003		
	Sulfato sólido	Sulfato líquido	Sulfato Sólido+A:F		Sulfato sólido+C.A		Sulfato sólido+A.F+C.A		
			Sulfato	Ayudante de Floccu.	Sulfato	Carbón activado	Sulfato	Ayudante de Floccu	C.A
Dosis optima ppm	30	14	30	0.15 al 0.04%	30	5	30	0.15 al 0.04%	2.5
Turbiedad residual UNT	0.69	0.46	0.44		0.49		0.46		
pH	6.85	7.04	6.82		6.86		6.83		
Mercurio residual µg/l	0.030	0.028	0.028		0.029		0.027		

Tabla 53 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 3.

Características de las muestras de agua cruda.									
Turbiedad:150 UNT			PH:7.95				Mercurio:10.77 µg/l		
Color:433 UPC			Alcalinidad:57.8 µg/l CaCO ₃				Fecha: septiembre 10/2003		

	Sulfato sólido	Sulfato líquido	Sulfato Sólido+A:F		Sulfato sólido+C.A		Sulfato sólido+A.F+C.A		
			Sulfato	Ayudante de Floccu.	Sulfato	Carbón activado	Sulfato	Ayudante de Floccu	C.A
Dosis optima ppm	40	21	40	0.15 al 0.02%	40	2.6	40	0.15 al 0.02%	5.0
Turbiedad residual UNT	2.3	3.0	1.3		2.1		1.5		
pH	6.74	6.75	6.68		6.76		6.72		
Mercurio residual µg/l	0.39	0.503	0.196		0.386		0.258		

Tabla 54 Resultados de las pruebas de jarras. Ensayo 5.

Características de las muestras de agua cruda.									
Turbiedad:63 UNT			PH: 8.0				Mercurio: 4.77 µg/l		
Color:87 UPC		Alcalinidad: 65 µg/l CaCO ₃				Fecha: julio 19 /2003			
	Sulfato sólido	Sulfato líquido	Sulfato Sólido+A:F		Sulfato sólido+C.A		Sulfato sólido+A.F+C.A		
			Sulfato	Ayudante de Floccu.	Sulfato	Carbón activado	Sulfato	Ayudante de Floccu	C.A
Continuación tabla 54.									
Dosis optima ppm	30	14	20	0.15 al 0.03%	20	2			
Turbiedad residual UNT	1.3	0.48	0.46		1.1				
pH	6.93	7.14	6.92		6.87				
Mercurio residual µg/l	0.33	0.028	0.028		0.101				

De los resultados obtenidos se concluye que se debe continuar con la predosificación de sulfato de aluminio sólido con el polímero EXRO 621, ayudante de floculación, y en relación a el sulfato sólido reemplazarse por sulfato de aluminio líquido.

Con respecto al sulfato de aluminio sólido y líquido este último resulta ser más efectivo para la remoción de turbiedad que el sólido; a partir de los experimentos se observó claramente que el sulfato líquido producía un floc más pesado que sedimentaba más rápidamente que el otro coagulante.

Teniendo en cuenta que el sulfato de aluminio líquido contiene la mitad de Al_2O_3 que el sulfato sólido, por lo tanto la dosis debe ser el doble de la anterior, lo que indica que las dosis de los dos coagulantes son cercanas pero el sulfato líquido está a un paso más adelante por que disminuye más la turbiedad, el pH desciende menos en comparación al sólido, por su facilidad de aplicación y aprovechamiento.

TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA	RELACIÓN SULFSOLI/SULFLIQU
47	1.071
63	1.111
150	0.952
171	0.972

En el anexo 46 se presenta los resultados de la prueba en planta con el sulfato de aluminio líquido

7. DISEÑO DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.

El diseño del dosificador consta de cuatro etapas:

- ▲ La ubicación y el estudio de los suelos
- ▲ Las especificaciones para el diseño del tanque
- ▲ Las especificaciones para el diseño de la placa
- ▲ Los accesorios (Tubería de conducción, bombas de conducción y bombas de trasvasar).

Para la escogencia del lote a utilizar se buscó un lugar:

1. Con facilidad de acceso para la instalación de los tanques.
2. En donde los carro tanques, que transportan el Sulfato de Aluminio Líquido, puedan llegar cómodamente.
3. De fácil evacuación en caso de voladuras, rupturas, fugas, etc.
4. Que pueda armonizar con la naturaleza, en donde no haya la necesidad de deforestar.
5. Plano, con un suelo firme que pueda soportar las presiones sometidas por el tanque para que no requiera altos costos en su adecuación.
6. Cercano al tratamiento de la planta, con lo cual quede fácil su transporte.
7. Después de escogido el terreno, se hizo además un estudio de suelos con la colaboración del Laboratorios de suelos de la escuela de Ingeniería de Civil de la Universidad Industrial de Santander, y coordinada por la ing. Hevenly Celis.

Los ensayos de suelo realizados fueron:

- Granulometría: usado para identificar el tipo de suelo según la clasificación SUCS⁴³.
- Límites líquido y plástico: Determinan la humedad del suelo, capacidad esfuerzo- deformación, plasticidad, y las propiedades del suelo.
- Corte directo: Determina la capacidad portante del suelo, es decir las presiones que pueden soportar el suelo.

El estudio del suelo se presenta en el anexo 47.

7.1 DISEÑO DEL TANQUE.

- Condiciones:
Capacidad 50m³
- Volumen tanque $=(\pi \cdot H \cdot D^2)/4$

Donde :

H = altura en metros.

D = diámetro, se asumió D=3m

$$50 = 3.14159 \cdot H \cdot (3^2)/4$$

$$H = 7.07m$$

$$H \cong 7.5m$$

Se coloca de altura aproximada 7.5m, pues con eso se evitaran posibles derrames producto de las fluctuaciones, además de la tapa de dicho tanque.

7.2 DISEÑO DE LA PLACA DE PISO PARA SOPORTE DE LOS TANQUES.

Datos generales:

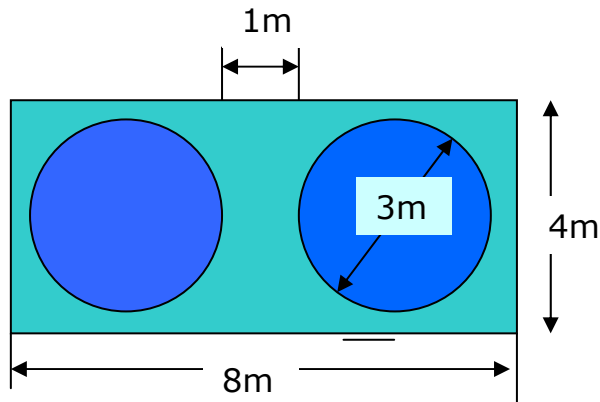
⁴³ Sistema unificado de Clasificación de suelos.

Dos Tanques de plástico reforzado en fibra de vidrio (PRFV) para almacenar Sulfato de Aluminio líquido con capacidad de 50m^3 cada uno.

- ▲ Dimensiones de la placa $8\text{m} \times 4\text{m}$
- ▲ Esfuerzo máximo admisible o de trabajo del acero a tensión $F_y=4200\text{Mpa}$.
- ▲ Esfuerzo máximo admisible o de trabajo del concreto a compresión, $f'_c=24\text{Mpa}$. (Según NSR-98 titulo C.4.3 Exposición a Sulfatos)

Capacidad portante del suelo = $28\frac{T}{m^2} = 280\frac{KN}{m^2}$

Figura 9 Dimensiones de la placa y tanques.



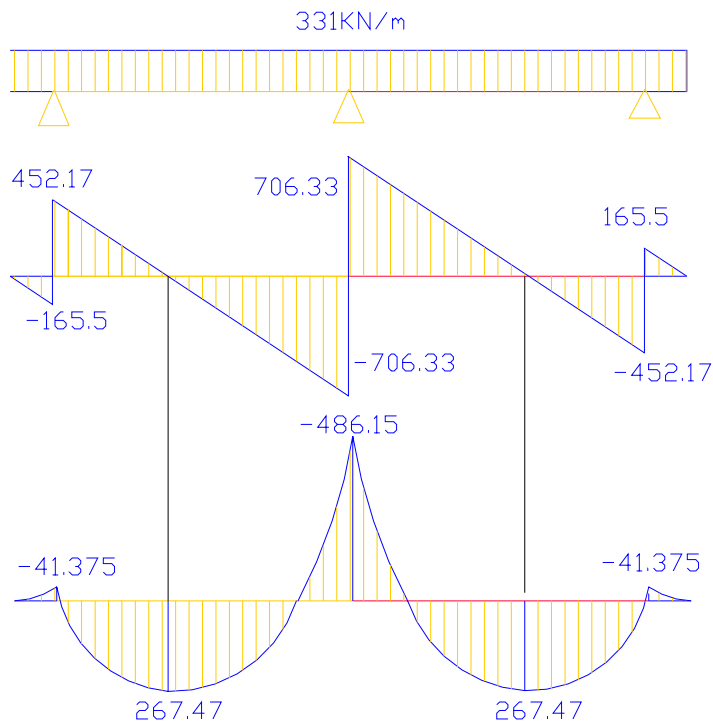
Cargas: peso propio de cada tanque 11KN, dos tanques.....22 KN
 Peso del sulfato de aluminio líquido.....1300 KN
 Peso total tanques : 1324 KN
 Peso de la placa de concreto(16%).....210 KN
 Carga total :1534 KN

Área de cimentación: $B \times L = 8 \times 4 = 32\text{m}^2$

$\sigma_{NETA} = \frac{1324\text{KN}}{8 \times 4\text{m}^2} = 82.75\frac{KN}{m^2}$

7.2.1 Diseño Longitudinal

Carga bajo el cimiento en KN/m : $82.75 \times 4 = 331 \text{ KN}/\text{m}$



Se procede a hallar la altura del cimiento:

1. Que no se requiera refuerzo al esfuerzo cortante :suponiendo, y únicamente dentro del alcance de un predimensionamiento, el corte V_i a la distancia "d" del borde del apoyo como un 85% del corte al eje:

$$V(d) \sim 0.85 \times 706.33 = 600.38 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.7 \times 600.38 = 1020.64 \text{ KN}$$

$$d = \frac{1020.64}{4 \times 751} = 0.34 \text{ m}$$

2. Que la armadura por flexión para un momento promedio sea aproximadamente la mínima:

Utilizando $\rho_{\min}=0.0033$ para $M = \frac{267.42 + 486.15}{2} = 376.79 \text{ KN-m}$

$U = 1.7$ (mayoración) obtenemos $d = 0.37 \text{ m}$.

Sin embargo se puede aproximar $h = 0.45$ y $d = 0.37 \text{ m}$ para tener en cuenta el esfuerzo cortante en el diseño transversal.

Armadura longitudinal:

	A(izq)	A(der)	LUZ	B(izq)	B(der)
M(KN.m)		41.38	267.47	486.15	
ϕ Mn(KN.m)		70.35	454.70	826.46	
As min	0.033	4	0.37	0.004884	
ϕ superior		15N5@0.26		31N5@0.11	31N5@0.11
ϕ inferior		15N5@0.26	23N5@0.16	15N5@0.26	15N5@0.26
V (KN)	165.5	45.217		706.33	706.33
V(d) (KN)				573.93	573.93
Vu				975.68	975.68
Vu-ϕVc				609.8 KN/m ²	609.8 KN/m ²

Diseño transversal:

En este caso el tanque es trabajado como una carga distribuida y es por eso que "no" se puede definir un ancho, sin embargo para trabajar una viga transversal se harán las consideraciones dadas en la NSR-98.

Viga bajo tanque:

$$q_r = \frac{661}{4} = 165.25 \text{ KN/m}$$

$$V_{\text{borde}} = 165.25 \text{ KN/m} \times 0.85\text{m} = 140.46 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.7 \times 140.46 = 238.78 \text{ KN}$$

$$V_u = \frac{238.78}{0.87 \times 0.37} = 741.78 \text{ KN/m}^2 < \phi V_c = 751 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{\text{borde}} = \frac{165.25 \times 0.85^2}{2} = 59.69 \text{ KN} \cdot \text{m} \therefore \phi M_n = 1.7 \times 59.69 = 101.48 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.33 * 0.0023 = 0.003059$$

$$A_s = 0.003059 * .87 \text{ m} * .37 = 0.0009846 \text{ m}^2$$

Armadura: 8 ϕ 1/2" c/0.10 cm.

7.3 BOMBA DOSIFICADORA.

Condiciones:

Máximas partes de dosificación: 150 ppm para un caudal de 2500 l/s

Los caudales de trabajo máximo y mínimo son:

$$Q_{\text{PLANTA}} = 400 - 2500 \text{ l/s}$$

$$Q = 0.15 \text{ l/s}$$

Rango que trabaja la bomba: 0.045- 0.3l/s



Para el diseño se consideró la tubería de PVC.

$$\text{Longitud tubería} = 36.86\text{m} * \text{perdida codos} = 36.86 * 1.2 = 44\text{m}$$

$$\eta = 25 \text{ centipoises} \quad 1 \text{ stock} [\text{cm}^2/\text{s}] = 1 \text{ Poises} * 1.3 \text{ gr/cm}^3$$

$$\eta = 0.19 \text{ cm}^2/\text{s}.$$

Datos:

Q_{BOMBA}	$0.045 < Q < 0.3 \text{ l/s}$
L_{TUBERIA}	44 m
ΔH	4.8m
η	$1.95 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Especificaciones de la tubería:

Marca	Φ_{exterior}	Espesor	$Q=0.3$ l/s h_f	Velocidad			Uso	Bomba
PVC RDE13 .5 1/2"	21.34 mm	1.68mm	9.76	1.1 5			Salida del tanque	Dosificad ora
PVC RDE21 3"	88.90 mm	4.242m m					Entrada al tanque	Trasbasar

Bomba de trasvase:

Caudal de trabajo: 5l/s, para un diámetro de 3":

$$Q = V * \pi * (D^2) / 4$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 5 * 10^{-3}}{V * \pi}} = 0.079 = 3", \text{ pérdidas } h_f = 0.32 \text{ mt}, V = 0.98 \text{ m/s}$$

Para una eficiencia del

$$\text{Potencia} = \frac{(\gamma * Q * H * 76)}{\text{EFICIENCIA}} = \text{HP} * 1.2$$

Se requiere un motor de $1\frac{1}{2}$ " HP(caballos de fuerza)

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La dosificación de coagulante se hace de acuerdo a las características fisicoquímicas de la misma, además el empleo de del Chemtrac es de gran ayuda para tener un criterio técnico en la aplicación de la dosis.

El coagulante es aplicado de manera constante y de dispersión uniforme, el punto donde es aplicado no es el de mayor turbulencia por lo tanto no se garantiza que la mezcla sea la adecuada por presentarse la hidrólisis del mismo.

Se recomienda escoger el caudal máximo de operación, uno medio y otro mínimo, colocar a funcionar estos en la planta y observar el desplazamiento del comienzo del resalto hidráulico, en la garganta de la canaleta. Se escoge un punto medio de este desplazamiento, y este será el punto donde sea dosificado el coagulante.

El grado de exactitud de los dosificadores depende del porcentaje de abertura del Chemtrac; en aberturas pequeñas la eficiencia en la dosificación es alrededor del 80% y para aberturas mayores del 50% la exactitud es del 93%, por lo tanto se recomienda emplear porcentajes de aberturas grandes.

La concentración de coagulante aplicada cumple con las optimas dadas en el laboratorio.

El pH óptimo de los ensayos de jarras es el de el agua cruda, por lo que no se hace necesario modificar esta característica para mejorar el proceso de coagulación.

Se tiene el inconveniente de que el sulfato de aluminio sólido no se disuelve totalmente en las tolvas, producto de una mala agitación, esto conlleva a el taponamiento de la flauta dosificadora.

En cuanto a el control de operación de los mezcladores hidráulicos se tiene:

La dosificación se está haciendo por medio de tubo perforado, tanto de sulfato como de ayudante de coagulación.

El gradiente de velocidad en la canaleta Parshall no es mayor a 1000 s^{-1} , para los caudales que generalmente maneja la planta, 600 a 1300 l/s los gradientes varían entre 491 a 793. Haciendo el seguimiento del comportamiento hidráulico se obtuvieron números de Froude entre 1.1 y 1.5, que de acuerdo a la clasificación de resaltos de la U.S Bureau of Reclamations, se caracteriza por ser ondular, es decir un resalto débil.

El aforo hecho con molinete se encontraron caudales inferiores con este. Los datos obtenidos con el molinete difieren en menos del 5% de los medidos en la canaleta Parshall, errores esperados en este tipo de aforadores.

La eficiencia del proceso de floculación es regular, esto se debe a una coagulación pobre, añadido a que los gradientes de velocidad en las cámaras de los floculadores no varían gradualmente, encontrándose en unas cámaras valores más altos que la cámara anterior.

Los cortocircuitos, espacios muertos y flujo mezclado son producto de que las partículas se sedimentan dentro de la unidad, por lo que se recomienda colocar los gradientes de velocidad de manera descendente, e inclinar el canal de conexión a los floculadores 1 y 4 de manera que aumente el gradiente de velocidad en estos.

La sedimentación de acuerdo a los análisis estadísticos de las turbiedades, es un proceso muy bueno al encontrarse que casi el 92% del tiempo los sedimentadores presentaron turbiedades inferiores a 5 UNT.

De acuerdo a los resultados dados en el laboratorio se tiene mayor eficiencia en el sedimentador de placas para turbiedades mayores a 440 UNT.

Las características hidráulicas del sedimentador No. 1 fueron:

- Flujo pistón: 60%.
- Espacios muertos: 0%.
- Flujo mezclado: 40%.

En la filtración las pérdidas de carga arrojaron una información muy valiosa del comportamiento del filtro, de acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que a medida que aumentaban las pérdidas de carga, la calidad del agua filtrada era generalmente inferior a 0.3 UNT; algunos picos se presentaron por incrementos en el caudal de operación, pero el agua filtrada no variaba en su calidad.

Para mejorar el funcionamiento de las unidades se recomienda que los filtros sean operados a tasa declinante , es decir que su lavado sea escalonadamente y no simultáneamente como se viene haciendo, por lo que debe lavar un filtro cada 12 horas.

En la planta se toman los datos de turbiedad de agua filtrada para las dos baterías de filtros, la adopción del sistema de pérdidas de carga permite evaluar el comportamiento progresivo del filtro y ayuda a evitar limpiezas inadecuadas en el mismo.

Se recomienda implementar la dosificación de sulfato de aluminio líquido en el tratamiento, tiene las siguientes ventajas:

1. El aprovechamiento, debido a que no se presentan casi desperdicios por presentar una mezcla uniforme.
2. Se evita el problema del taponamiento de la flauta dosificadora.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos disminuye menos el pH del agua, remueve más turbiedad y color.
4. El empleo de horas / hombre cargando, descargando y disolviendo el sulfato de aluminio sólido.

La canaleta Parshall No. 1 presenta gradientes de velocidad que varían entre 400 y 800 s^{-1} , gradientes a los que se debe hacer la dosificación de polímero, por lo que se recomienda que cuando sea este dosificado la planta opere entre caudales de 878-1300 l/s.

Se debe continuar la predosificación de sulfato de aluminio sólido y ayudante de floculación, o si la planta desea cambiar la predosificación a sulfato de aluminio líquido se recomienda analizar otros polímeros ayudantes de floculación.

Los presedimentadores presentan bajos índices de flujo pistón, muchos espacios muertos y flujo mezclado producto de que a la entrada por los orificios rectangulares origina una distribución no uniforme del flujo, y el sistema de recolección de aguas decantadas ocasiona una desviación del flujo y arrastre de partículas.

Se recomienda construir una pantalla perforada a la entrada del presedimentador que garantice la disminución del componente horizontal de la velocidad, para disminuir la entrada de partículas en las canaletas de recolección se recomienda colocar vertederos en V o de ángulo, este diseño se muestra en el anexo 50.

Se recomienda analizar la posibilidad de estudiar un acoplamiento de los presedimentadores para volverlos alta tasa, colocando ya sea láminas inclinadas en acrílico para incrementar el proceso de sedimentación.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y practica de la purificación del agua.3 ed. Bogotá: ACODAL. 2000.

CEPIS, OPS. Programa de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cali: Universidad del Valle. 1990. Tomo 2 y 3.

GÓMEZ SÁNCHEZ, Jorge. Plantas de tratamiento para agua potable. 1 ed. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander: 2000.

PEREZ PARRA, Jorge. Manual de potabilización del agua. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2000. 66p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis y otros trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá : INCONTEC. 2002. NTC 1486.

GAVILÁN LEÓN. Germán. Guía de laboratorio de laboratorio de canales abiertos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001, 23p.

GAVILÁN LEÓN, Germán. Propuesta para la evaluación hidráulica de aforadores tipo canaleta Parshall utilizados para la medición de aguas crudas en las plantas de Bosconia, Flora, Morrорrico, y Floridablanca. Bucaramanga: CAMB.2002.8p.

ARAMBURO, Luis. Hidráulica aplicada. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.1984. 149p.

AWWA, Calidad y tratamiento del agua, manual de suministros de agua comunitaria. México: Mc Graw Hill. 2001. 981p.

STANDARD METHODS, Examination of water and wast the water.
Edición 19. SM 3112a.

ORTEGA, Yolanda. Informe técnico sobre la aplicación de polímeros naturales y sintéticos en tratamiento de aguas. En: Revista ACODAL(Nov.,1985); p.41-53.

REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA EL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Sistemas de potabilización. Bogotá: Ministerio de Desarrollo de Colombia. Título 3.

PALLARES C, José. Tratamiento de aguas naturales con contenido de cianuro y mercurio para fines de consumo humano. Bucaramanga, 1996, 59p. Trabajo de grado (Especialista en Química de aguas). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química. Área tratamiento de aguas.

MIKIKO S, Luzia; ANDRADE María. Residuos Contendo Mercurio. CETESB. Sao Paulo: 1988.

MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA. Decreto 475 de 1998.

WOLF C, Erwin. Entrada y circuito del mercurio en el ecosistema debido a la minería aurífera caso Río Suratá. Bucaramanga, 2000, 18p. Trabajo de Grado (Especialista Ingeniería Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.

Sin Autor. Análisis Control de Calidad Planta Bosconia. Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A ESP.

BARRENECHE MARTÍNEZ, John. Optimización de los procesos de clarificación mediante uso de polielectrolitos sintéticos den el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, 2003, 118p. Trabajo de Grado (Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química. Área de agua potable.

CAÑIBARO G, J. Floculación mecanismo y clasificación de los diferentes tipos de floculantes. En: Ingeniería Química año xv n° 76 nov 1983 parte I P 23-30.

JUÁREZ BADILLO. Eulalio; RICO RODRÍGUEZ. Alfonso. Mecánica de Suelos. 3 ed. Mexico: limusa.1999.

SEGURA FRANCO, Jorge. Estructuras de Concreto I. 4 ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 1999.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Segunda edición. Tomo II. Bogotá: AIS, 2001. Títulos B y C.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Simposio sobre nuevos métodos de tratamiento de agua. Asunción Paraguay, 13-18 de agosto. CEPIS. 1972.

ANEXO 1

DECRETO 475 DE 1998

Agua potable: Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

CAPITULO III

Normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable

Artículo 6°. Las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable establecidas en el presente decreto rigen para todo el territorio nacional y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable.

Normas de calidad organolépticas, físicas y químicas

Artículo 7°. Los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS EXPRESADAS EN VALOR ADMISIBLE

- Color Verdadero, Unidades de Platino Cobalto (UPC) ≤ 15
- Olor y sabor: Aceptable.
- Turbiedad Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) ≤ 5
- Sólidos Totales $mg/L \leq 500$
- Conductividad microhmios/cm 50 -1000
- Sustancias Flotantes Ausentes

Artículo 8°. Los criterios químicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

a) Criterios para elementos y compuestos químicos, diferentes a los plaguicidas y otras sustancias, que al sobrepasar los valores establecidos tienen reconocido efecto adverso en la salud humana:

CARACTERÍSTICAS EXPRESADAS COMO VALOR ADMISIBLE mg/l

- Aluminio (Al) = 0.2
- Antimonio (Sb) = 0.005
- Arsénico (As) = 0.01
- Bario (Ba) = 0.5
- Boro (B) = 0.3
- Cadmio (Cd) = 0.003
- Cianuro libre y disociable (CN) = - 0.05
- Cianuro total (CN) = -0.1
- Cloroformo (CHCl₃) = 0.03
- Cobre (Cu) = 1.0
- Cromo (Hexavalente Cr⁺⁶) = 0.01
- Fenoles totales Fenol = 0.001
- Mercurio (Hg) = 0.001
- Molibdeno (Mo) = 0.07
- Níquel (Ni) = 0.02
- Nitritos (NO) = 0.1
- Nitratos (NO) 10
- Plata (Ag) = 0.01
- Plomo (Pb) = 0.01
- Selenio (Se) = 0.01
- Sustancias activas al azul de metileno (ABS) = 0.5
- Grasas y aceites = Ausentes

Trihalometanos Totales THMs

ANEXO 2

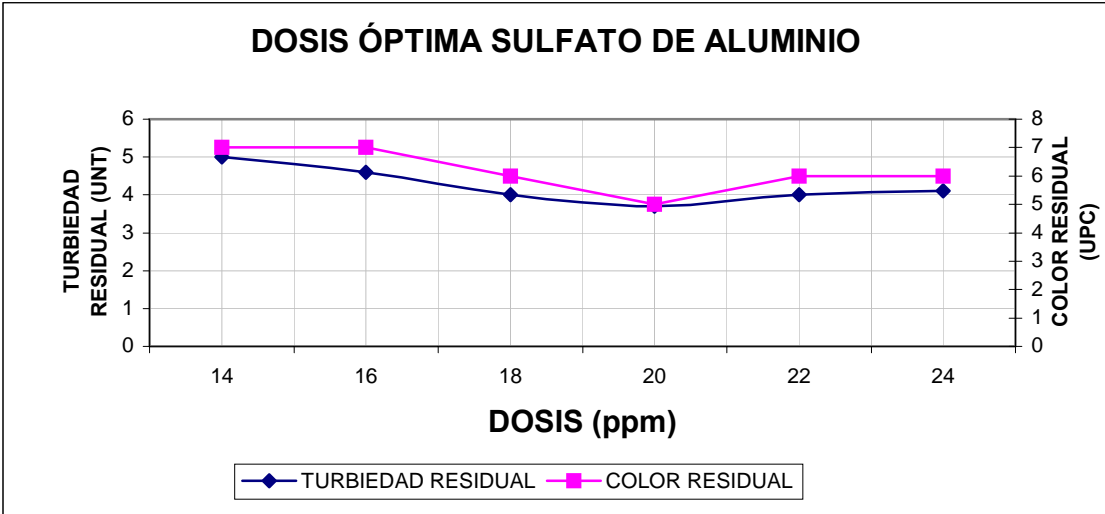
DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 23 UNT
 COLOR INICIAL: 87 UPC
 PH INICIAL: 8.00
 ALCALINIDAD: 63 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPT 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA		
		TIEMPO FORM [min]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]
No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO					
1	14	1'	6	7.6	7	5
2	16	1'	6	7.4	7	4.6
3	18	1'	6	7.4	6	4
4	20	1'	6	7.2	5	3.7
5	22	1'	6	7.1	6	4
6	24	1'	6	7	6	4.1

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad [rpm]	100	40		



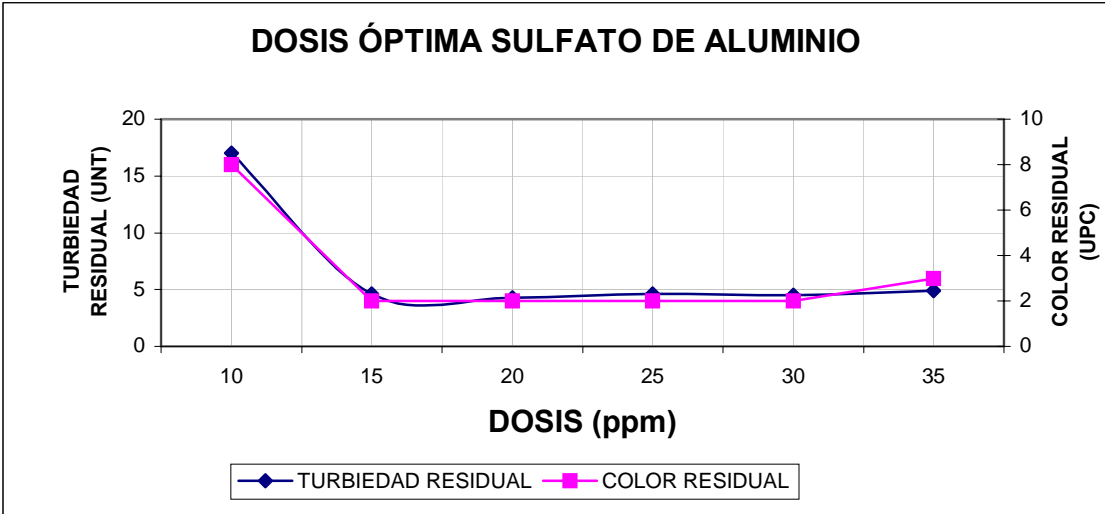
Dosis óptima de coagulante: 20 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 33 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃
 FECHA: 10 JUNIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA		
		TIEMPO FORM[<i>min</i>]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]
No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO					
1	10	1'	4	7,65	8	17
2	15	1'	6	7,44	2	4.6
3	20	1'	6	7,37	2	4.3
4	25	1'	6	7,21	2	4.6
5	30	1'	6	7,10	2	4.5
6	35	1'	6	7,04	3	4.9

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [<i>min</i>]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[<i>rpm</i>]	100	40		



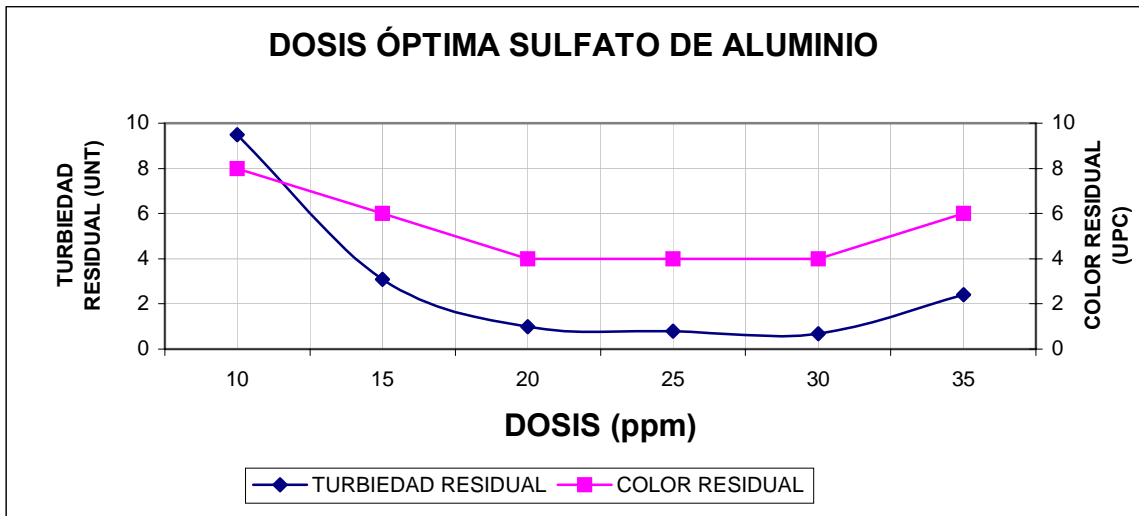
Dosis óptima de coagulante: 20 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 47 UNT
 COLOR INICIAL: 93 UPC
 PH INICIAL: 8.00
 ALCALINIDAD: 56 mg/L CaCO₃
 FECHA: 25 JULIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOMB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	10		1'30	4	7.3	8	9.5
2	15		1'30	6	7.16	6	3.1
3	20		1'30	6	7.01	4	1
4	25		1'30	6	6.95	4	0.8
5	30		1'30	6	6.85	4	0.69
6	35		1'30	4	6.72	6	2.4

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



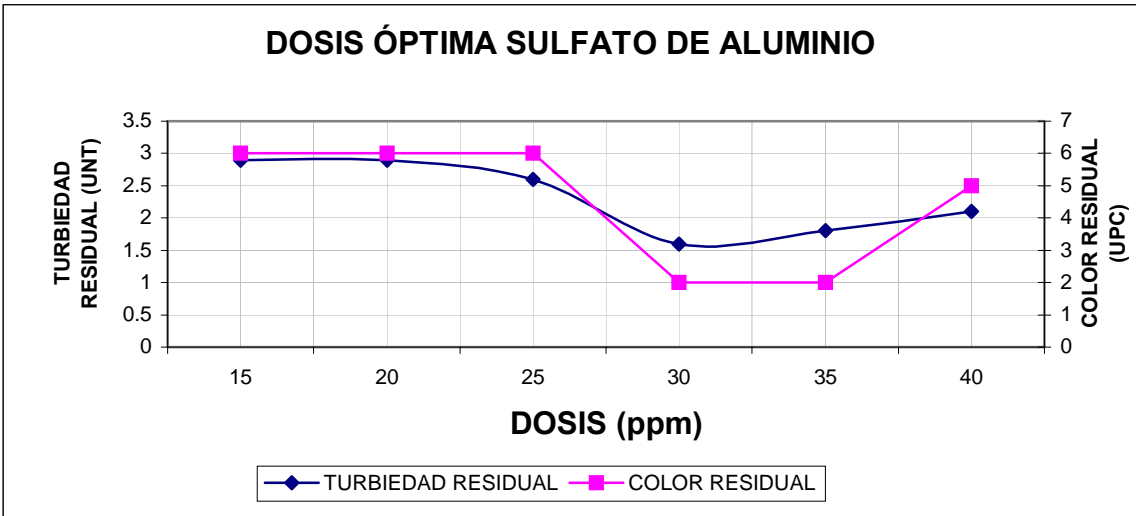
Dosis óptima de coagulante: 30 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 49 UNT
 COLOR INICIAL: 95 UPC
 PH INICIAL: 7.89
 ALCALINIDAD: 62.4 mg/L CaCO₃
 FECHA: 14 AGOSTO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	15		1'30	6	6.93	6	2.9
2	20		1'30	6	6.88	6	2.9
3	25		1'30	6	6.75	6	2.6
4	30		1'30	6	6.63	2	1.6
5	35		1'30	6	6.41	2	1.8
6	40		1'30	4	6.58	5	2.1

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



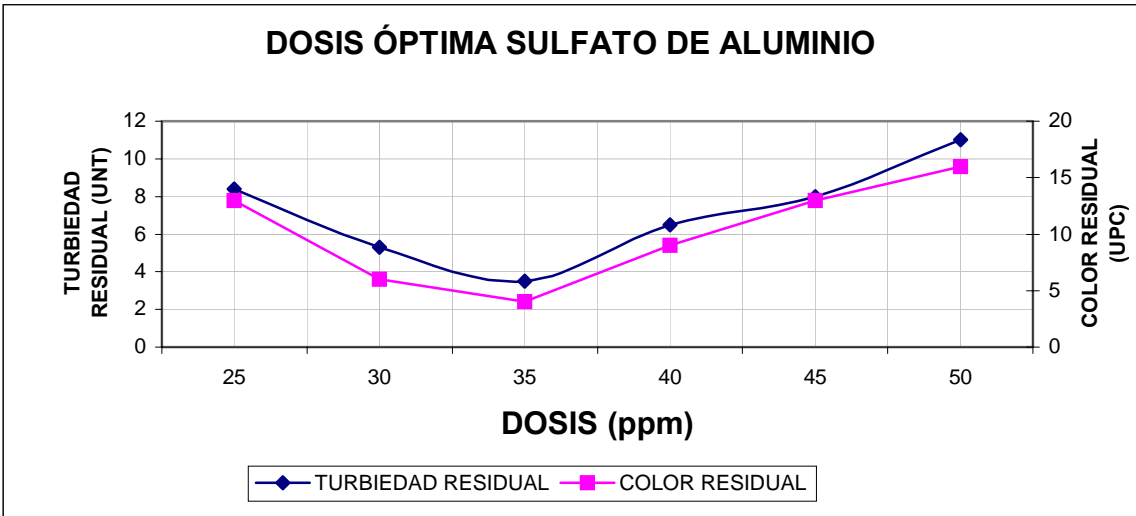
Dosis óptima de coagulante: 30 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/l CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACIÓN DE FLOC [s]	INDICE WILLCOMB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	25		1'	4	7	13	8.4
2	30		1'	4	6.9	6	5.3
3	35		1'	6	6.84	4	3.5
4	40		1'	4	6.83	9	6.5
5	45		1'	4	6.79	13	8
6	50		1'	4	6.66	16	11

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



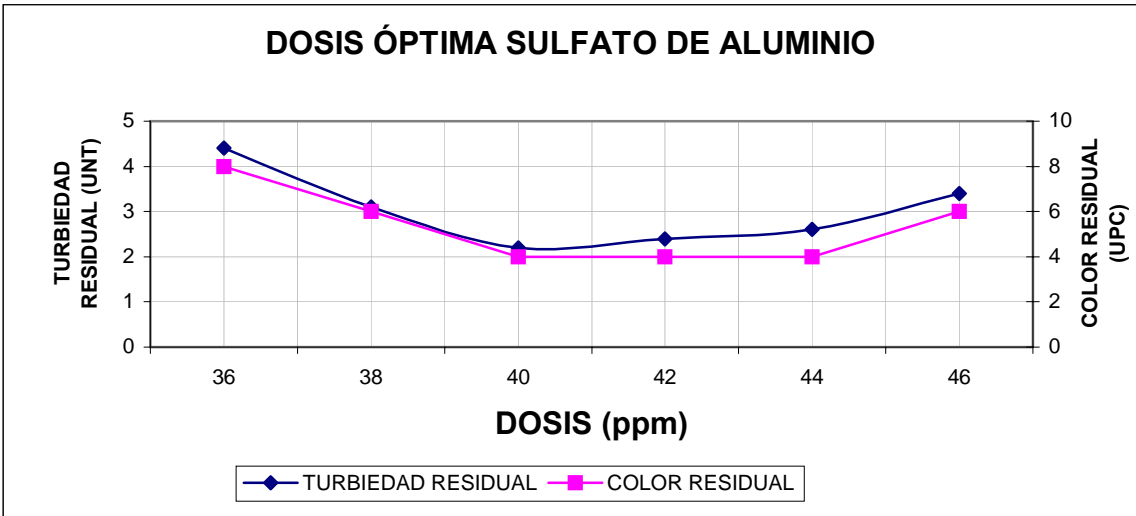
Dosis óptima de coagulante: 35 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 130 UNT
 COLOR INICIAL: 323 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 59.4 mg/L CaCO₃
 FECHA: 8 SEP 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA		
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH
1	36	60"	6	6.93	8	4.4
2	38	60"	6	6.88	6	3.1
3	40	60"	6	6.75	4	2.2
4	42	60"	6	6.63	4	2.4
5	44	60"	6	6.41	4	2.6
6	46	60"	4	6.58	6	3.4

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



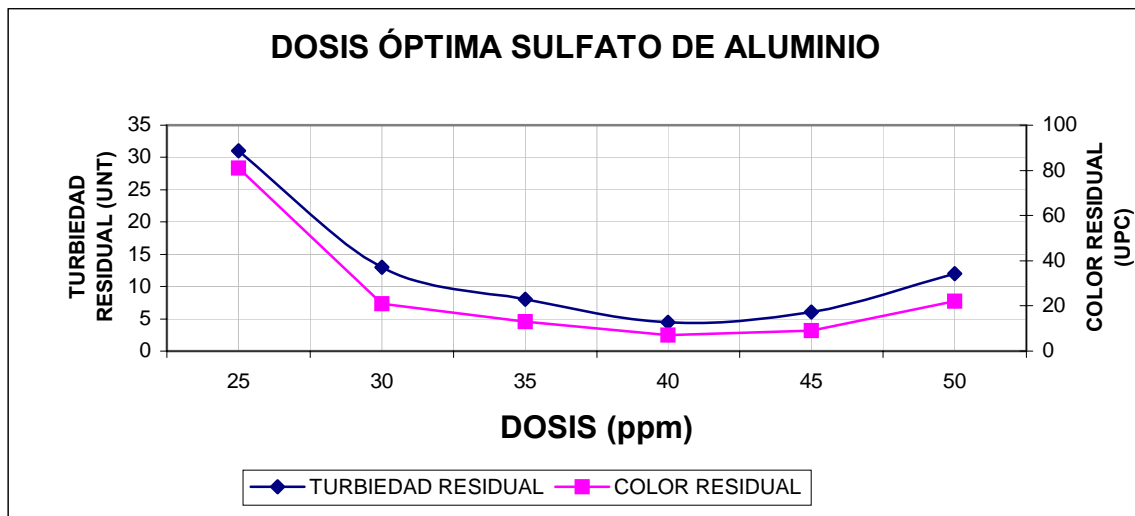
Dosis óptima de coagulante: 40 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	25		1'26	4	6.98	81	31
2	30		1'26	4	6.89	21	13
3	35		1'26	4	6.86	13	8
4	40		1'26	6	6.84	7	4.5
5	45		1'26	4	6.76	9	6
6	50		1'26	4	6.71	22	12

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



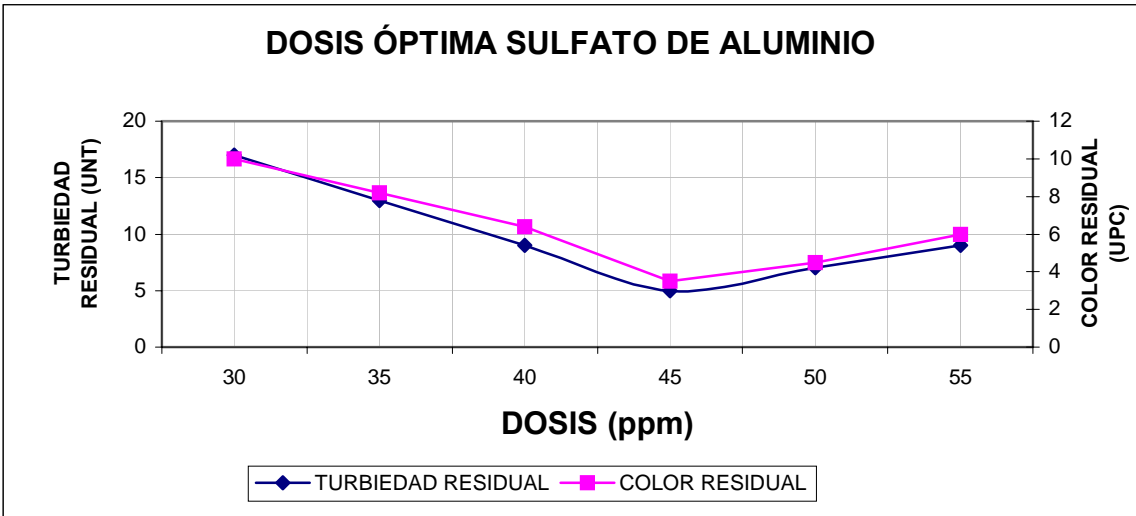
Dosis óptima de coagulante: 40 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 150 UNT
 COLOR INICIAL: 282 UPC
 PH INICIAL: 7.95
 ALCALINIDAD: 63.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOMB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	30		58"	6	6.62	10	17
2	35		58"	6	6.58	8.2	13
3	40		58"	6	6.56	6.4	9
4	45		58"	6	6.29	3.5	5
5	50		58"	6	6.2	4.5	7
6	55		58"	4	6.1	6	9

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



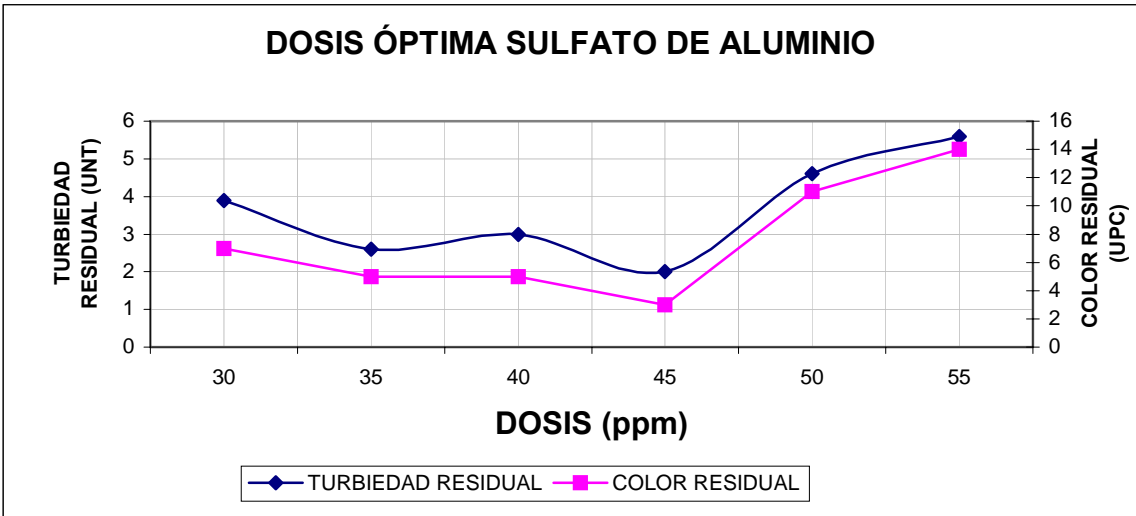
Dosis óptima de coagulante: 45 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 171 UNT
 COLOR INICIAL: 239 UPC
 PH INICIAL: 7.89
 ALCALINIDAD: 61 mg/L CaCO₃
 FECHA: 30 JUNIO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOMB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	30		58"	6	6.62	7	3.9
2	35		58"	6	6.58	5	2.6
3	40		58"	6	6.56	5	3
4	45		58"	6	6.29	3	2
5	50		58"	6	6.2	11	4.6
6	55		58"	4	6.1	14	5.6

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



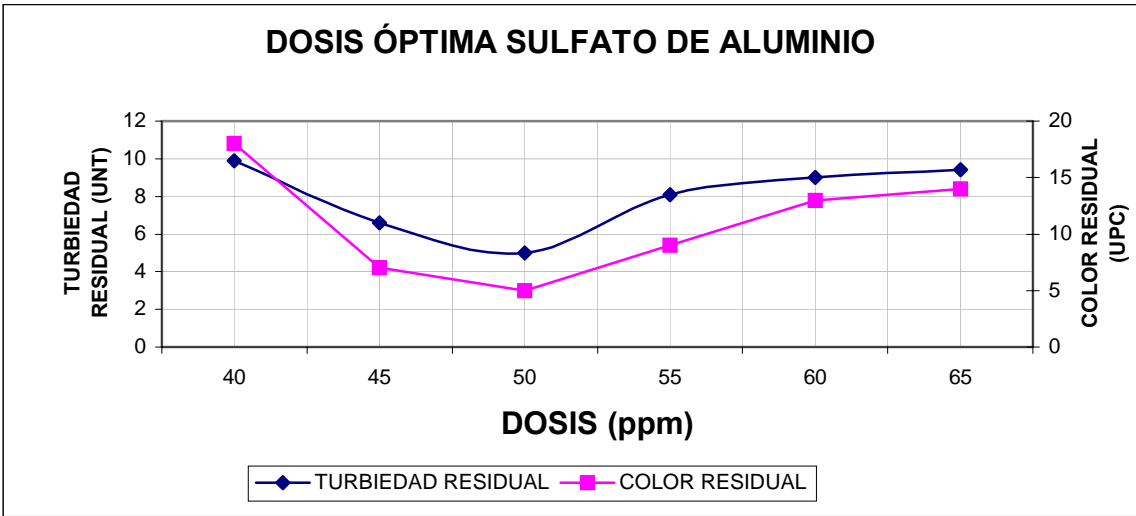
Dosis óptima de coagulante: 45 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	40		1'20	4	6.99	18	9.9
2	45		1'	4	6.95	7	6.6
3	50		1'	6	6.86	5	5
4	55		1'	4	6.75	9	8.1
5	60		1'	4	6.72	13	9
6	65		1'	4	6.62	14	9.4

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



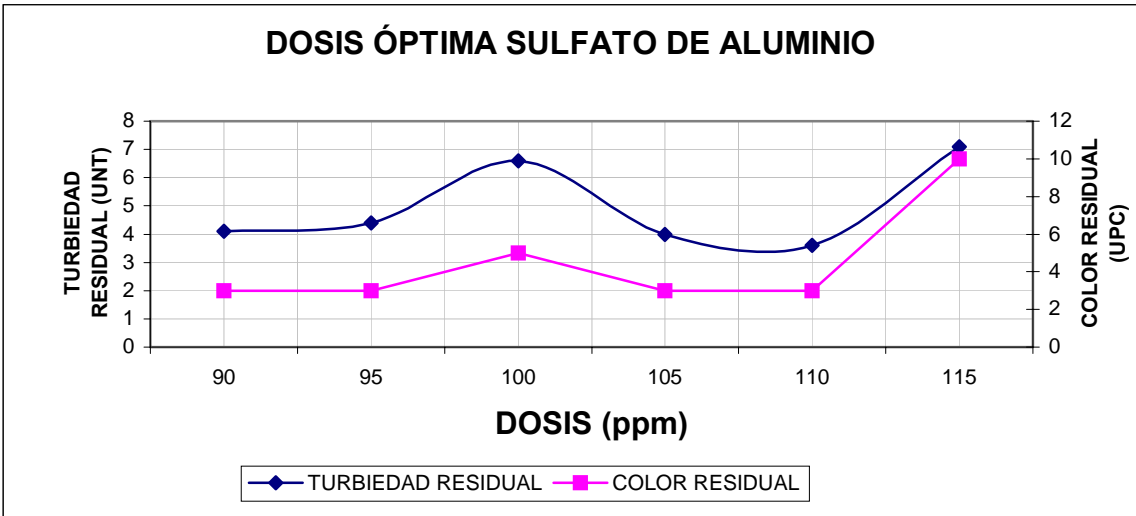
Dosis óptima de coagulante: 50 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	90		0'58	4	6.19	3	4.1
2	95		0'58	4	6.16	3	4.4
3	100		0'58	4	6.05	5	6.6
4	105		0'58	4	5.93	3	4
5	110		0'58	4	5.86	3	3.6
6	115		0'58	4	5.81	10	7.1

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



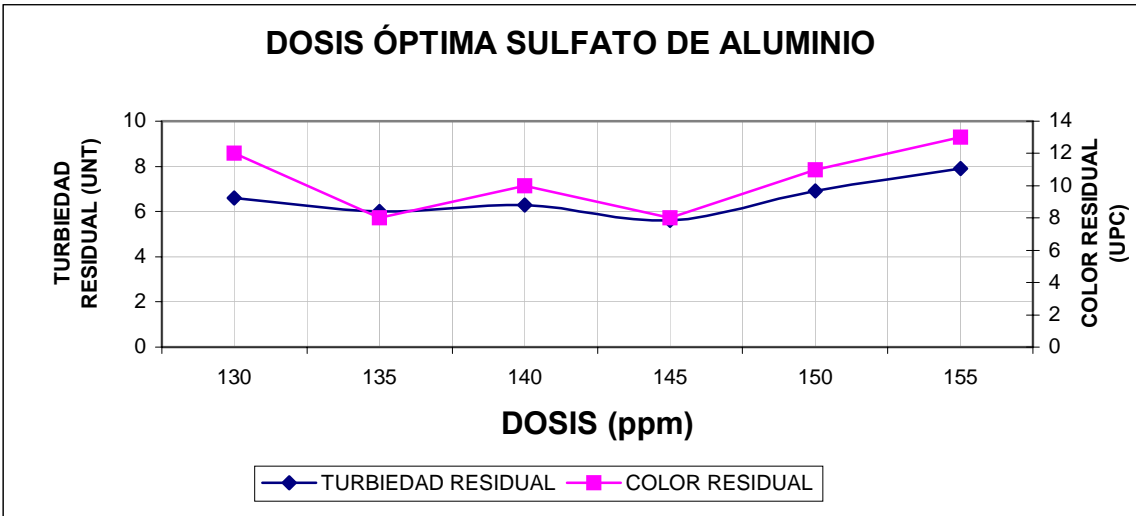
Dosis óptima de coagulante: 110 ppm

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOMB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	130		58"	4	6.07	12	6.6
2	135		58"	4	5.9	8	6
3	140		58"	4	5.85	10	6.3
4	145		58"	4	5.81	8	5.6
5	150		58"	4	5.76	11	6.9
6	155		58"	4	5.7	13	7.9

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



Dosis óptima de coagulante: 145 ppm

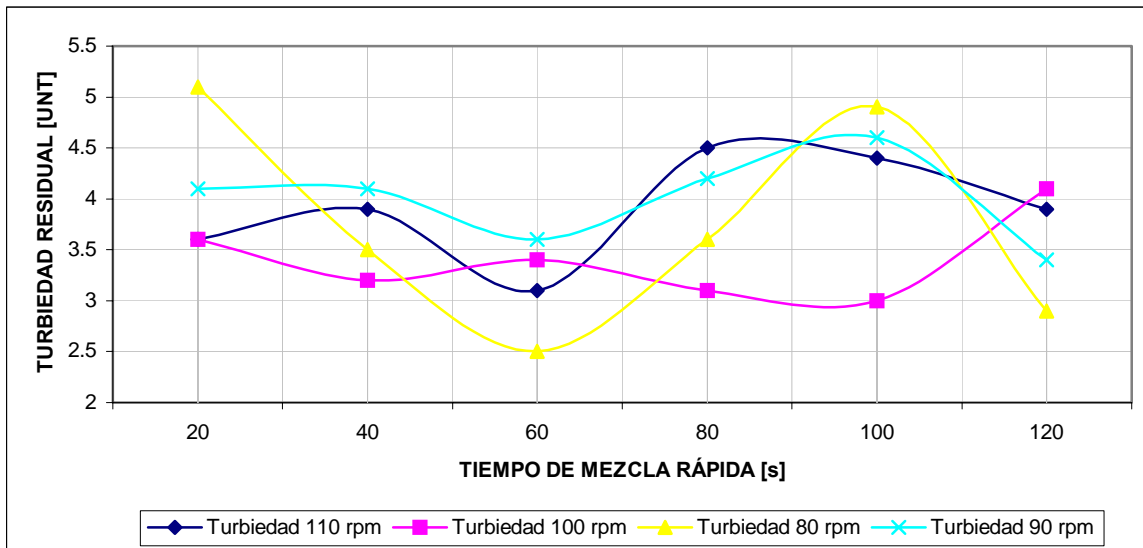
ANEXO 3

TIEMPO Y GRADIENTE ÓPTIMA DE MEZCLA RÁPIDA.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 23 UNT
 COLOR INICIAL: 87 UPC
 PH INICIAL: 8.00
 ALCALINIDAD: 63 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPT 2003

No DE JARRAS			1	2	3	4	5	6
TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA [s]			120	100	80	60	40	20
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120	RPM	5.2	4.7	4.7	3.2	4.1	4.2
	110	RPM	3.9	4.4	4.5	3.1	3.9	3.6
	100	RPM	4.1	3.0	3.1	3.4	3.2	3.6
	90	RPM	3.4	4.6	4.2	3.6	4.1	4.1
	80	RPM	2.9	4.9	3.6	2.5	3.5	5.1
CONDICIONES DE LA PRUEBA								
			Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras		
Tiempo [min]			VARIABLE	15	10	2 Litros		
Vel. [rpm]			VARIABLE	40				

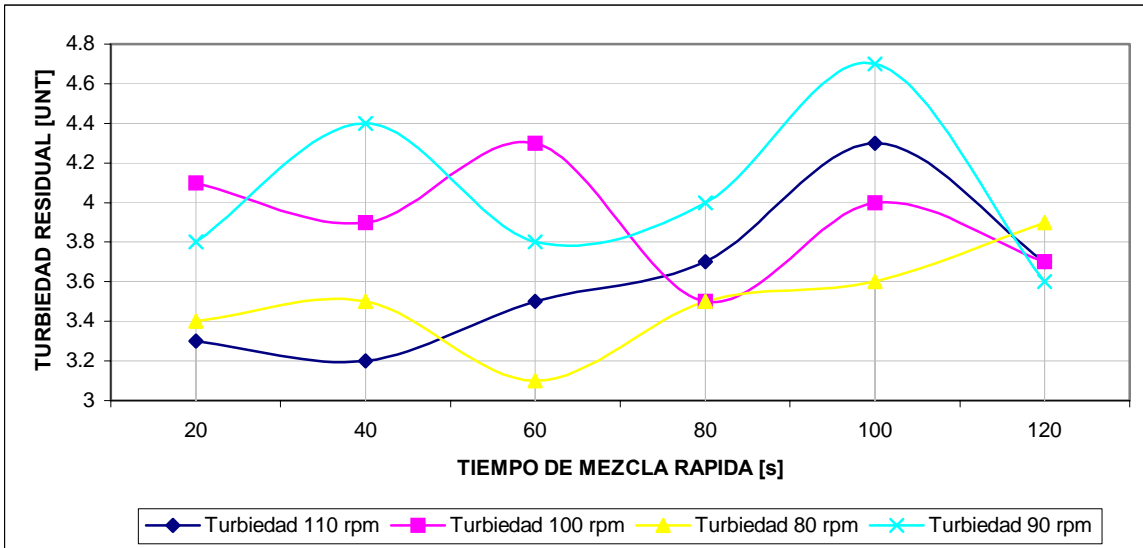


Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 80 rpm
 Tiempo Óptimo de Mezcla Rápida: 1' min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 33 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃
 FECHA: 10 JUNIO 2003

No DE JARRAS		1	2	3	4	5	6	
TIEMPO DE MEZCLA RAPIDA [s]		120	100	80	60	40	20	
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120	RPM	4.0	3.8	3.6	3.4	3.5	6.1
	110	RPM	3.7	4.3	3.7	3.5	3.2	3.3
	100	RPM	3.7	4.0	3.5	4.3	3.9	4.1
	90	RPM	3.6	4.7	4.0	3.8	4.4	3.8
	80	RPM	3.9	3.6	3.5	3.1	3.5	3.4
CONDICIONES DE LA PRUEBA								
		Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras			
Tiempo [min]		VARIABLE	15	10	2 Litros			
Vel. [rpm]		VARIABLE	40					

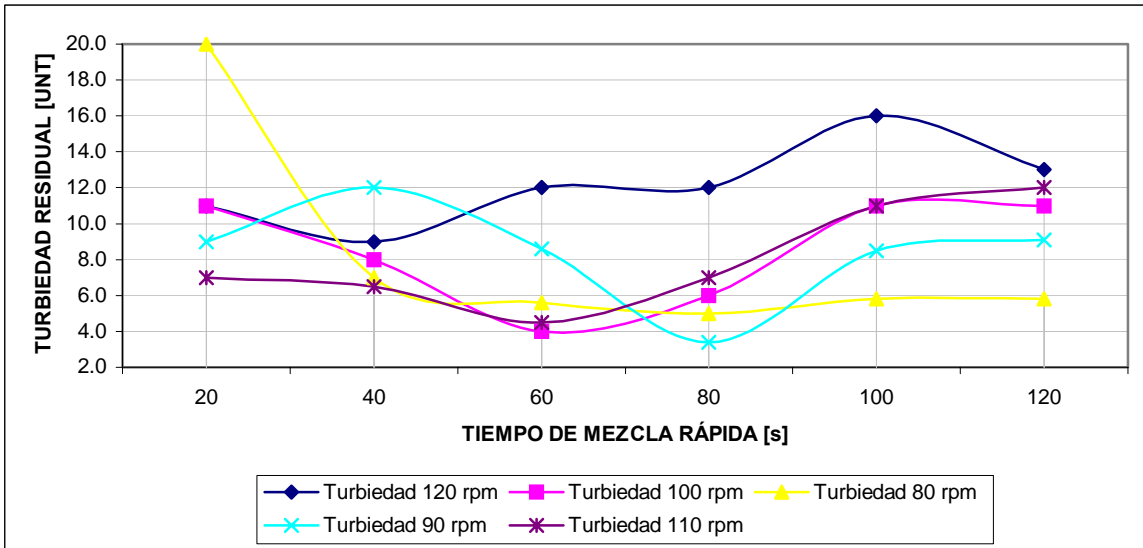


Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 80 rpm
 Tiempo Optimo de Mezcla Rápida: 1' min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/l CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

No DE JARRAS		1	2	3	4	5	6
TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA [s]		120	100	80	60	40	20
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120 RPM	13.0	16.0	12.0	12.0	9.0	11.0
	110 RPM	12.0	11.0	7.0	4.5	6.5	7.0
	100 RPM	11.0	11.0	6.0	4.0	8.0	11.0
	90 RPM	9.1	8.5	3.4	8.6	12.0	9.0
	80 RPM	5.8	5.8	5.0	5.6	7.0	20
CONDICIONES DE LA PRUEBA							
		Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras		
Tiempo [min]		VARIABLE		15	10	2 Litros	
Vel. [rpm]		VARIABLE		40			

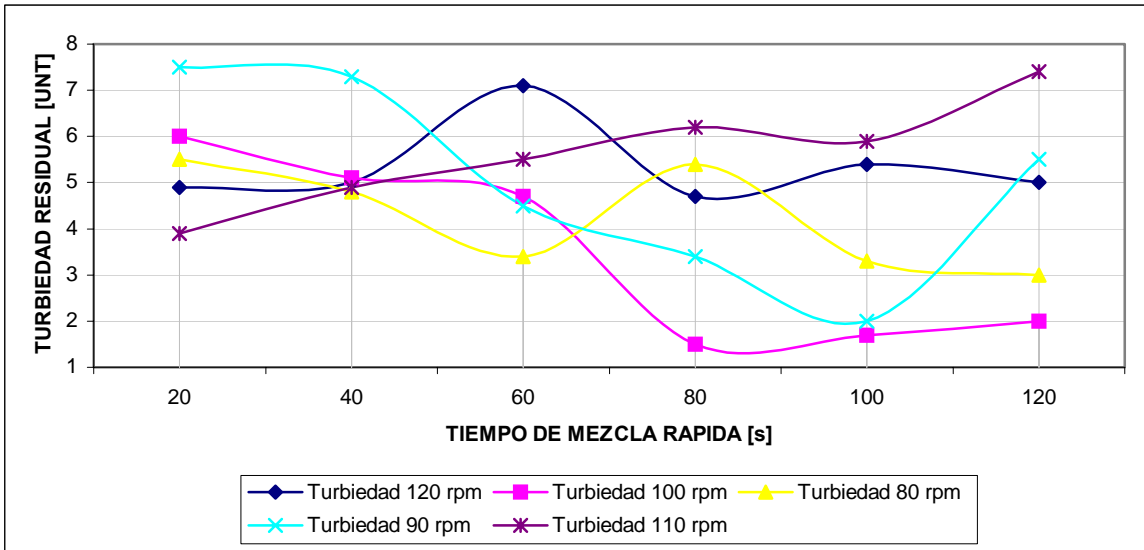


Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 90 rpm
 Tiempo Óptimo de Mezcla Rápida: 1'33 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

D.O : 40 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO3
 FECHA: 20 JUNIO 2003

No DE JARRAS		1	2	3	4	5	6	
TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA [s]		120	100	80	60	40	20	
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120	RPM	5.0	5.4	4.7	7.1	5.0	4.9
	110	RPM	7.4	5.9	6.2	5.5	4.9	3.9
	100	RPM	2.0	1.7	1.5	4.7	5.1	6.0
	90	RPM	5.5	2.0	3.4	4.5	7.3	7.5
	80	RPM	3.0	3.3	5.4	3.4	4.8	5.5
CONDICIONES DE LA PRUEBA								
		Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras			
Tiempo [min]		VARIABLE	15	10	2 Litros			
Vel. [rpm]		VARIABLE	40					

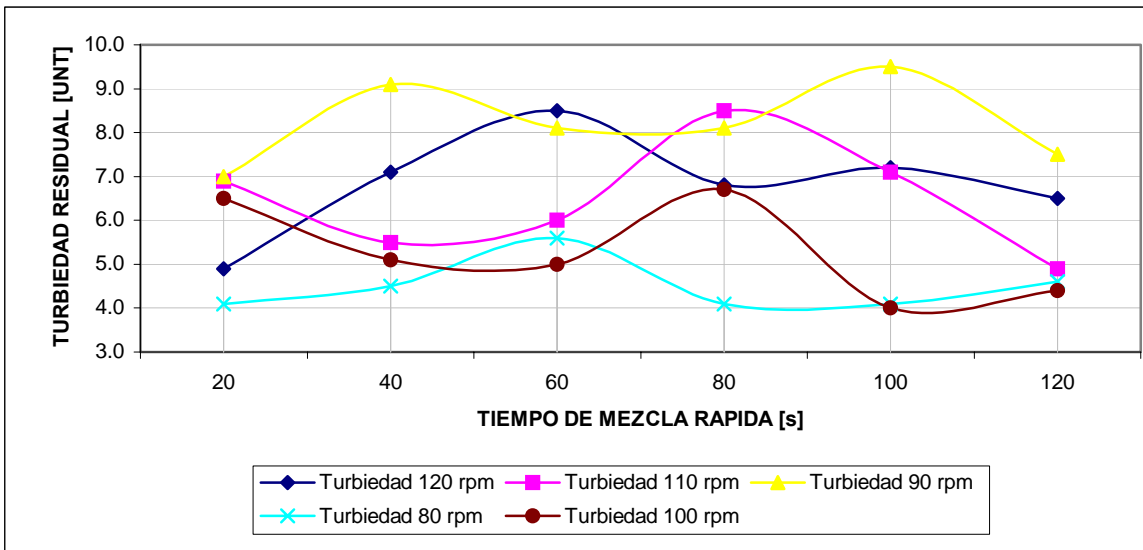


Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 100 rpm
 Tiempo Óptimo de Mezcla Rápida: 1'33 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO3
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

No DE JARRAS			1	2	3	4	5	6
TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA [s]			120	100	80	60	40	20
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120	RPM	6.5	7.2	6.8	8.5	7.1	4.9
	110	RPM	4.9	7.1	8.5	6.0	5.5	6.9
	100	RPM	4.4	4.0	6.7	5.0	5.1	6.5
	90	RPM	7.5	9.5	8.1	8.1	9.1	7.0
	80	RPM	4.6	4.1	4.1	5.6	4.5	4.1
CONDICIONES DE LA PRUEBA								
		Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación		Jarras	
Tiempo [min]		VARIABLE	15		10		2 Litros	
Vel. [rpm]		VARIABLE	40					

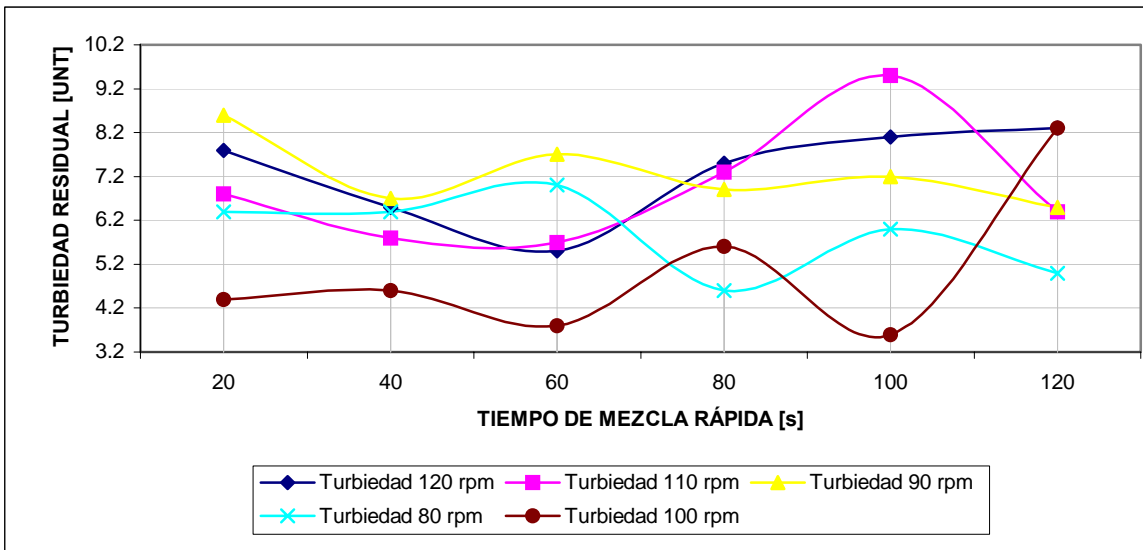


Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 100 rpm
 Tiempo Óptimo de Mezcla Rápida: 1'40 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

D.O: 110 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

No DE JARRAS		1	2	3	4	5	6	
TIEMPO DE MEZCLA RAPIDA [s]		120	100	80	60	40	20	
TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	120	RPM	8.3	8.1	7.5	5.5	6.5	7.8
	110	RPM	6.4	9.5	7.3	5.7	5.8	6.8
	100	RPM	8.3	3.6	5.6	3.8	4.6	4.4
	90	RPM	6.5	7.2	6.9	7.7	6.7	8.6
	80	RPM	5.0	6	4.6	7	6.4	6.4
CONDICIONES DE LA PRUEBA								
		Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras			
Tiempo [min]		VARIABLE		15	10	2 Litros		
Vel. [rpm]		VARIABLE		40				



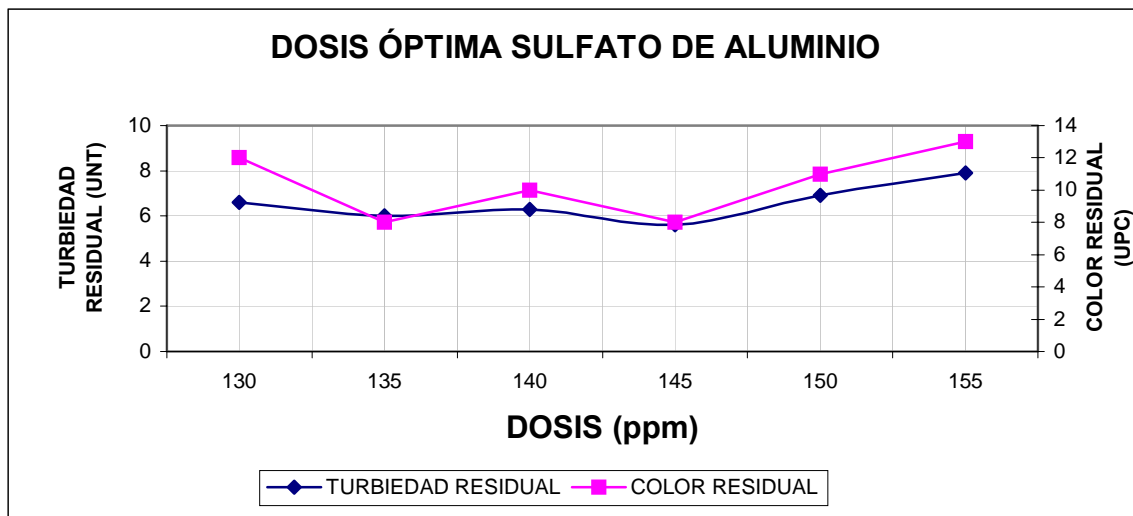
Velocidad Óptima de Mezcla Rápida: 100 rpm
 Tiempo Óptimo de Mezcla Rápida: 1.6' min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	DOSIFICACIÓN PPM	OBSERVACIÓN VISUAL		AGUA SEDIMENTADA			
		No	COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	T. FORMACION DE FLOC [s]	INDICE WILLCOB	PH	COLOR RESIDUAL [UPC]
1	130		58"	4	6.07	12	6.6
2	135		58"	4	5.9	8	6
3	140		58"	4	5.85	10	6.3
4	145		58"	4	5.81	8	5.6
5	150		58"	4	5.76	11	6.9
6	155		58"	4	5.7	13	7.9

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1	15	10	2 Litros
Velocidad[rpm]	100	40		



Dosis óptima de coagulante: 145 ppm

ANEXO 4

PH ÓPTIMO.

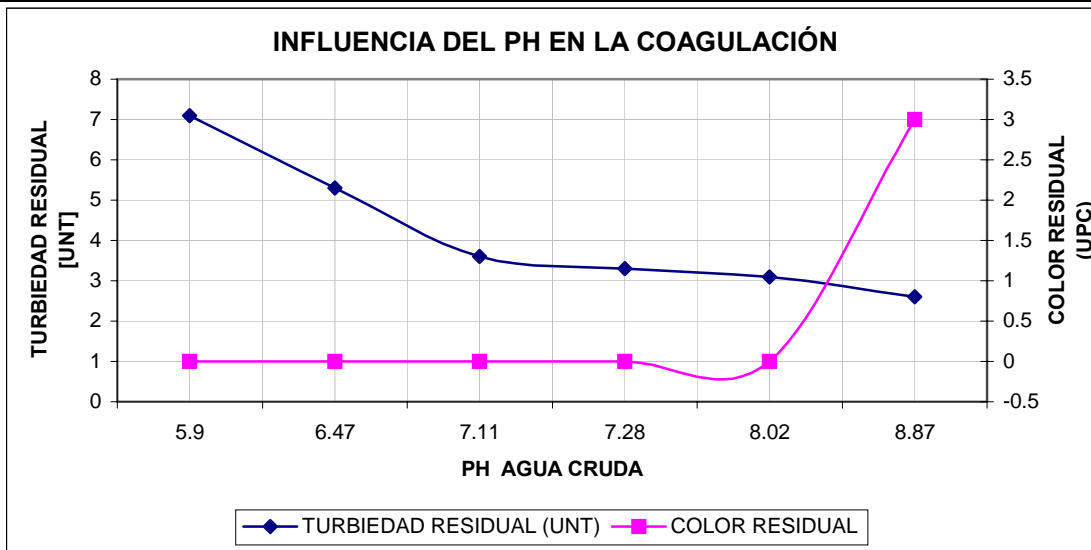
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 33.0 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃
 FECHA: 10 JUNIO 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		13	5.9	7.1	0	5.79
2		10.5	6.47	5.3	0	6.14
3		3.5	7.11	3.6	0	6.75
4		2.7	7.28	3.3	0	6.86
5			8.02	3.1	0	7.1
6	3		8.87	2.6	3	7.54

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	80	40		



PH Optimo: 8.87

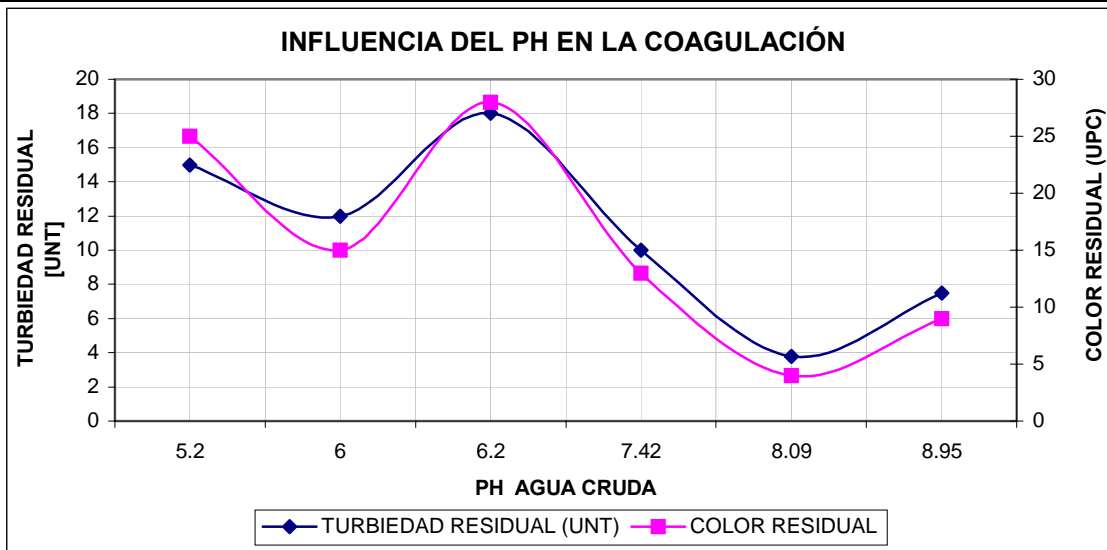
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		22.5	5.2	15	25	4.66
2		17.3	6	12	15	4.9
3		14.3	6.2	18	28	5.72
4		1.5	7.42	10	13	6.79
5			8.09	3.8	4	6.82
6	2.6		8.95	7.5	9	7.06

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	90	40		



PH Optimo: 8.09

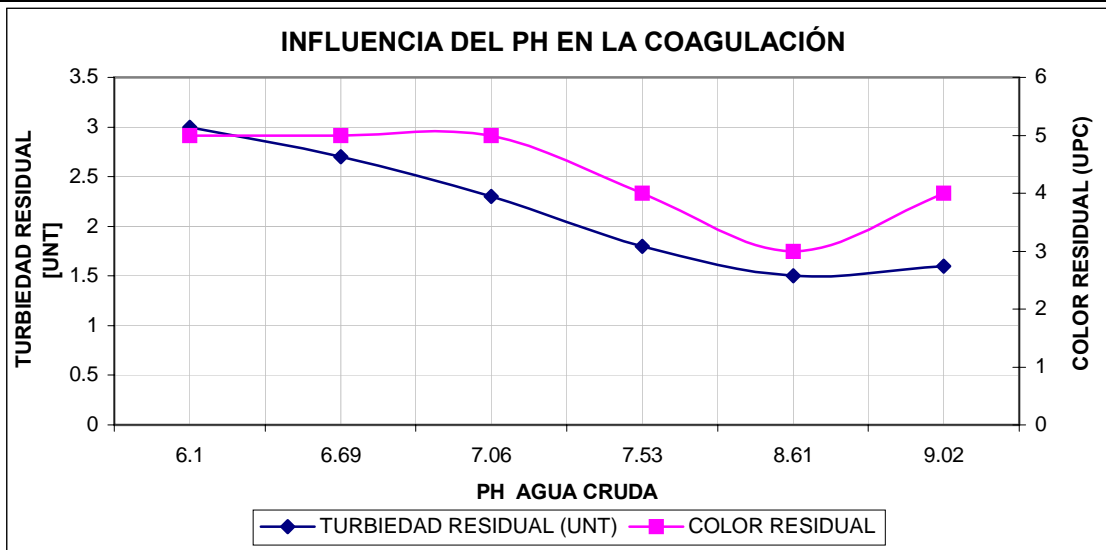
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

D.O : 40 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		11.5	6.1	3	5	5.4
2		7	6.69	2.7	5	5.9
3		2.5	7.06	2.3	5	6.27
4		0.8	7.53	1.8	4	6.60
5	1.4		8.61	1.5	3	6.84
6	2.7		9.02	1.6	4	7.01

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		



PH Optimo: 8.61

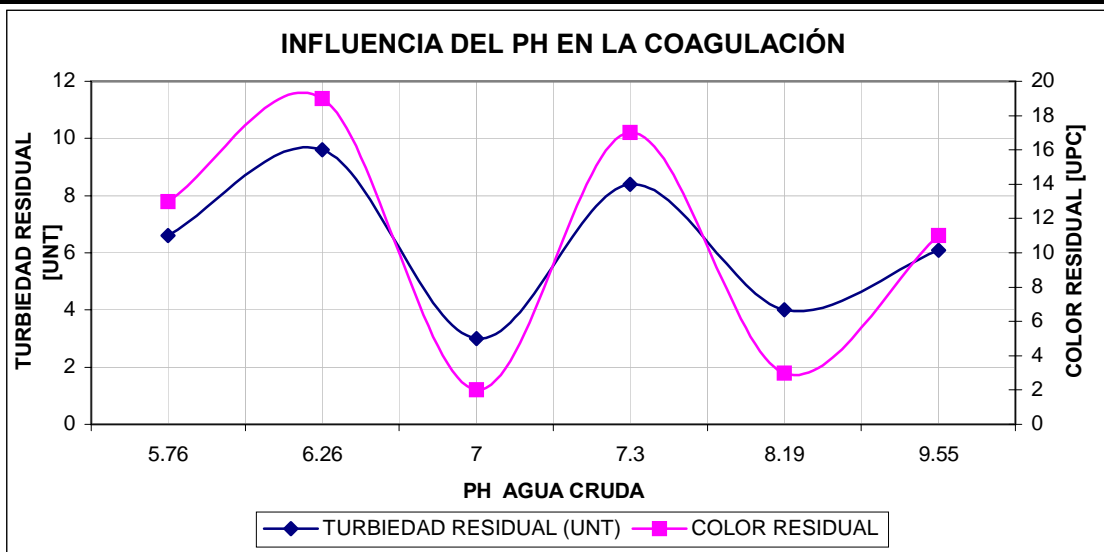
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		21.3	5.76	6.6	13	5.08
2		15	6.26	9.6	19	5.89
3		5	7	3	2	6.51
4		2.6	7.3	8.4	17	6.68
5			8.19	4	3	6.86
6	8		9.55	6.1	11	7.77

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'40	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		



PH Óptimo: 7

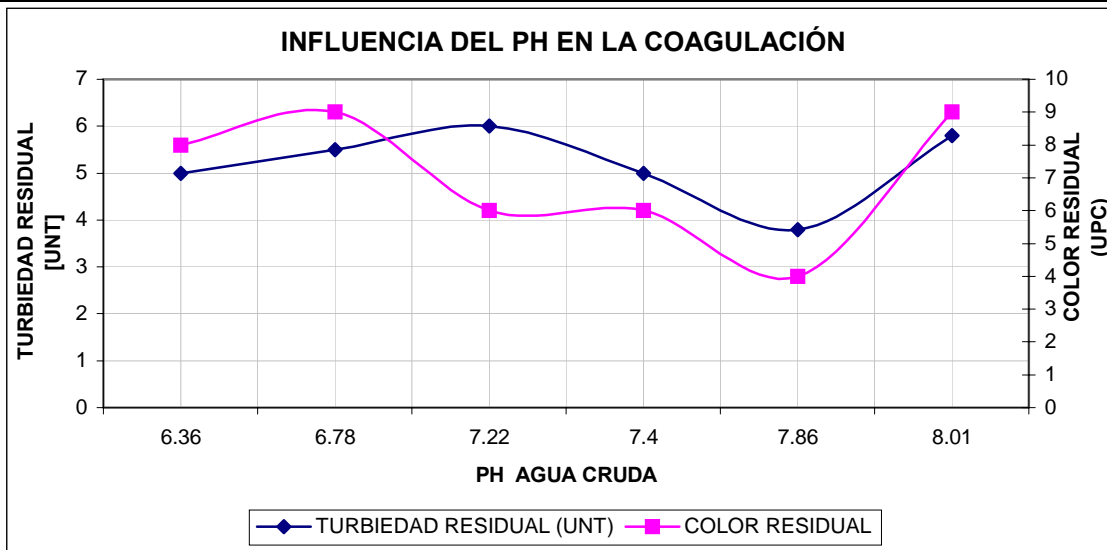
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

D.O: 110 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		7	6.36	5	8	4.86
2		5	6.78	5.5	9	5.41
3		2	7.22	6	6	5.52
4		1	7.4	5	6	5.74
5			7.86	3.8	4	5.86
6	3		8.01	5.8	9	6.41

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1.6'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		



PH Óptimo: 7.86

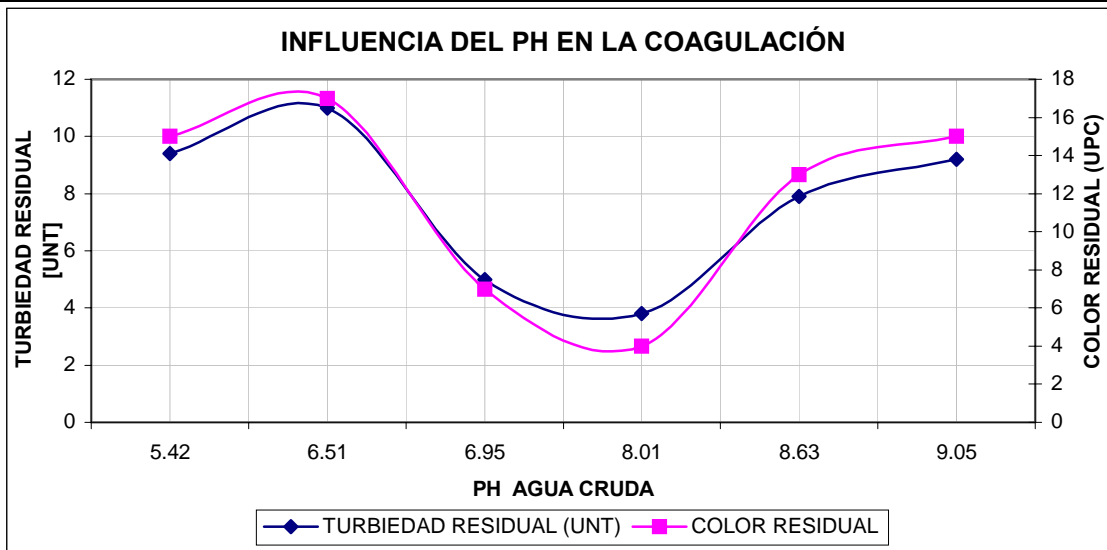
ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54.0 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	ALCALI	ACIDO	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH
	ml	ml	AJUSTADO	RESIDUAL	RESIDUAL	FINAL
1		13.4	5.42	9.4	15	4.37
2		11.8	6.51	11	17	4.75
3		5	6.95	5	7	5.3
4			8.01	3.8	4	5.79
5	1.5		8.63	7.9	13	5.89
6	4		9.05	9.2	15	6.07

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	2'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	110	40		



PH Óptimo: 8.01

ANEXO 5.

IMPORTANCIA DE LA MEZCLA RÁPIDA POR MEDIO DE ENSAYOS DE SEGREGACIÓN.

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

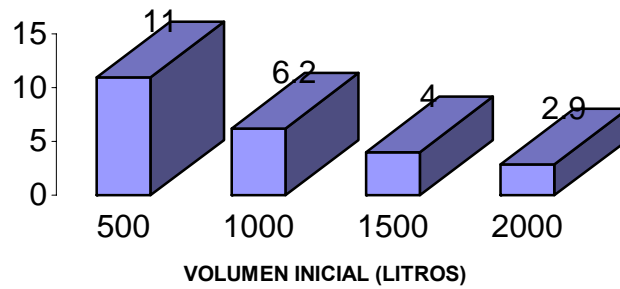
D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 33.0 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃
 FECHA: 10 JUNIO 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICIÓN FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	3'	11	14
2	1000	2000	2'	6.2	5
3	1500	2000	1'50	4	3
4	2000	2000	1'	2.9	2

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	80	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

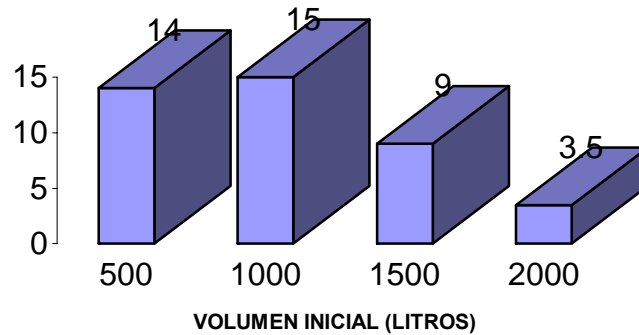
TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICIÓN FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	3'20	14	20
2	1000	2000	2'40	15	20
3	1500	2000	2'	9	12
4	2000	2000	1'	3.5	4

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	90	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACION EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

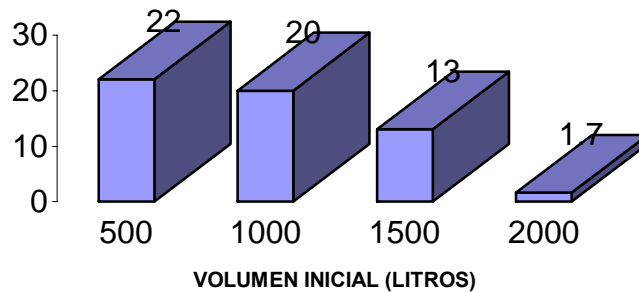
D.O : 40 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICIÓN FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	3'20	22	63
2	1000	2000	3'00	20	6
3	1500	2000	2'40	13	18
4	2000	2000	1'26	1.7	3

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

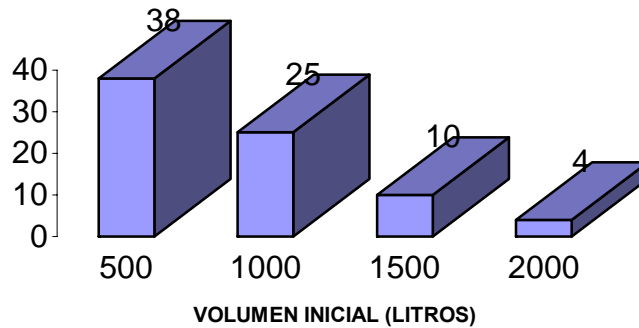
D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICIÓN FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	1'39	38	26
2	1000	2000	1'39	25	19
3	1500	2000	1'30	10	5
4	2000	2000	1'00	4	3

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'40	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

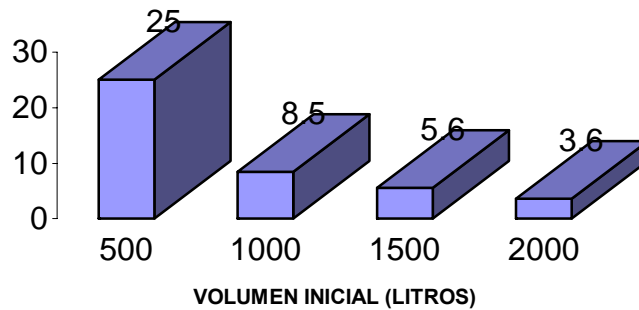
D.O: 110 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICION FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	1'06	25	18
2	1000	2000	0'59	8.5	10
3	1500	2000	0'58	5.6	6
4	2000	2000	0'58	3.6	3

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1.6'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: MEZCLA RÁPIDA MEDIANTE SEGREGACIÓN

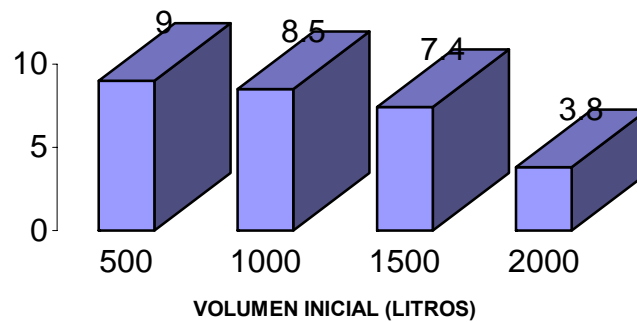
D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54.0 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	VOLUMEN	VOLUMEN	TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR
	INICIAL [ml]	FINAL [ml]	APARICION FLOC [MIN]	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]
1	500	2000	1'15	9	15
2	1000	2000	1'16	8.5	15
3	1500	2000	1'18	7.4	13
4	2000	2000	0.96'	3.8	5

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	2'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	110	40		

IMPORTANCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA MEZCLA RÁPIDA



■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

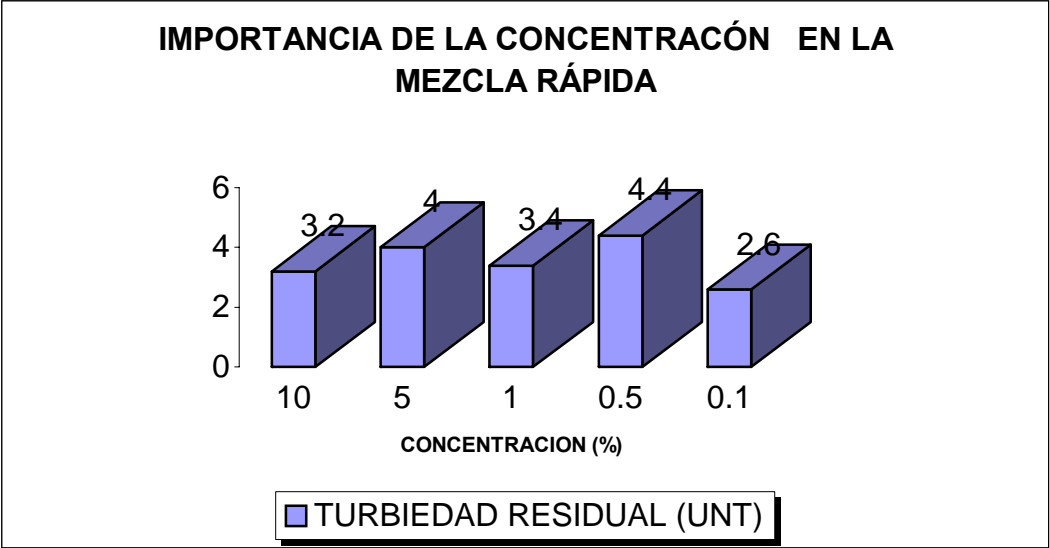
ANEXO 6.

INFLUENCIA QUE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTES TIENE EN LA COAGULACIÓN.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 33 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO3
 FECHA: 10 JUNIO 2003

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICIÓN FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	3.2	7.1	1´	3
5	4	7.2	1´30	3
1	3.4	7.22	2´00	3
0.5	4.4	7.41	3´	4
0.1	2.6	7.62	3´	3
CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	0´40"	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	80	40		

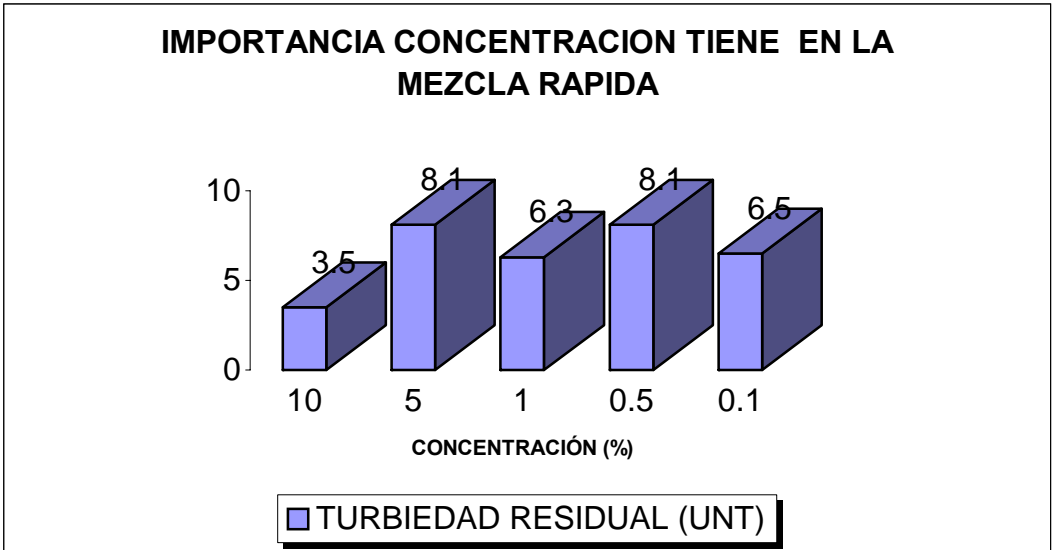


ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICIÓN FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	3.5	6.85	1'	5
5	8.1	6.88	1'30	15
1	6.3	6.94	1'30	10
0.5	8.1	6.98	1'30	15
0.1	6.5	7.01	1'30	10

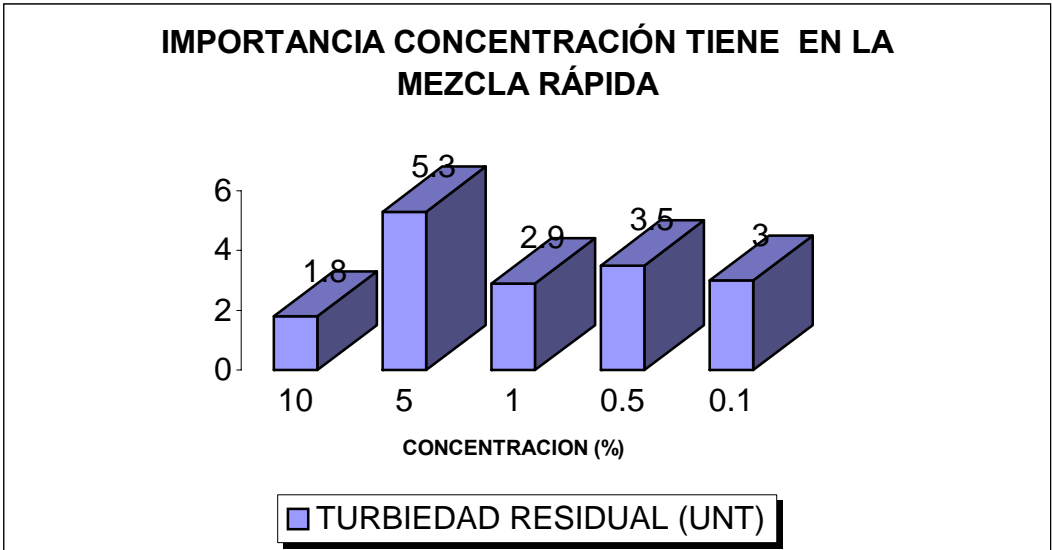
CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	90	40		



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

D.O : 40 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICIÓN FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	1.8	6.84	1'26	7
5	5.3	6.66	1'30	5
1	2.9	6.63	1'31	5
0.5	3.5	6.58	1'32	7
0.1	3	6.59	1'33	3
CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		

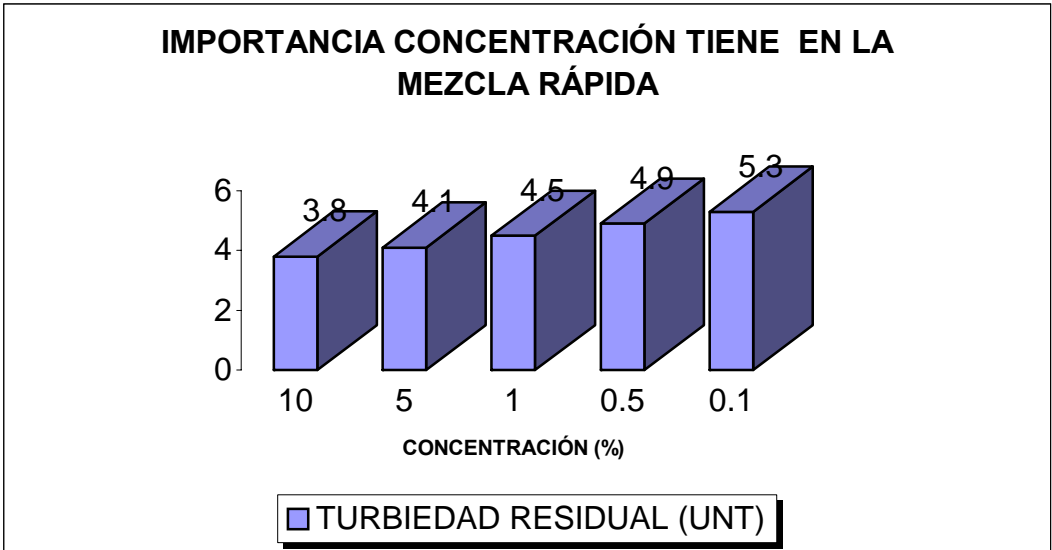


ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICIÓN FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	3.8	6.88	1'	3
5	4.1	6.82	1'05	3
1	4.5	6.82	1'05	4
0.5	4.9	6.81	1'03	6
0.1	5.3	6.8	1'00	8

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'40	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		



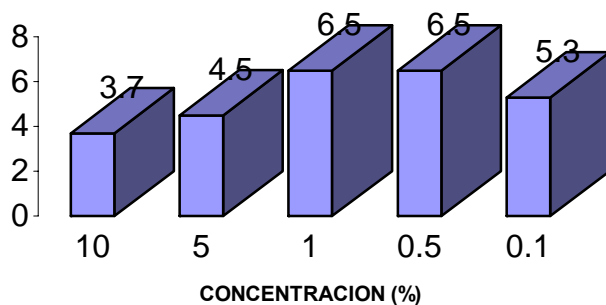
ENSAYO: DETERMINACION DE LA CONCENTRACION ÓPTIMA

D.O: 110 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

CONCENTRACION DE LA SOLUCION DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICION FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	3.7	5.86	0'53	4
5	4.5	5.9	0'53	6
1	6.5	5.93	0'53	8
0.5	6.5	5.97	0'53	8
0.1	5.3	6.12	0'53	7

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1.6'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	40		

IMPORTANCIA CONCENTRACION TIENE EN LA MEZCLA RÁPIDA



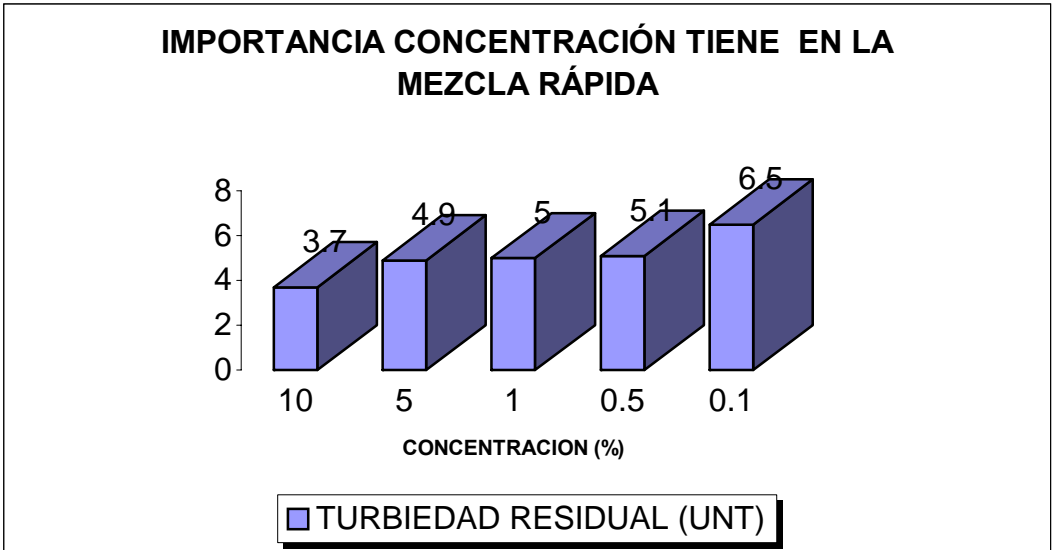
■ TURBIEDAD RESIDUAL (UNT)

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE COAGULANTE (%)	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	PH	TIEMPO APARICIÓN FLOC	COLOR RESIDUAL [UPC]
10	3.7	5.83	0.96'	6
5	4.9	5.75	1'52	7
1	5	5.64	1'56	7
0.5	5.1	5.78	1'56	7
0.1	6.5	5.74	1'52	9

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	2'	15	10	2 Litros
Vel. [rpm]	110	40		



ANEXO 7

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS AYUDANTES DE COAGULACIÓN.

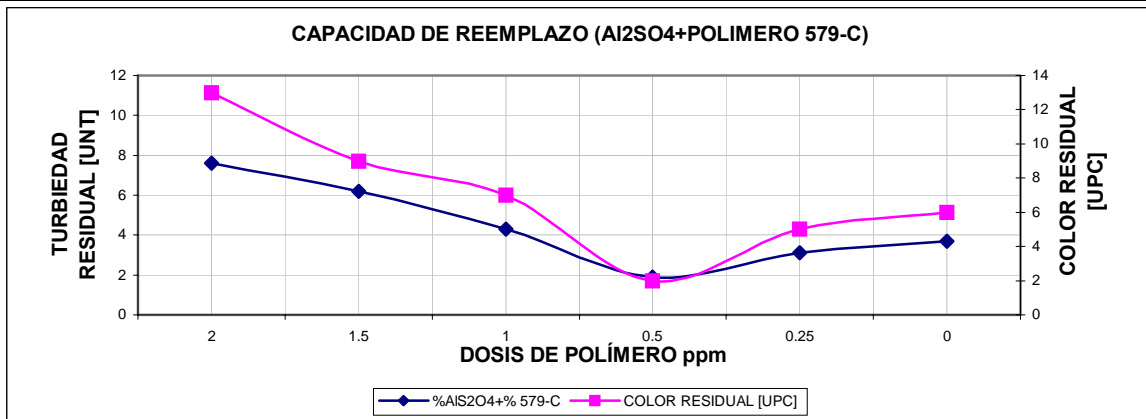
ENSAYO: EFICIENCIA DE LOS AYUDANTES DE COAGULACIÓN

D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

JARRA	COAGULANTE		POLIMERO		TIEMPO APARICION FLOC	TURBIEDAD RESIDUAL [UNT]	COLOR RESIDUAL [UPC]	PH FINAL
	PPM	%	PPM	%				
	1	30	60	2	40	0'58	7.6	13
2	35	70	1.5	30	0'58	6.2	9	7.1
3	40	80	1	20	0'58	4.3	7	7.07
4	45	90	0.5	10	0'58	1.9	2	7.05
5	47.5	95	0.25	5	0'58	3.1	5	7.03
6	50	100	0	0	0'58	3.7	6	6.99

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'40	30	VARIABLE	2 Litros
Vel. [rpm]	100	20		



AYUDANTE DE COAGULACIÓN TIPO 579-C SOLUCIÓN AL 0.01%
 SULFATO DE ALUMINIO AL 1%

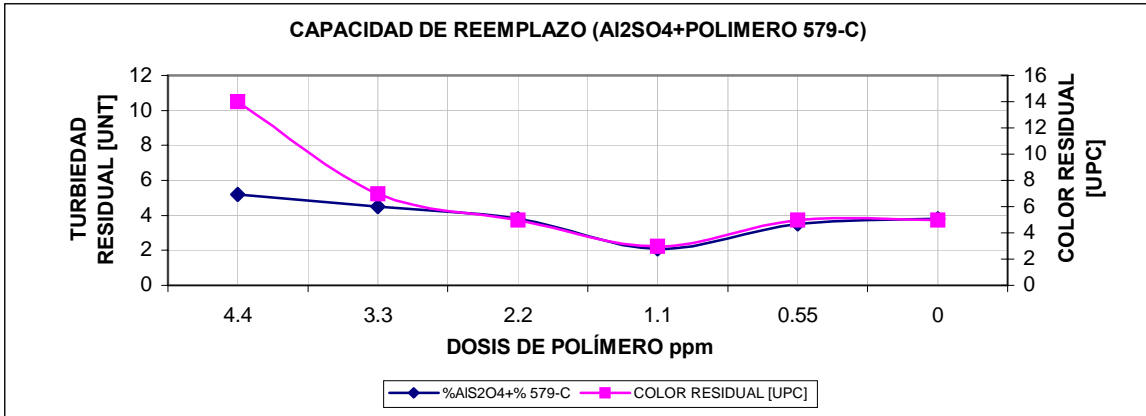
ENSAYO: EFICIENCIA DE LOS AYUDANTES DE COAGULACIÓN

D.O: 115 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 3,240 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

JARRA	COAGULANTE		POLIMERO		TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR	PH FINAL
	PPM	%	PPM	%	APARICION	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]	
					FLOC			
1	66	60	4.4	40	0'58	5.2	14	6.17
2	77	70	3.3	30	0'58	4.5	7	6.11
3	88	80	2.2	20	0'58	3.8	5	6.09
4	99	90	1.1	10	0'58	2.1	3	6.07
5	104.5	95	0.55	5	0'58	3.5	5	5.95
6	110	100	0	0	0'58	3.8	5	5.89

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1.6'	15	VARIABLE	2 Litros
Vel. [rpm]	100	30		



AYUDANTE DE COAGULACIÓN TIPO 579-C SOLUCIÓN AL 0.01%
 SULFATO DE ALUMINIO AL 1%

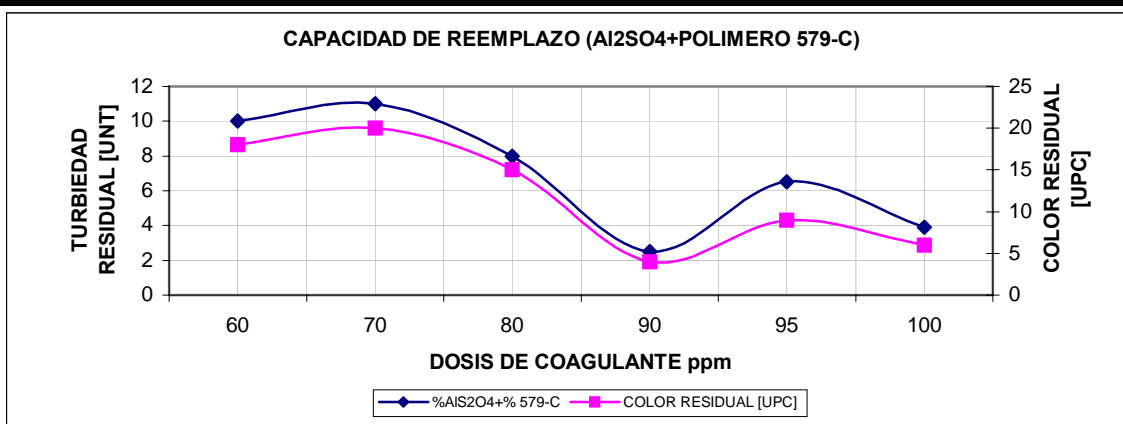
ENSAYO: EFICIENCIA DE LOS AYUDANTES DE COAGULACIÓN

D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3,240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54.0 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	COAGULANTE		POLIMERO		TIEMPO	TURBIEDAD	COLOR	PH FINAL
	PPM	%	PPM	%	APARICION	RESIDUAL [UNT]	RESIDUAL [UPC]	
					FLOC			
1	87	60	5.8	40	0'58	10	18	6.36
2	101.5	70	4.4	30	0'58	11	20	6.26
3	116	80	2.9	20	0'58	8	15	6.07
4	130.5	90	1.5	10	0'58	2.5	4	5.95
5	137.5	95	0.8	5	0'58	6.5	9	5.84
6	145	100	0	0	0'58	3.9	6	5.78

CONDICIONES DE LA PRUEBA

	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	2'	15	VARIABLE	2 Litros
Vel. [rpm]	110	30		



AYUDANTE DE COAGULACIÓN TIPO 579-C SOLUCIÓN AL 0.01%
 SULFATO DE ALUMINIO AL 1%

ANEXO 8

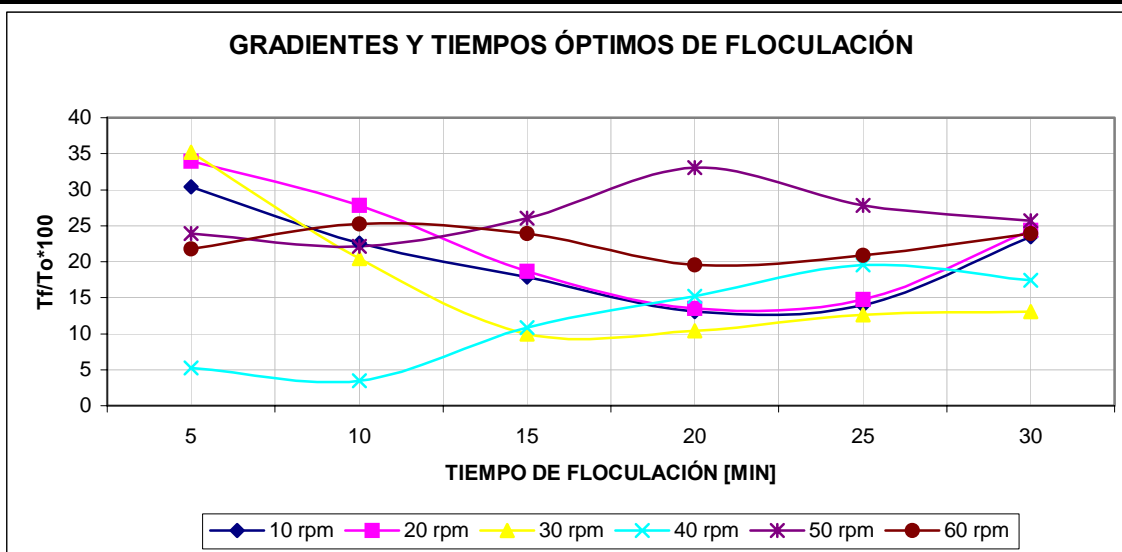
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO Y GRADIENTE ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 23 UNT
 COLOR INICIAL: 87 UPC
 PH INICIAL: 8
 ALCALINIDAD: 63 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPT 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	7	30.43	7.8	33.91	8.1	35.22	1.2	5.217	5.5	23.913	5	21.74
10	5.2	22.61	6.4	27.83	4.7	20.43	0.8	3.478	5.1	22.174	5.8	25.22
15	4.1	17.83	4.3	18.7	2.3	10	2.5	10.87	6	26.087	5.5	23.91
20	3	13.04	3.1	13.48	2.4	10.43	3.5	15.22	7.6	33.043	4.5	19.57
25	3.2	13.91	3.4	14.78	2.9	12.61	4.5	19.57	6.4	27.826	4.8	20.87
30	5.4	23.48	5.6	24.35	3	13.04	4	17.39	5.9	25.652	5.5	23.91

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	80	VARIABLE		



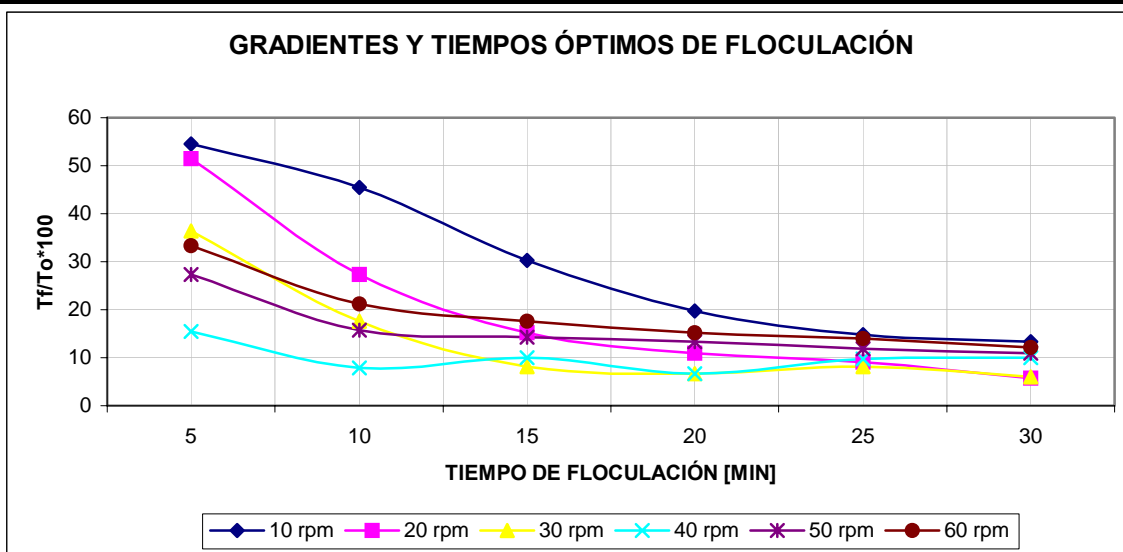
Velocidad Óptima de Floculación: 20 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 30 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O: 20 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 33 UNT
 COLOR INICIAL: 61 UPC
 PH INICIAL: 8.02
 ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃
 FECHA: 10 JUNIO 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	18	54.55	17	51.52	12	36.36	5.1	15.45	9	27.273	11	33.33
10	15	45.45	9	27.27	5.8	17.58	2.6	7.879	5.2	15.758	7	21.21
15	10	30.3	5	15.15	2.7	8.182	3.3	10	4.7	14.242	5.8	17.58
20	6.5	19.7	3.6	10.91	2.2	6.667	2.2	6.667	4.4	13.333	5	15.15
25	4.9	14.85	3	9.091	2.7	8.182	3.2	9.697	3.9	11.818	4.6	13.94
30	4.4	13.33	1.9	5.758	2	6.061	3.3	10	3.6	10.909	4	12.12

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	80	VARIABLE		



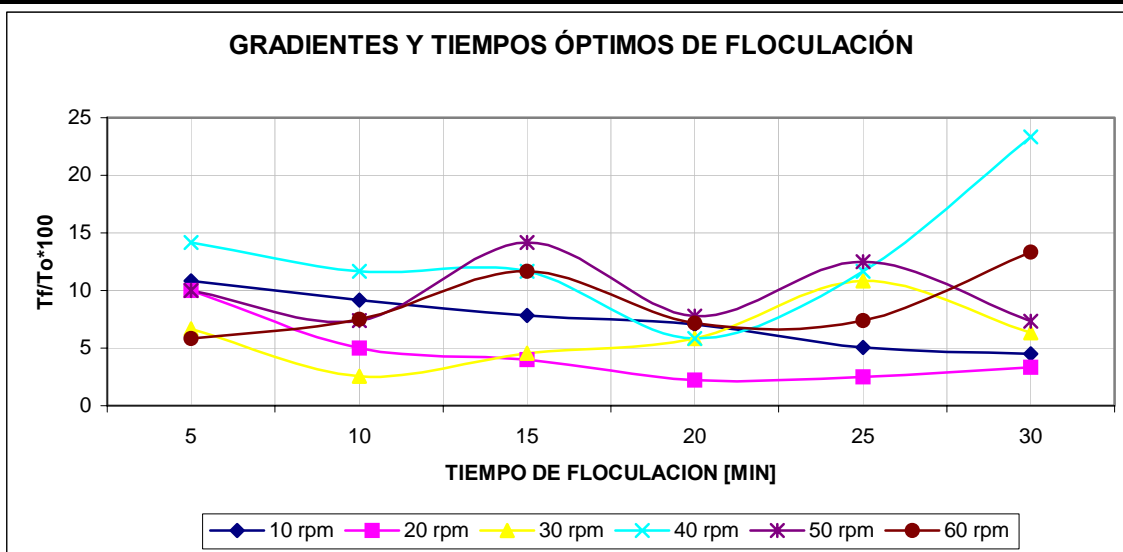
Velocidad Óptima de Floculación: 20 rpm
 Tiempo Optimo de Floculación: 30 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT
 COLOR INICIAL: 139 UPC
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	13	10.83	12	10	8	6.667	17	14.17	12	10	7	5.833
10	11	9.167	6	5.0	3.1	2.583	14	11.67	8.9	7.4167	9	7.5
15	9.4	7.833	4.8	4.0	5.5	4.583	14	11.67	17	14.167	14	11.67
20	8.5	7.083	2.7	2.25	7.0	5.833	7	5.833	9.3	7.75	8.6	7.167
25	6.1	5.083	3.0	2.5	13	10.83	14	11.67	15	12.5	8.9	7.417
30	5.4	4.5	4.0	3.333	7.6	6.333	28	23.33	8.8	7.3333	16	13.33

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	90	VARIABLE		



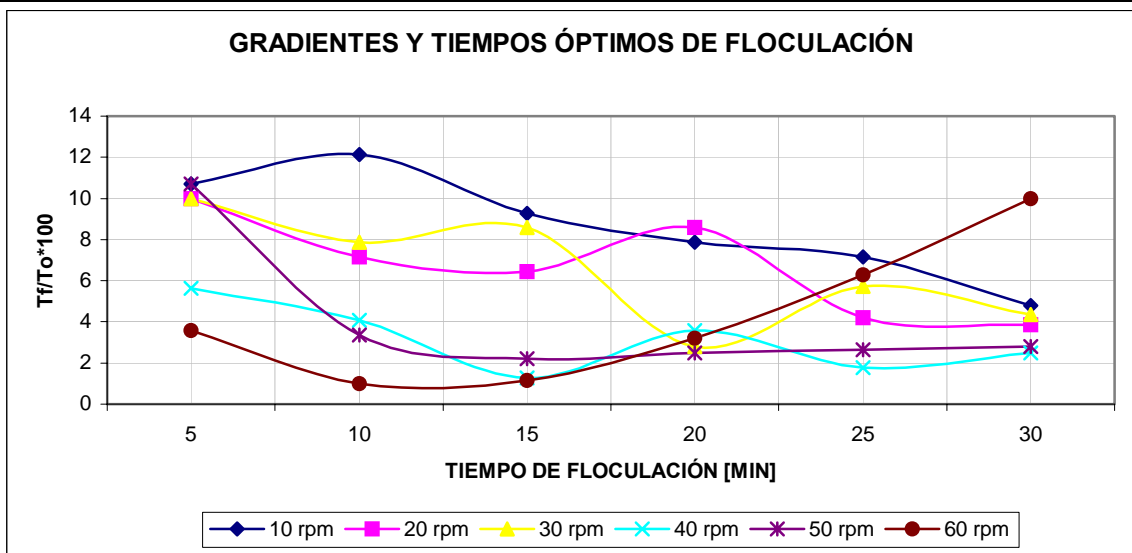
Velocidad Óptima de Floculación: 20 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 25 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O : 40 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 140 UNT
 COLOR INICIAL: 304 UPC
 PH INICIAL: 8.05
 ALCALINIDAD: 55.6 mg/L CaCO₃
 FECHA: 20 JUNIO 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	15	10.71	14	10	14	10	7.9	5.643	15	10.714	5	3.571
10	17	12.14	10	7.143	11	7.857	5.7	4.071	4.7	3.3571	1.4	1
15	13	9.286	9	6.429	12	8.571	1.8	1.286	3.1	2.2143	1.6	1.143
20	11	7.857	12	8.571	3.9	2.786	5	3.571	3.5	2.5	4.5	3.214
25	10	7.143	5.9	4.214	8	5.714	2.5	1.786	3.7	2.6429	8.8	6.286
30	6.7	4.786	5.4	3.857	6.1	4.357	3.5	2.5	3.9	2.7857	14	10

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'33	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	VARIABLE		



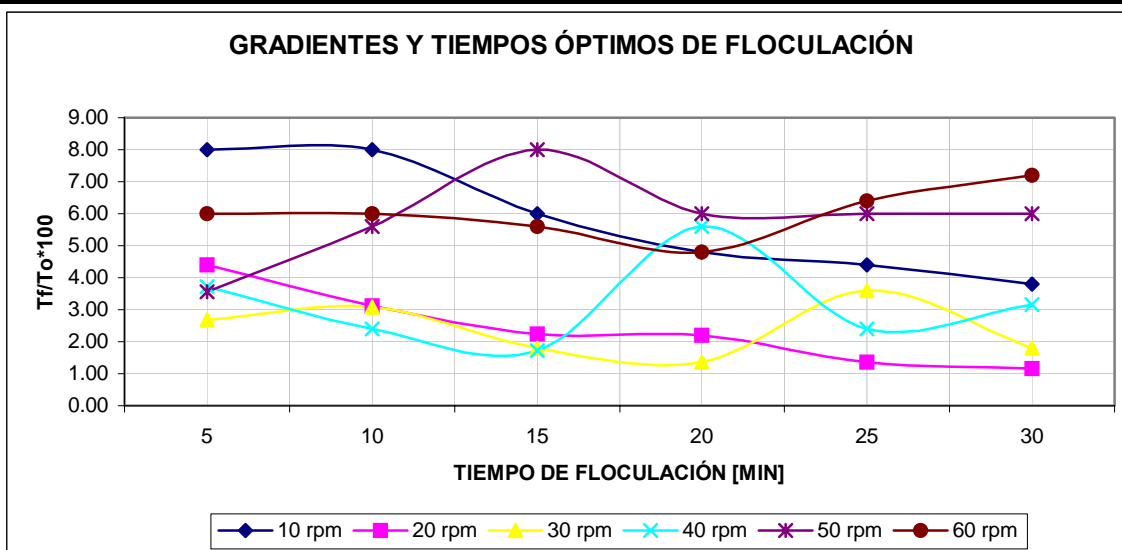
Velocidad Óptima de Floculación: 60 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 10 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O: 50 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 250 UNT
 COLOR INICIAL: 371 UPC
 PH INICIAL: 8.19
 ALCALINIDAD: 55.8 mg/L CaCO₃
 FECHA: 29 AGOSTO 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	20	8.00	11	4.40	6.7	2.68	9.3	3.72	8.9	3.56	15	6.00
10	20	8.00	7.8	3.12	7.7	3.08	6	2.40	14	5.60	15	6.00
15	15	6.00	5.6	2.24	4.5	1.80	4.3	1.72	20	8.00	14	5.60
20	12	4.80	5.5	2.20	3.4	1.36	14	5.60	15	6.00	12	4.80
25	11	4.40	3.4	1.36	9	3.60	6	2.40	15	6.00	16	6.40
30	9.5	3.80	2.9	1.16	4.5	1.80	7.9	3.16	15	6.00	18	7.20

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1'40	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	VARIABLE		



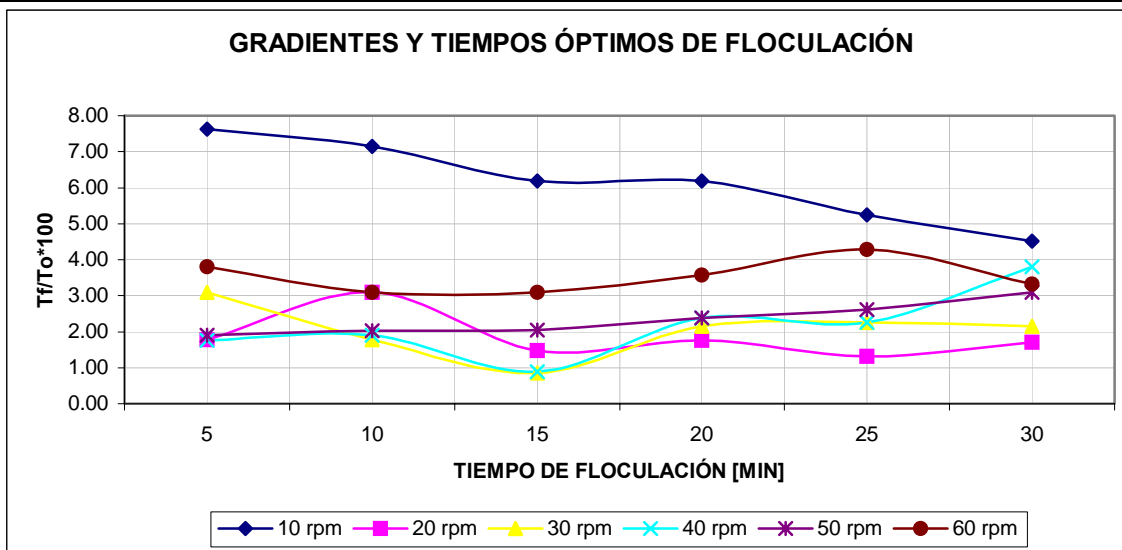
Velocidad Óptima de Floculación: 20 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 30 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O: 110 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT
 COLOR INICIAL: 846 UPC
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	32	7.62	7.5	1.79	13	3.10	7.4	1.76	8	1.90	16	3.81
10	30	7.14	13	3.10	7.5	1.79	8	1.90	8.5	2.02	13	3.10
15	26	6.19	6.2	1.48	3.6	0.86	3.7	0.88	8.6	2.05	13	3.10
20	26	6.19	7.4	1.76	9	2.14	10	2.38	10	2.38	15	3.57
25	22	5.24	5.5	1.31	9.5	2.26	9.5	2.26	11	2.62	18	4.29
30	19	4.52	7.2	1.71	9	2.14	16	3.81	13	3.10	14	3.33

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	1.6'	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	100	VARIABLE		



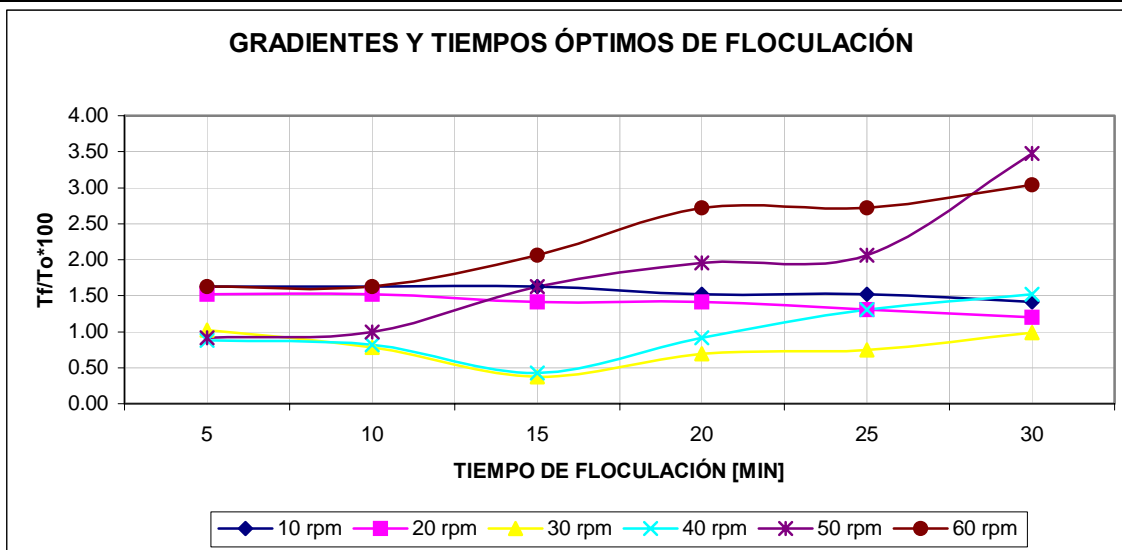
Velocidad Óptima de Floculación: 30 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 15 min

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN

D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT
 COLOR INICIAL: 3240 UPC
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

TIEMPO DE FLOCULACIÓN (min)	VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN											
	10 rpm		20 rpm		30 rpm		40 rpm		50 rpm		60 rpm	
	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100	Tf	Tf*100
	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To	[UNT]	To
5	15	1.63	14	1.52	9.4	1.02	8.1	0.88	8.4	0.91	15	1.63
10	15	1.63	14	1.52	7.2	0.78	7.5	0.82	9.2	1.00	15	1.63
15	15	1.63	13	1.41	3.4	0.37	3.9	0.42	15	1.63	19	2.07
20	14	1.52	13	1.41	6.4	0.70	8.4	0.91	18	1.96	25	2.72
25	14	1.52	12	1.30	6.9	0.75	12	1.30	19	2.07	25	2.72
30	13	1.41	11	1.20	9.1	0.99	14	1.52	32	3.48	28	3.04

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	2'	VARIABLE	10	2 Litros
Vel. [rpm]	110	VARIABLE		



Velocidad Óptima de Floculación: 30 rpm
 Tiempo Óptimo de Floculación: 15 min

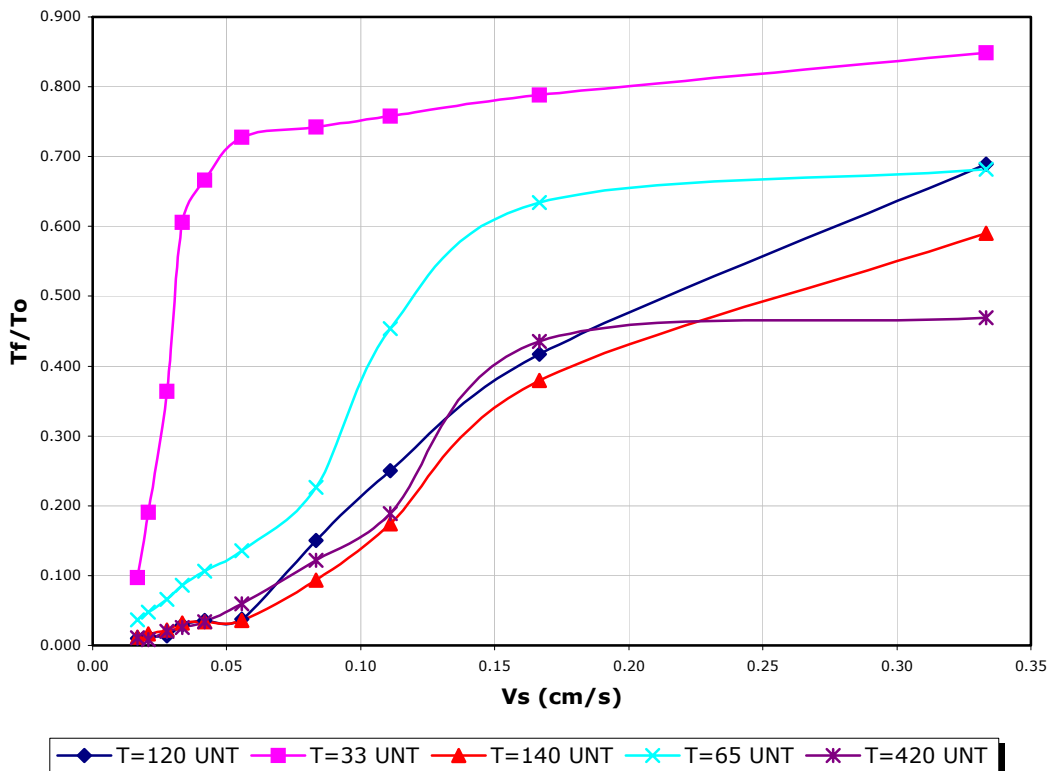
ANEXO 9

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR DE PLACAS.

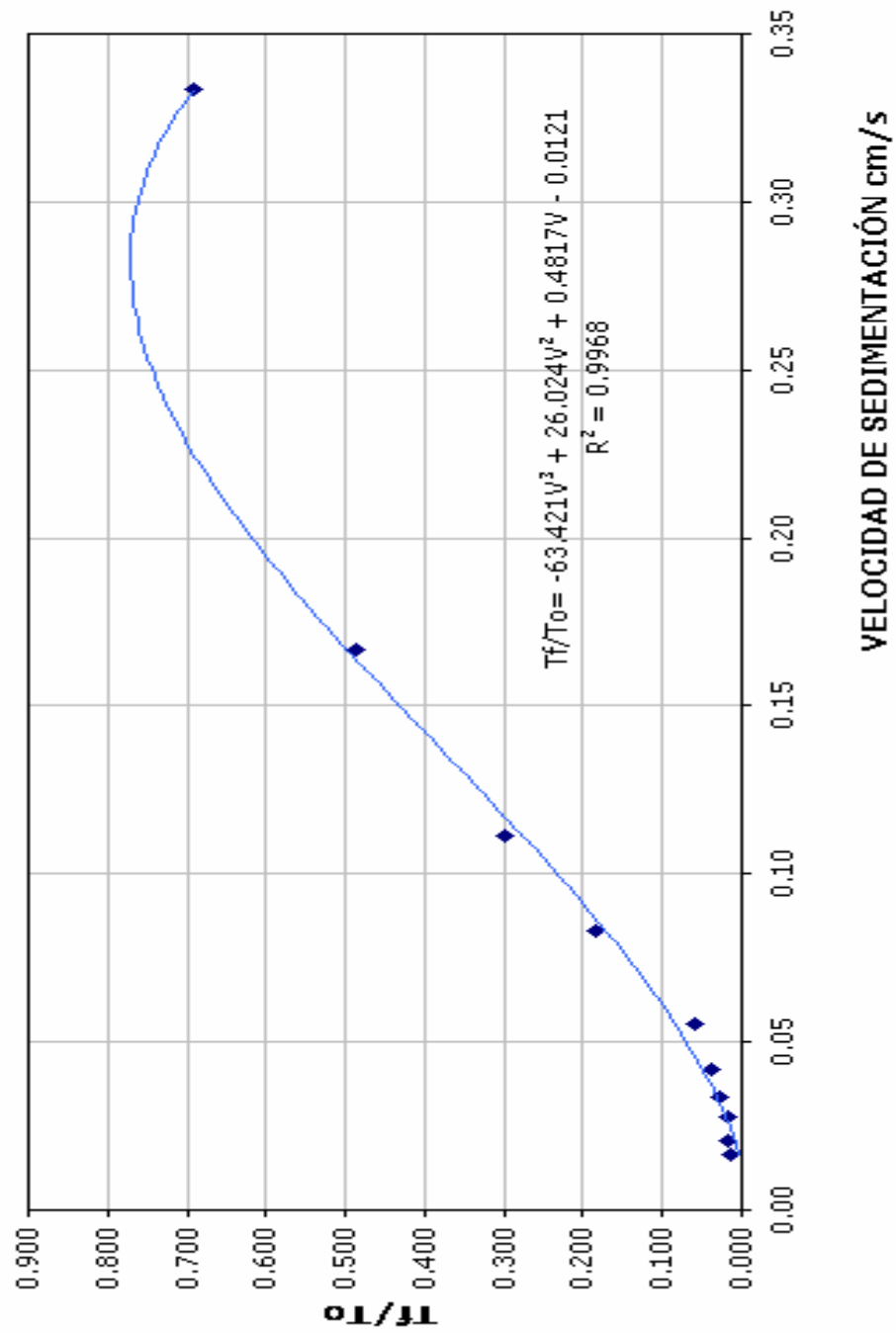
EFICIENCIA TEÓRICA DEL SEDIMENTADOR DE PLACAS

T _s (seg)	V _s (cm/seg)	TURBIEDAD (UNT)				
		T _o =120	T _o =33	T _o =140	T _o =65	T _o =420
		T _f /T _o	T _f /T _o	T _f /T _o	T _f /T _o	T _f /T _o
30	0.33	0.689	0.848	0.590	0.682	0.469
60	0.17	0.417	0.788	0.379	0.634	0.436
90	0.11	0.250	0.758	0.174	0.454	0.189
120	0.08	0.150	0.742	0.094	0.226	0.122
180	0.06	0.038	0.727	0.036	0.135	0.060
240	0.04	0.036	0.667	0.034	0.106	0.034
300	0.03	0.029	0.606	0.032	0.086	0.026
360	0.03	0.014	0.364	0.022	0.066	0.020
480	0.02	0.013	0.191	0.016	0.048	0.008
600	0.02	0.010	0.097	0.012	0.037	0.011

EFICIENCIA REMOCIONAL DEL SEDIMENTADOR



EFICIENCIA Tf/To CONTRA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN



ANEXO 10

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEMENTACIÓN.

ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

D.O: 20 ppm

TURBIEDAD INICIAL: 33 UNT

%Turbiedad remanente= $(T_f/T_o)*100$

COLOR INICIAL: 61 UPC

%Turbiedad removida= $(1-T_f/T_o)*100$

PH INICIAL: 8.00

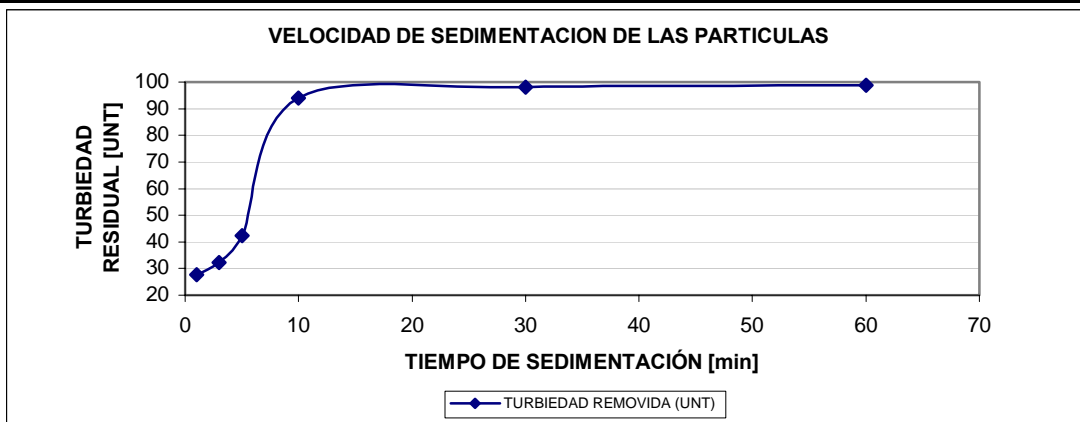
ALCALINIDAD: 53 mg/L CaCO₃

FECHA: 10 JUNIO 2003

JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [min]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	28	24	19	2.3	0.9	0.42
2	25	25	22	2.1	0.66	0.5
3	24	23	20	1.8	0.64	0.44
4	22	22	20	1.9	0.44	0.39
5	24	22	19	2	0.6	0.41
6	20	18	14	2	0.55	0.41
Tf PROMEDIO	23.83	22.33	19.00	2.02	0.63	0.43
% Turbiedad remanente	72.22	67.68	57.58	6.11	1.91	1.30
% Turbiedad removida	27.78	32.32	42.42	93.89	98.09	98.70

CONDICIONES DE LA PRUEBA

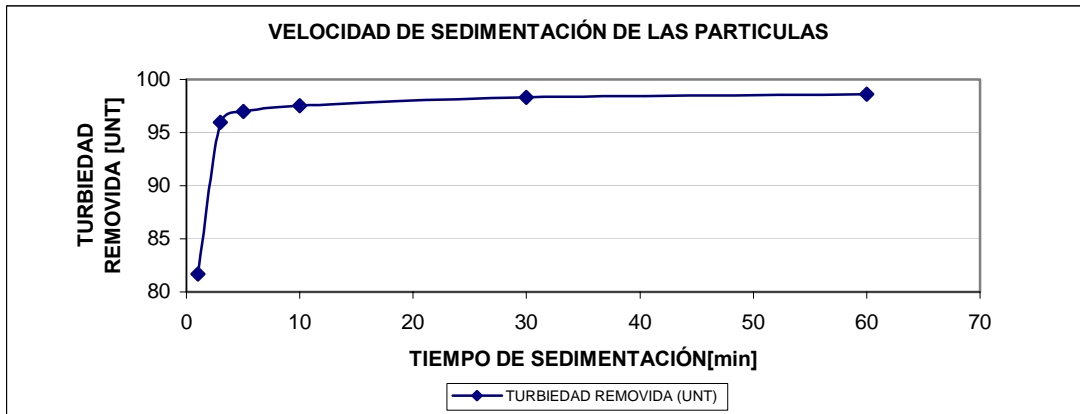
	Mezcla Rápida	Floculación	Sedimentación	Jarras
Tiempo [min]	0'40	30	VARIABLE	2 Litros
Vel. [rpm]	80	20		



ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

TURBIEDAD INICIAL: 120 UNT %Turbiedad remanente= $(Tf/To)*100$
 COLOR INICIAL: 139 UPC %Turbiedad removida= $(1-Tf/To)*100$
 PH INICIAL: 8.09
 ALCALINIDAD: 58.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 JUNIO 2003

JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [min]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	24	5.4	3.6	3.1	1.9	1.6
2	23	5.1	3.4	2.6	3	2
3	28	4.9	3.9	2.8	1.6	1.4
4	21	4.6	3.4	3.2	1.6	1.5
5	19	4	3.5	2.9	2.2	1.5
6	17	4.9	3.9	3.0	1.9	2
Tf PROMEDIO	22.00	4.817	3.617	2.933	2.033	1.667
% Turbiedad remanente	18.33	4.01	3.01	2.44	1.69	1.39
% Turbiedad removida	81.67	95.99	96.99	97.56	98.31	98.61
CONDICIONES DE LA PRUEBA						
	Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación	Jarras	
Tiempo [min]	1'33	25		VARIABLE	2 Litros	
Vel. [rpm]	90	20				



ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

D.O : 40 ppm

TURBIEDAD INICIAL:

140 UNT

%Turbiedad remanente= $(Tf/To)*100$

COLOR INICIAL:

304 UPC

%Turbiedad removida= $(1-Tf/To)*100$

PH INICIAL:

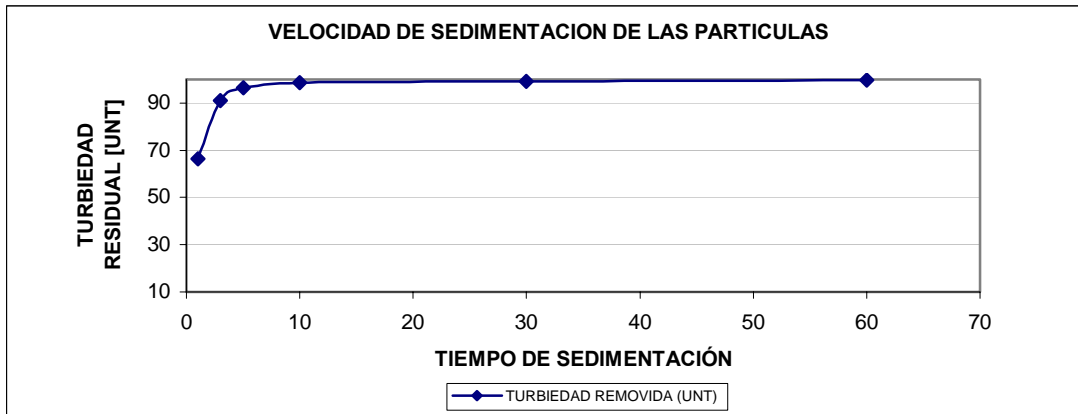
8.05

ALCALINIDAD:

55.6 mg/L CaCO₃

FECHA: 20JUNIO 2003

JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [MIN]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	50	13	5	2.1	1	0.43
2	57	15	5.1	1.4	1.1	0.38
3	52	13	4.5	1.6	1.4	0.4
4	45	13	4.6	1.4	1	0.49
5	41	11	4.3	1.8	1	0.5
6	38	11	5.1	2	0.9	0.55
Tf PROMEDIO	47.17	12.67	4.77	1.72	1.07	0.46
% Turbiedad remanente	33.69	9.05	3.40	1.23	0.76	0.33
% Turbiedad removida	66.31	90.95	96.60	98.77	99.24	99.67
CONDICIONES DE LA PRUEBA						
	Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación	Jarras	
Tiempo [min]	1'33	10		VARIABLE	2 Litros	
Vel. [rpm]	100	60				



ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

D.O: 50 ppm

TURBIEDAD INICIAL:

250 UNT

%Turbiedad remanente= $(Tf/To)*100$

COLOR INICIAL:

371 UPC

%Turbiedad removida= $(1-Tf/To)*100$

PH INICIAL:

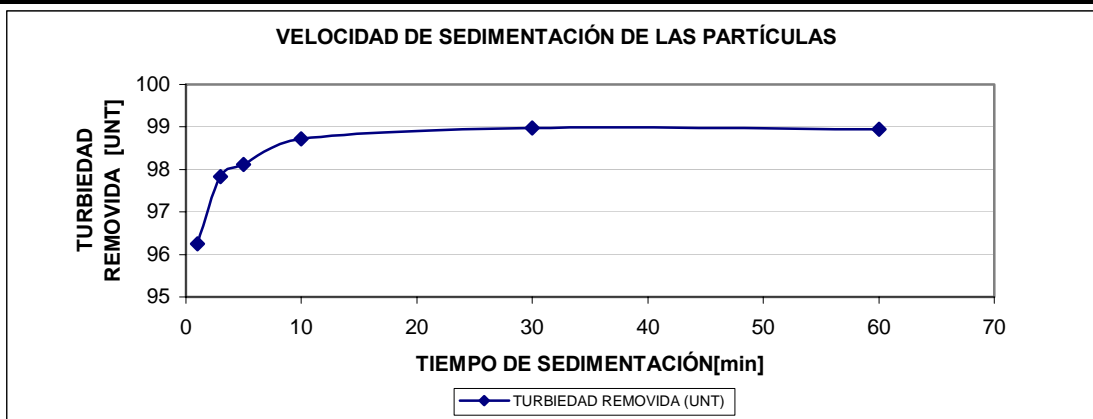
8.19

ALCALINIDAD:

55.8 mg/L CaCO₃

FECHA: 29 AGOSTO 2003

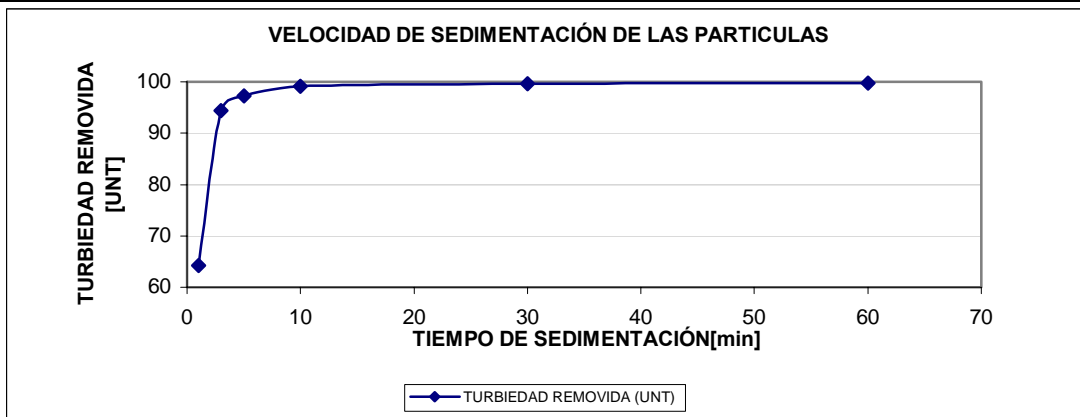
JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [MIN]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	11	5.4	4	3.6	2.9	4
2	12	6.6	5.7	2.9	2.7	2.5
3	8.1	4.6	5.1	2.7	2.8	2.2
4	9	4.9	4.4	3.4	2.3	2.1
5	8.4	5.4	4.2	3.5	2.6	2.4
6	7.7	5.6	4.9	3.1	2.1	2.6
Tf PROMEDIO	9.37	5.42	4.72	3.20	2.57	2.63
% Turbiedad remanente	3.75	2.17	1.89	1.28	1.03	1.05
% Turbiedad removida	96.25	97.83	98.11	98.72	98.97	98.95
CONDICIONES DE LA PRUEBA						
	Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación	Jarras	
Tiempo [min]	1`40	30		VARIABLE	2 Litros	
Vel. [rpm]	100	20				



ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

TURBIEDAD INICIAL: 420 UNT %Turbiedad remanente= $(Tf/To)*100$
 COLOR INICIAL: 846 UPC %Turbiedad removida= $(1-Tf/To)*100$
 PH INICIAL: 7.86
 ALCALINIDAD: 45.2 mg/L CaCO₃
 FECHA: 23 SEPTIEMBRE 2003

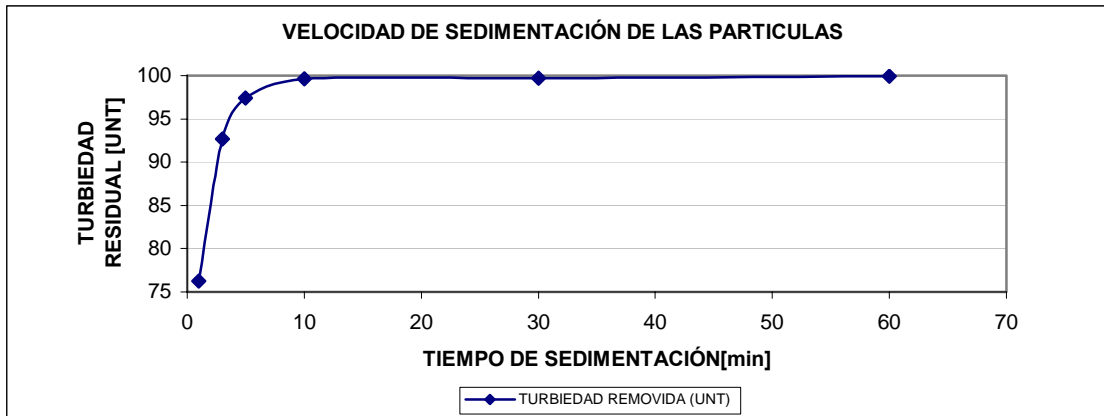
JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [MIN]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	170	27	8.5	3.9	1.4	1.9
2	210	25	12	4.1	1.4	1
3	170	24	12	3.6	1.5	1.1
4	110	23	12	3.5	1.2	1
5	130	20	13	3.6	1.3	1
6	110	22	11	3.7	1.3	0.9
Tf PROMEDIO	150.00	23.50	11.42	3.73	1.35	1.15
% Turbiedad remanente	35.71	5.60	2.72	0.89	0.32	0.27
% Turbiedad removida	64.29	94.40	97.28	99.11	99.68	99.73
CONDICIONES DE LA PRUEBA						
	Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación	Jarras	
Tiempo [min]	1.6'	15		VARIABLE	2 Litros	
Vel. [rpm]	100	30				



ENSAYO: EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN

D.O: 145 ppm
 TURBIEDAD INICIAL: 920 UNT %Turbiedad remanente= $(Tf/To)*100$
 COLOR INICIAL: 3,240 UPC %Turbiedad removida= $(1-Tf/To)*100$
 PH INICIAL: 8.01
 ALCALINIDAD: 54.0 mg/L CaCO₃
 FECHA: 27 AGOSTO 2003

JARRA	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN [MIN]					
	1'	3'	5'	10'	30'	60'
	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)	Tf (UNT)
1	190	71	25	3.8	2.6	0.8
2	200	70	26	3.7	2.8	0.75
3	220	70	25	4.1	2.9	0.76
4	250	65	26	3.4	2.9	0.75
5	230	65	22	3.4	3.3	0.75
6	220	62	17	3.5	2.7	0.72
Tf PROMEDIO	218.33	67.17	23.50	3.65	2.87	0.76
% Turbiedad remanente	23.73	7.30	2.55	0.40	0.31	0.08
% Turbiedad removida	76.27	92.70	97.45	99.60	99.69	99.92
CONDICIONES DE LA PRUEBA						
	Mezcla Rápida	Floculación		Sedimentación	Jarras	
Tiempo [min]	2'	15		VARIABLE	2 Litros	
Vel. [rpm]	110	30				



ANEXO 11

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS OPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: Julio 25 de 2003

Hora: 11 am

Turbiedad(UNT): 47

Color:93

PH: 8

Alcalinidad(mg/L CaCO₃): 52.2

Mercurio(µg/L): 13.66

Temperatura(°C): 21.3

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio. Solución al 1%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	PH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	10	60	4	7.3	18	9.5
2	20	60	6	7.05	2	1.6
3	30	60	6	6.85	2	1.5
4	40	60	6	6.72	3	2.4
5	50	60	6	6.52	3	2.0
6	60	60	6	6.4	3	3.0

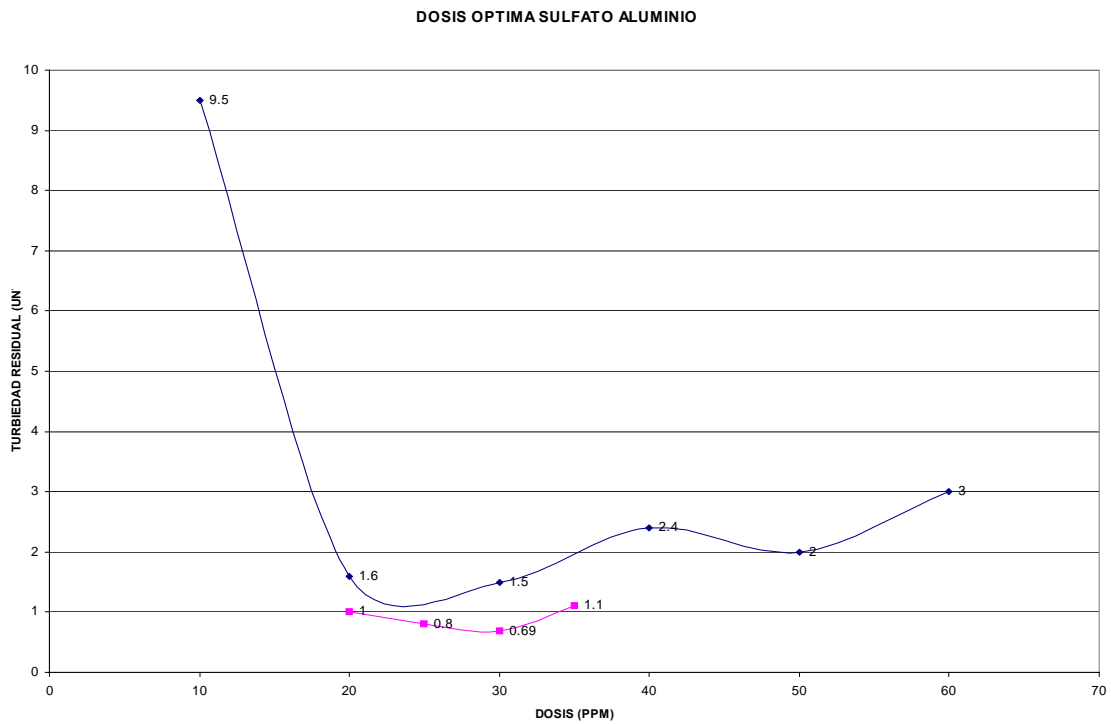
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio. Solución al 1%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	PH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	20	55	8	7.01	1	1.0
2	25	53	8	6.95	1	0.8
3	30	59	8	6.85	1	0.69
4	35	56	6	6.79	3	1.1
5						
6						

Dosis óptima: 30 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.405



Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 31 de 2003

Hora: 9:30 am

Turbiedad(UNT): 171

Color: 139

PH: 7.89

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):63

Mercurio(µg/L):6.561

Temperatura(°C): 21.6

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio solución al 1%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	17	81	6	6.9	30	2.5
2	20	78	6	6.79	3	2.6
3	23	76	6	6.77	7	3.9
4	26	75	6	6.66	6	2.9
5	29	74	6	6.59	6	3.9
6	32	72	4	6.54	4	5.0

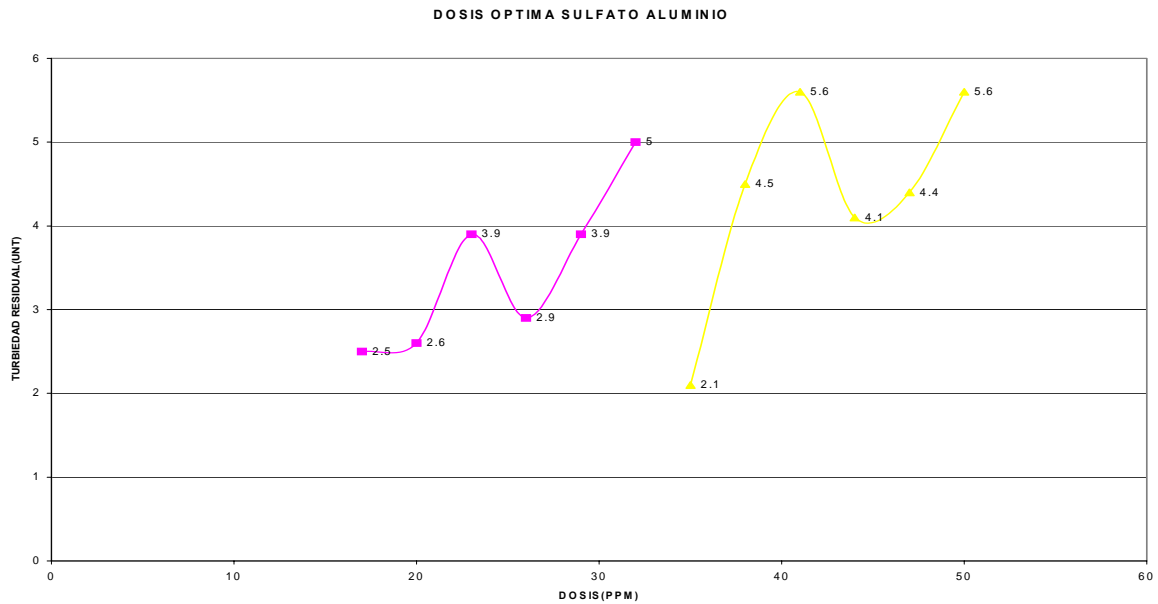
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio solución al 1%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	35	71	6	6.52	4	2.1
2	38	63	4	6.42	8	4.5
3	41	65	4	6.36	10	5.6
4	44	66	4	6.29	8	4.1
5	47	67	4	6.28	8	4.4
6	50	67	4	6.20	11	5.6

Dosis óptima: 35 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.405



Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: Septiembre 10 de 2003

Hora: 7:30 am

Turbiedad(UNT): 150

Color:433

PH: 7.95

Alcalinidad(mg/L CaCO₃): 57.8

Mercurio(µg/L): 10.77

Temperatura(°C): 20

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio. Solución al 1%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	PH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	10	58	4	7.39	37.3	120
2	20	60	6	7.08	28.1	81
3	30	62	6	6.93	6	3.7
4	40	50	6	6.75	4	2.3
5	50	60	6	6.58	5	3.1
6	60	60	6	6.46	6	3.3

ENSAYO 2

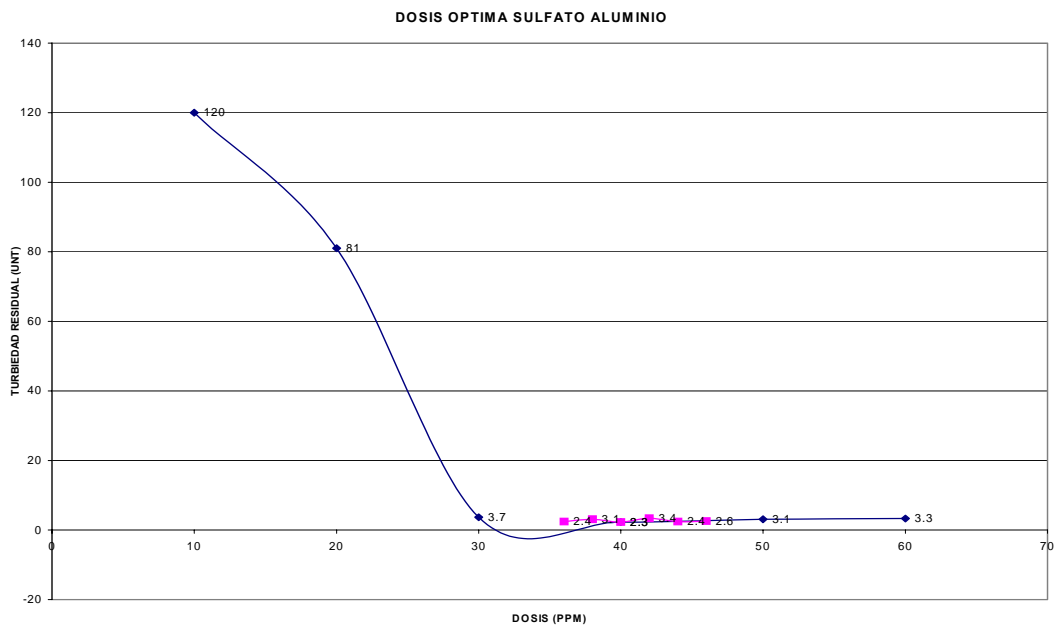
Coagulante empleado: Sulfato de aluminio. Solución al 1%

Dosificación (mg/L)	Observación visual	Agua Sedimentada
---------------------	--------------------	------------------

	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	PH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	36	85	8	6.91	3	2.4
2	38	83	8	6.86	5	3.1
3	40	89	8	6.74	3	2.3
4	42	86	6	6.72	3	3.4
5	44	85	6	6.67	5	2.4
6	46	82	6	6.65	3	2.6

Dosis óptima: 40 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.18



ANEXO 12

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: Julio 25 de 2003

Hora: 11:00 am

Turbiedad(UNT): 47

Color: 93

PH:8

Alcalinidad(mg/L CaCO₃): 52.2

Mercurio(µg/L): 13.66

Temperatura(°C): 21.3

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido. Solución al 2%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	5	78	4	7.44	40	7.1
2	10	72	6	7.20	26	1.7
3	15	66	8	7.03	12	0.56
4	20	60	8	6.87	15	0.55
5	25	56	8	6.74	14	0.8
6	30	51	8	6.64	13	1.3

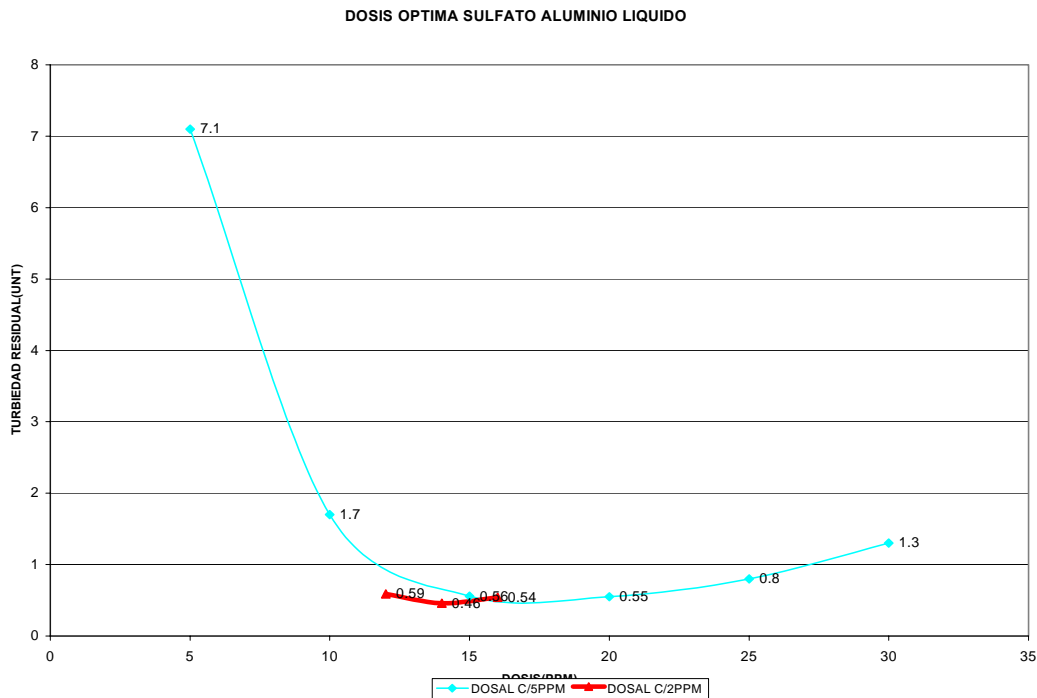
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido. Solución al 2%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	12	63	8	7.15	19	0.59
2	14	61	8	7.04	6	0.46
3	16	60	8	6.97	11	0.54
4						
5						
6						

Dosis óptima: 14 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.27



Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 31 de 2003

Hora: 9:30 am

Turbiedad(UNT): 171

Color: 139

PH: 7.89

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):63

Mercurio(µg/L):6.561

Temperatura(°C): 21.6

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido solución al 2%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	17	81	6	6.9	30	2.5
2	20	78	6	6.79	3	2.6
3	23	76	6	6.77	7	3.9
4	26	75	6	6.66	6	2.9
5	29	74	6	6.59	6	3.9
6	32	72	4	6.54	4	5.0

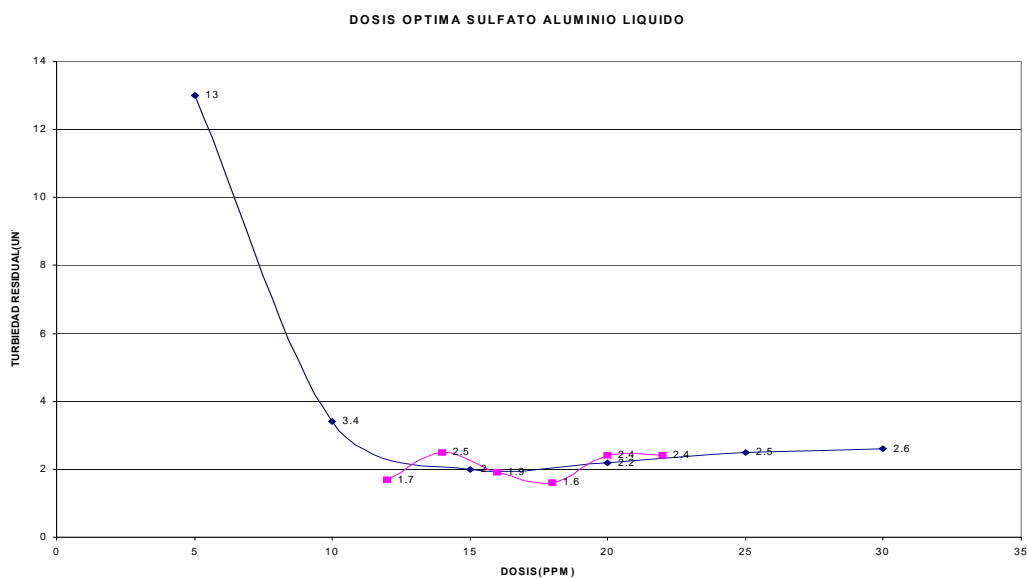
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido solución al 2%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	35	71	6	6.52	4	2.1
2	38	63	4	6.42	8	4.5
3	41	65	4	6.36	10	5.6
4	44	66	4	6.29	8	4.1
5	47	67	4	6.28	8	4.4
6	50	67	4	6.20	11	5.6

Dosis óptima: 35 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.405



Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: septiembre 10 de 2003

Hora: 7:30 am

Turbiedad(UNT): 150

Color: 433

PH: 7.95

Alcalinidad(mg/L CaCO_3):57.8

Mercurio($\mu\text{g/L}$):10.77

Temperatura($^{\circ}\text{C}$): 23

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido solución al 2%

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	10	81	6	7.2	209	89
2	20	78	6	6.89	12	36
3	30	76	6	6.58	5	5.1
4	40	75	6	6.43	7	6.6
5	50	74	6	6.31	3	5
6	60	72	4	5.89	3	9.6

Dosis óptima: 20 ppm

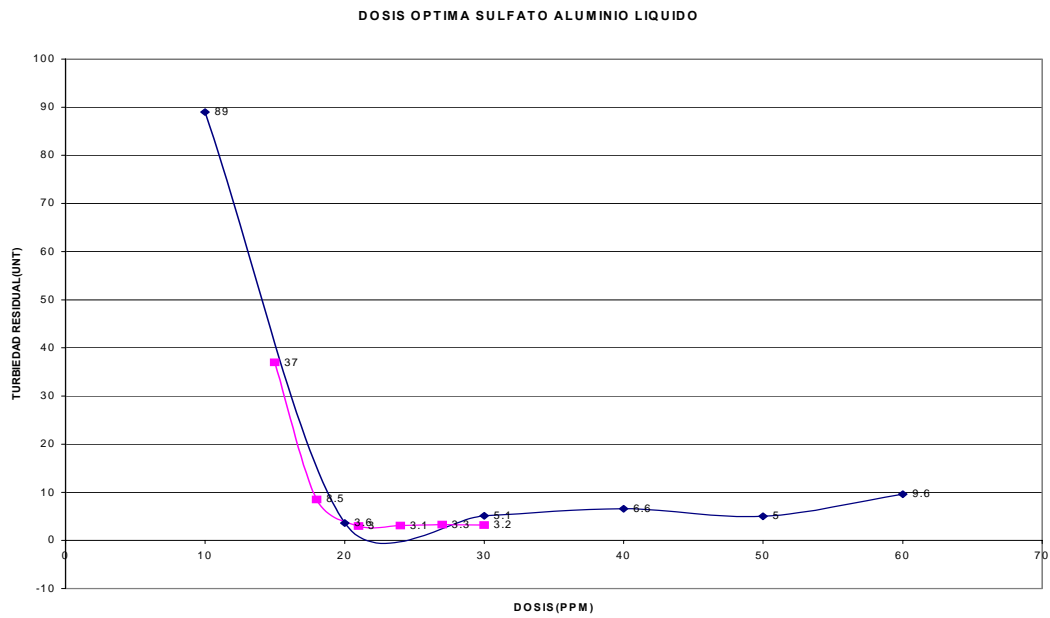
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Sulfato de aluminio líquido solución al 2%

	Dosificación (mg/L)	Observación visual	Agua Sedimentada
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml	Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min

Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	15	71	6	6.94	34	37
2	18	63	4	6.84	9	8.5
3	21	65	4	6.75	3	3
4	24	66	4	6.67	2	3.1
5	27	67	4	6.61	2	3.3
6	30	67	4	6.52	6	3.2

Dosis óptima: 21 ppm
 Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.503



ANEXO 13

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE AYUDANTE DE FLOCULACIÓN.

Determinación de dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.01%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	0	50	1.1	0	6.95
2	30	0.05	50	1	0	6.91
3	30	0.1	50	0.9	6	6.92
4	30	0.15	51	0.86	0	6.96
5	30	0.2	52	0.65	4	6.97
6	30	0.25	50	1.9	0	6.98

Dosis óptima de polímero: 0.20 ppm

Mercurio residual: _____ $\mu\text{g/l}$

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.02%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	0	41	0.8	1	6.83
2	30	0.05	56	0.85	0	6.8
3	30	0.1	53	0.83	0	6.85
4	30	0.15	52	0.6	0	6.84
5	30	0.2	51	0.5	0	6.84
6	30	0.25	50	0.6	2	6.83

Dosis óptima de polímero: 0.20 ppm

Mercurio residual: _____ 0.297 $\mu\text{g/l}$

ENSAYO 3

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.03%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	0	42	0.8	1	6.88
2	30	0.05	44	0.84	1	6.84
3	30	0.1	50	0.54	2	6.85
4	30	0.15	58	0.51	3	6.83
5	30	0.2	57	0.56	2	6.82
6	30	0.25	56	0.53	0	6.84

Dosis óptima de polímero: 0.15ppm

Mercurio residual: _____

ENSAYO 4

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.04%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	0	53	0.9	1	6.80
2	30	0.05	56	0.75	1	6.83
3	30	0.1	50	0.55	0	6.82
4	30	0.15	47	0.44	0	6.81
5	30	0.20	45	0.45	0	6.80
6	30	0.25	45	0.53	13	6.82

Dosis óptima de polímero: 0.15

Mercurio residual: 0.189

ENSAYO 5

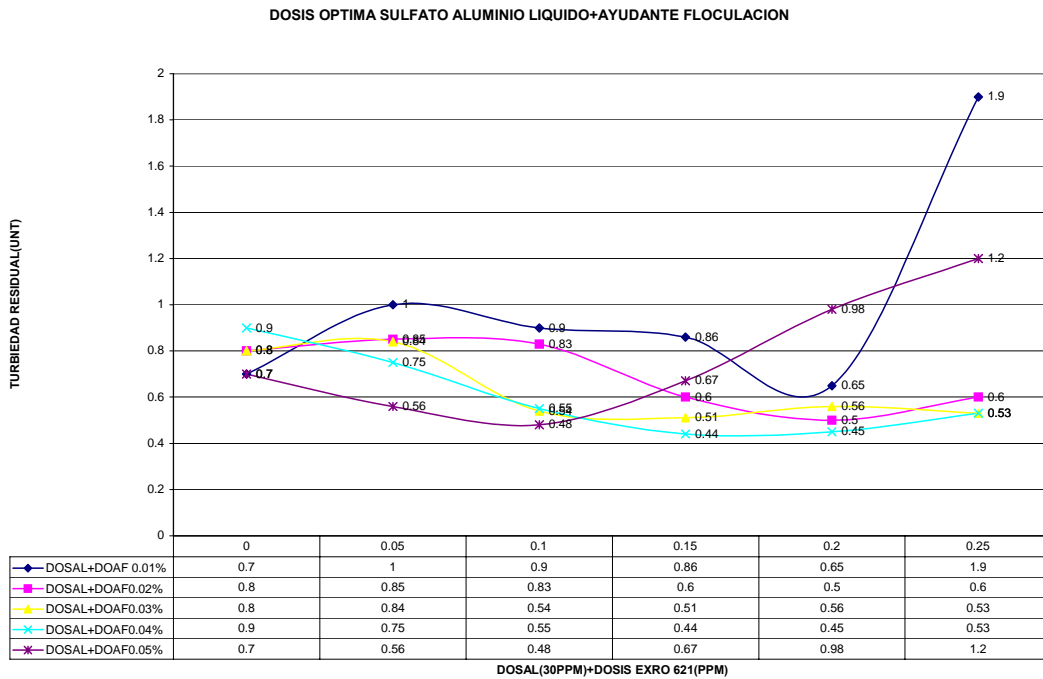
Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.05%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	0	50	0.7	1	6.88
2	30	0.05	51	0.56	1	6.88
3	30	0.1	58	0.48	1	6.81
4	30	0.15	56	0.67	1	6.80
5	30	0.20	55	0.98	1	6.80
6	30	0.25	53	1.2	2	6.79

Dosis óptima de polímero: 0.10

Mercurio residual: _____



Determinación de dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm

Concentración de polímero: 0.01%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	0	55	2.3	3	6.74
2	40	0.05	52	2.4	3	6.72
3	40	0.1	59	2	3	6.72
4	40	0.15	57	1.9	2	6.71
5	40	0.2	53	1.7	2	6.69
6	40	0.25	60	1.4	2	6.66

Dosis óptima de polímero: 0.25 ppm

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm

Concentración de polímero: 0.02%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	0	70	2.3	3.	6.74
2	40	0.05	55	2.1	3	6.72
3	40	0.1	55	1.7	1	6.71
4	40	0.15	58	1.3	3	6.68
5	40	0.2	55	1.5	1	6.67
6	40	0.25	55	2.4	2	6.65

Dosis óptima de polímero: 0.15

Mercurio residual: 0.33

ENSAYO 3

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm

Concentración de polímero: 0.03%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	0	70	2.4	3	6.74
2	40	0.05	40	2	2	6.73
3	40	0.1	42	1.6	1	6.72
4	40	0.15	45	1.4	1	6.72
5	40	0.2	43	1.7	1	6.70
6	40	0.25	56	3	4	6.66

Dosis óptima de polímero: 0.10
 Mercurio residual: _____

ENSAYO 4

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm
 Concentración de polímero: 0.04%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	0	43	2.4	3	6.74
2	40	0.05	36	2	3	6.73
3	40	0.1	30	1.6	1	6.72
4	40	0.15	27	1.4	2	6.72
5	40	0.20	25	1.7	1	6.7
6	40	0.25	25	3	1	6.68

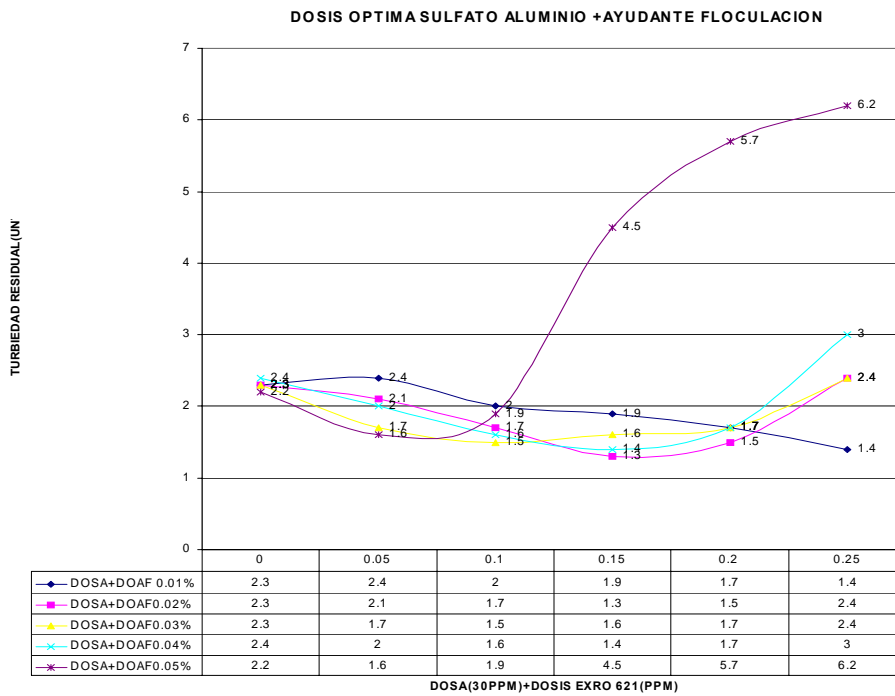
Dosis óptima de polímero: 0.15
 Mercurio residual: 0.24

ENSAYO 5

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm
 Concentración de polímero: 0.05%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	0	40	2.2	3	6.74
2	40	0.05	41	1.6	2	6.72
3	40	0.1	38	1.9	3	6.70
4	40	0.15	46	4.5	6	6.68
5	40	0.20	45	5.7	7	6.66
6	40	0.25	43	6.2	9	6.65

Dosis óptima de polímero: 0.05
 Mercurio residual: _____



Determinación de dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm
 Concentración de polímero: 0.01%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	0	72	2.1	4	6.51
2	35	0.05	71	0.83	0	6.49
3	35	0.1	71	1.0	1	6.47
4	35	0.15	70	0.9	1	6.48
5	35	0.2	69	1.1	1	6.48
6	35	0.25	66	0.9	1	6.47

Dosis óptima de polímero: 0.05 ppm

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm

Concentración de polímero: 0.02%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	0	72	2	4	6.48
2	35	0.05	66	1.0	1	6.43
3	35	0.1	63	0.92	1	6.43
4	35	0.15	61	0.75	1	6.44
5	35	0.2	60	0.9	0	6.45
6	35	0.25	58	0.9	0	6.48

Dosis óptima de polímero: 0.15 ppm

ENSAYO 3

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm

Concentración de polímero: 0.03%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	35	0	73	2.3	5	6.51
2	35	0.05	60	1.1	2	6.48

3	35	0.1	55	1.1	0	6.46
4	35	0.15	57	1.1	0	6.50
5	35	0.20	58	0.76	1	6.49
6	35	0.25	58	0.9	0	6.51

Dosis óptima de polímero: 0.20 ppm

ENSAYO 4

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm

Concentración de polímero: 0.04%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	0	72	2.6	5	6.49
2	35	0.05	65	2.0	1	6.45
3	35	0.1	62	1.5	1	6.41
4	35	0.15	56	1.3	4	6.40
5	35	0.20	55	0.65	0	6.45
6	35	0.25	55	3.2	5	6.45

Dosis óptima de polímero: 0.20 ppm

Mercurio residual: 0.081

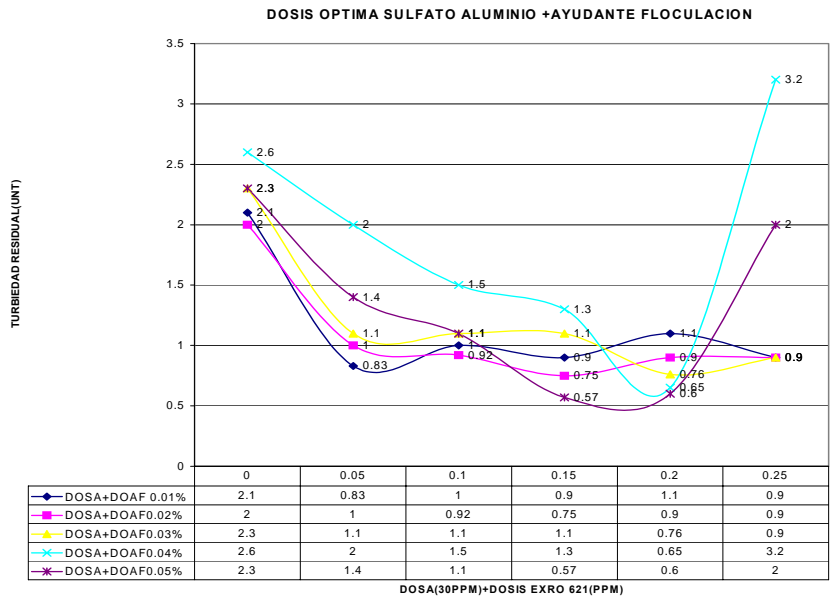
ENSAYO 5

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm

Concentración de polímero: 0.05%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	35	0	74	2.3	3	6.52
2	35	0.05	66	1.4	1	6.49
3	35	0.1	60	1.1	1	6.47
4	35	0.15	50	0.57	0	6.49
5	35	0.2	47	0.6	0	6.55
6	35	0.25	45	2.0	4	6.54

Dosis óptima de polímero: 0.15 ppm
 Mercurio residual: 0.058



ANEXO 14

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO, EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE.

**ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE
MERCURIO RESIDUAL**

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 25 de 2003

Hora: 11:00 am

Turbiedad(UNT): 47

Color: 93

PH: 8

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):56.2

Mercurio(μg/L):13.662

Temperatura(°C): 21.6

1. Determinación de dosis óptima de carbón activado

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	30	3.5	90	0.83	1	6.87
2	30	4	80	0.61	1	6.86
3	30	4.5	80	0.58	1	6.86
4	30	5	78	0.51	1	6.85
5	30	5.5	80	0.70	1	6.85
6	30	6	74	0.78	1	6.84

ENSAYO 2

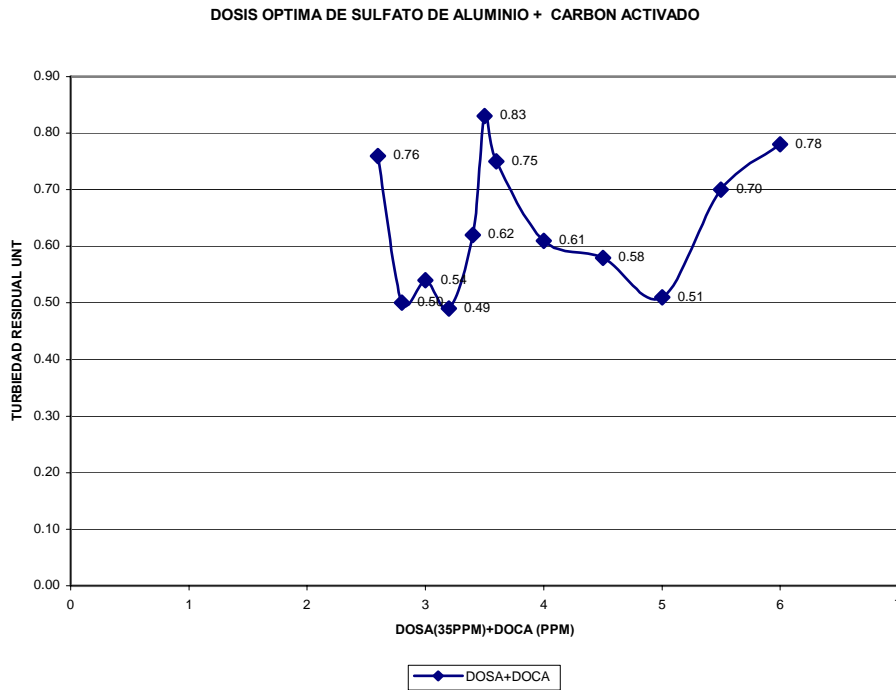
Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado : 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	2.6	90	0.76	1	6.88
2	30	2.8	86	0.5	1	6.86
3	30	3	83	0.54	1	6.86
4	30	3.2	80	0.49	1	6.86
5	30	3.4	79	0.62	3	6.86
6	30	3.6	79	0.75	1	6.85

Dosis óptima de carbón activado: 3.2 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.054



ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: septiembre 10 de 2003

Hora: 7:30 am

Turbiedad(UNT): 150

Color: 433

PH: 7.95

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):57.8

Mercurio(µg/L):10.77

Temperatura(°C): 23

1. Determinación de dosis óptima de carbón activado

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	40	0	88	2.3	3	6.74
2	40	1	80	2.9	4	6.74
3	40	2	85	3	3	6.74
4	40	3	74	2.1	3	6.74
5	40	4	86	2.9	4	6.73
6	40	5	79	2.3	3	6.73

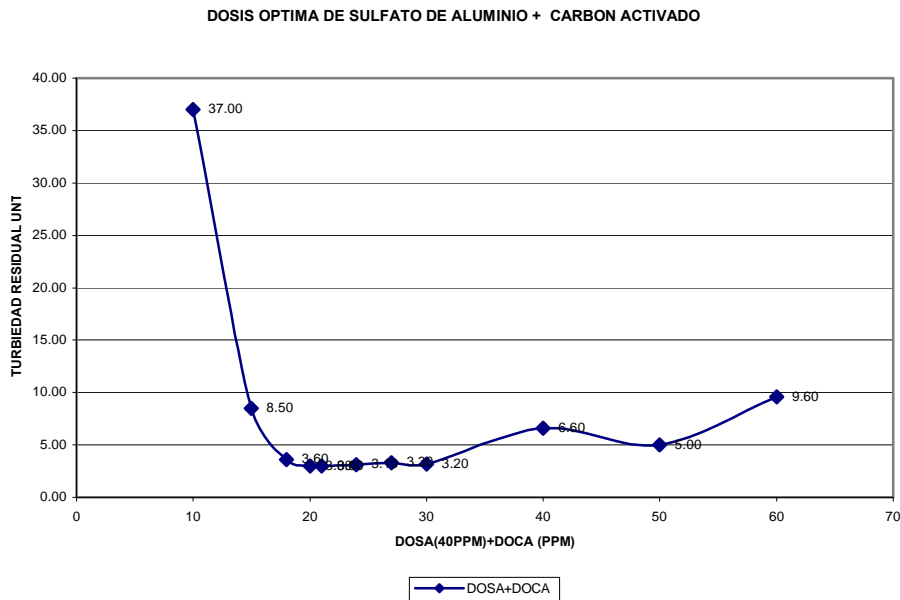
ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado : 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	40	2.6	70	2.1	3	6.76
2	40	2.8	70	2.9	4	6.76
3	40	3	70	2.4	3	6.75
4	40	3.2	70	3	4	6.72
5	40	3.4	70	3	4	6.70
6	40	3.6	70	2.9	4	6.68

Dosis óptima de carbón activado: 2.6 ppm
 Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.21



ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 31 de 2003

Hora: 9:30 am

Turbiedad(UNT): 171

Color: 139

PH: 7.89

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):63

Mercurio(µg/L):6.561

Temperatura(°C): 21.6

Determinación de dosis óptima de carbón activado

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	0	83	2.1	4	6.64
2	35	1	81	2.2	0	6.60
3	35	2	77	1.8	0	6.55
4	35	3	78	1.4	0	6.56
5	35	4	76	1.8	0	6.54
6	35	5	74	1.9	4	6.56

ENSAYO 2

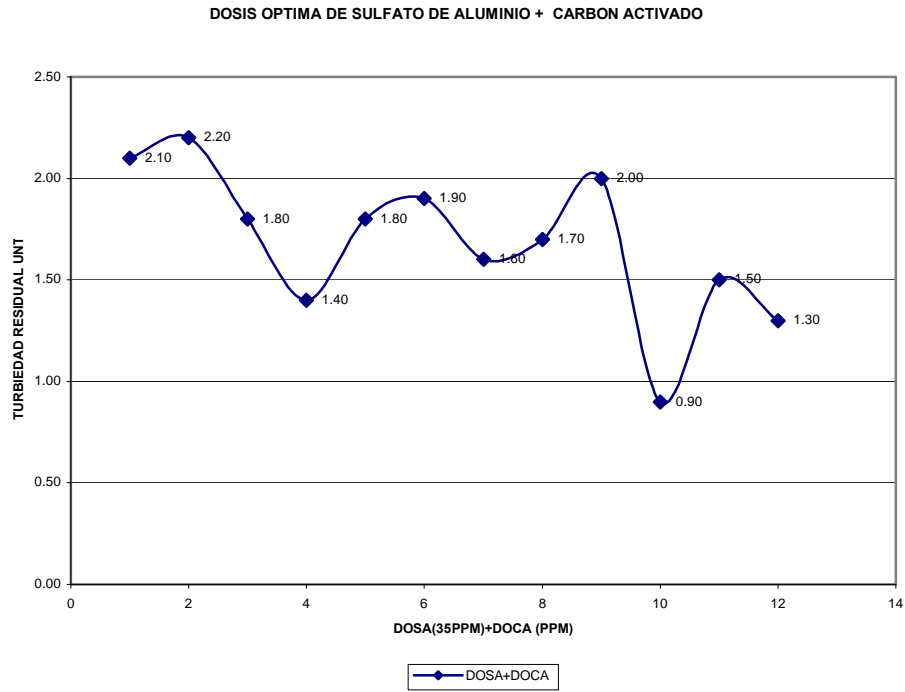
Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Concentración de carbón activado : 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis carbón activado ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	5.6	88	1.6	5	6.47
2	35	5.8	85	1.7	7	6.46
3	35	6.0	84	2.0	5	6.46
4	35	6.2	81	0.9	5	6.43
5	35	6.4	77	1.5	6	6.39
6	35	6.6	72	1.3	7	6.48

Dosis óptima de carbón activado: 6.2 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.061



ANEXO 15

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO, EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO Y AYUDANTE DE FLOCULACIÓN.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 31 de 2003

Hora: 9:30 am

Turbiedad(UNT): 171

Color: 139

PH: 7.89

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):63

Mercurio(µg/L):6.561

Temperatura(°C): 21.6

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621 s/n al 0.05% : 0.15 ppm

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis Carbon activado ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	0	0.15	51	0.61	4	6.49
2	35	1	0.15	50	0.84	0	6.53
3	35	2	0.15	59	0.81	0	6.53
4	35	3	0.15	56	0.79	0	6.53
5	35	4	0.15	50	1.5	0	6.52
6	35	5	0.15	50	1.3	0	6.51

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 35 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

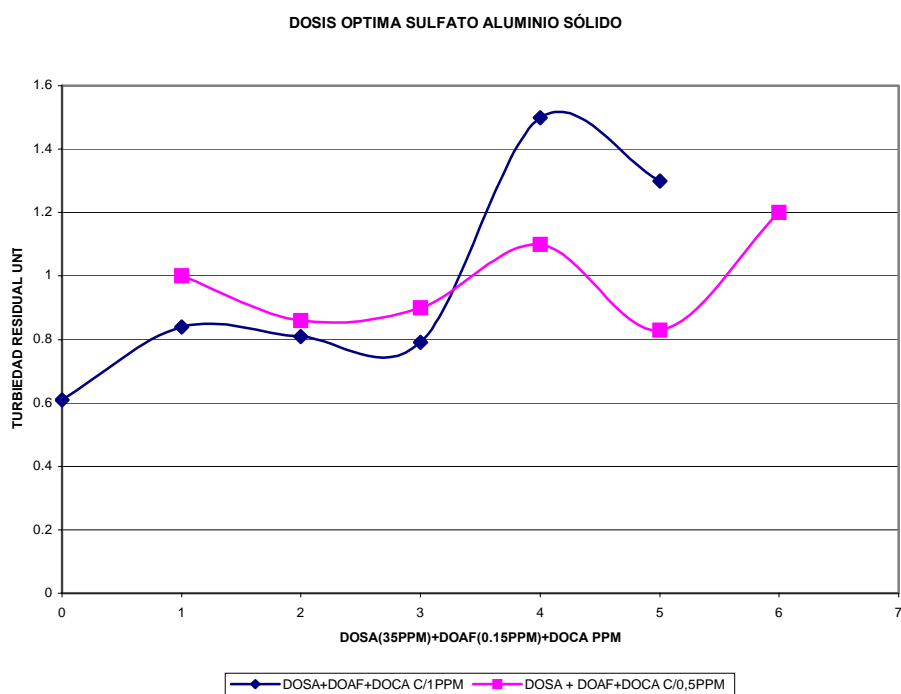
Dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621 s/n al 0.05% : 0.15 ppm

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis Carbon activado ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	35	1	0.15	58	1.0	0	6.50
2	35	1.5	0.15	56	0.86	1	6.53
3	35	2.0	0.15	56	0.9	0	6.52
4	35	2.5	0.15	51	1.1	0	6.53
5	35	3.0	0.15	58	0.83	0	6.53
6	35	3.5	0.15	53	1.2	1	6.51

Dosis óptima de carbón activado: 3 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.054



ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: septiembre 10 de 2003

Hora: 7:30 am

Turbiedad(UNT): 150

Color: 433

PH: 7.95

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):57.8

Mercurio(µg/L):10.77

Temperatura(°C): 23

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621 s/n al 0.02% : 0.15 ppm

Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis Carbon activado ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	40	0	0.15	70	2.3	2	6.76
2	40	1	0.15	43	7.1	11	6.65
3	40	2	0.15	43	4.0	7	6.63
4	40	3	0.15	43	4.1	7	6.62
5	40	4	0.15	43	2.0	2	6.60
6	40	5	0.15	43	1.7	2	6.57

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 40 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621 s/n al 0.02% : 0.15 ppm

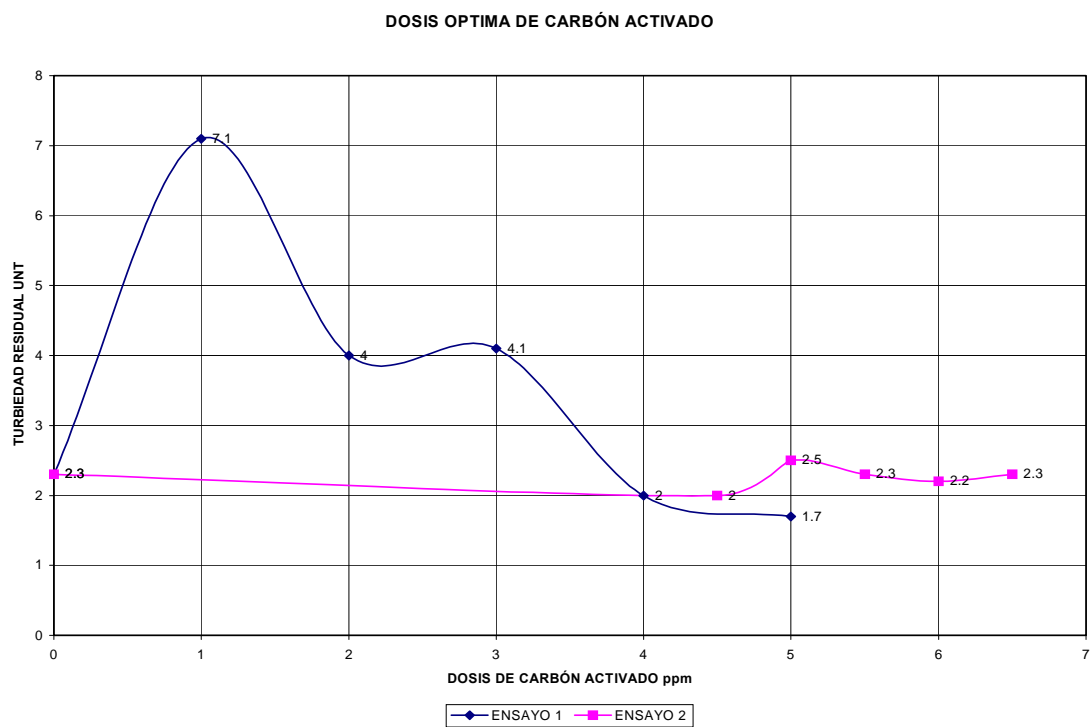
Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis Carbon activado ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	40	0	0.15	70	2.3	2	6.76
2	40	4.5	0.15	43	2	2	6.72

3	40	5	0.15	43	2.5	1	6.72
4	40	5.5	0.15	43	2.3	2	6.72
5	40	6	0.15	43	2.2	2	6.71
6	40	6.5	0.15	43	2.3	2	6.68

Dosis óptima de carbón activado: 4.5 ppm

Mercurio residual($\mu\text{g/L}$): 0.39



ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 25 de 2003

Hora: 11:00 am

Turbiedad(UNT): 47

Color: 93

PH: 8

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):56.2

Mercurio(µg/L):13.662

Temperatura(°C): 21.6

Dosis óptima de Coagulante: 30 ppm de sulfato de aluminio solución al 1%

Dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621 s/n al 0.04% : 0.15 ppm

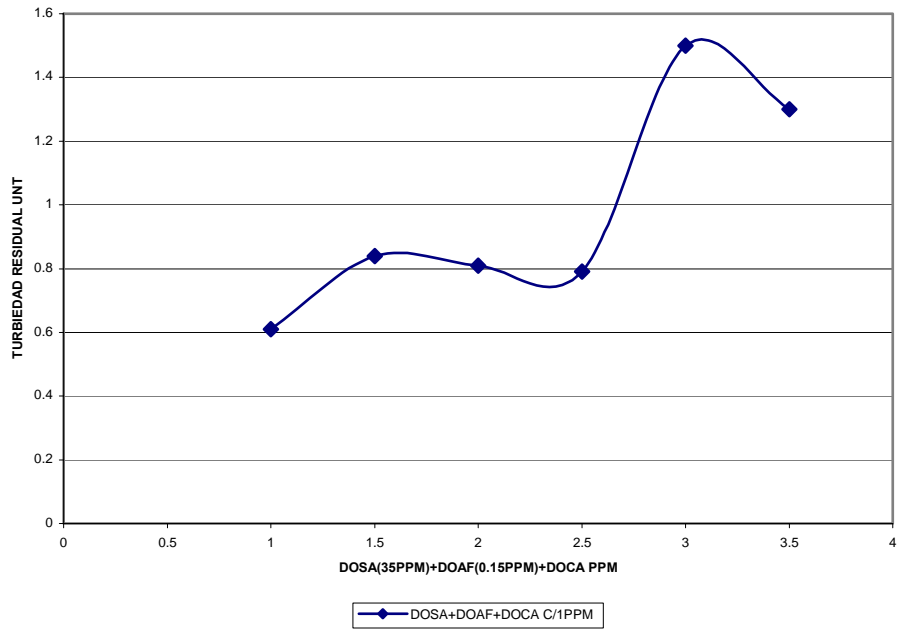
Concentración de carbón activado: 1000 ppm

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis Carbon activado ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	30	1	0.15	51	0.61	4	6.49
2	30	1.5	0.15	50	0.84	0	6.53
3	30	2	0.15	59	0.81	0	6.53
4	30	2.5	0.15	56	0.79	0	6.53
5	30	3	0.15	50	1.5	0	6.52
6	30	3.5	0.15	50	1.3	0	6.51

Dosis óptima de carbón activado: 2.5 ppm

Mercurio residual(µg/L): 0.054

DOSIS OPTIMA SULFATO ALUMINIO LIQUIDO



ANEXO 16

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: julio 31 de 2003

Hora: 9:30 am

Turbiedad(UNT): 171

Color: 139

PH: 7.89

Alcalinidad(mg/L CaCO₃):63

Mercurio(µg/L):6.561

Temperatura(°C): 21.6

1.Determinación de dosis óptima de Coagulante

ENSAYO 1

Coagulante empleado: Carbón activado concentración 1000ppm

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	1	144	4	7.48	32	31
2	2	139	4	7.57	36	33
3	3	138	4	7.60	51	31
4	4	135	4	7.66	53	31
5	5	132	4	7.65	29	32
6	6	126	4	7.69	54	30

Dosis óptima: 6 ppm

Mercurio residual(µg/L): 0.92

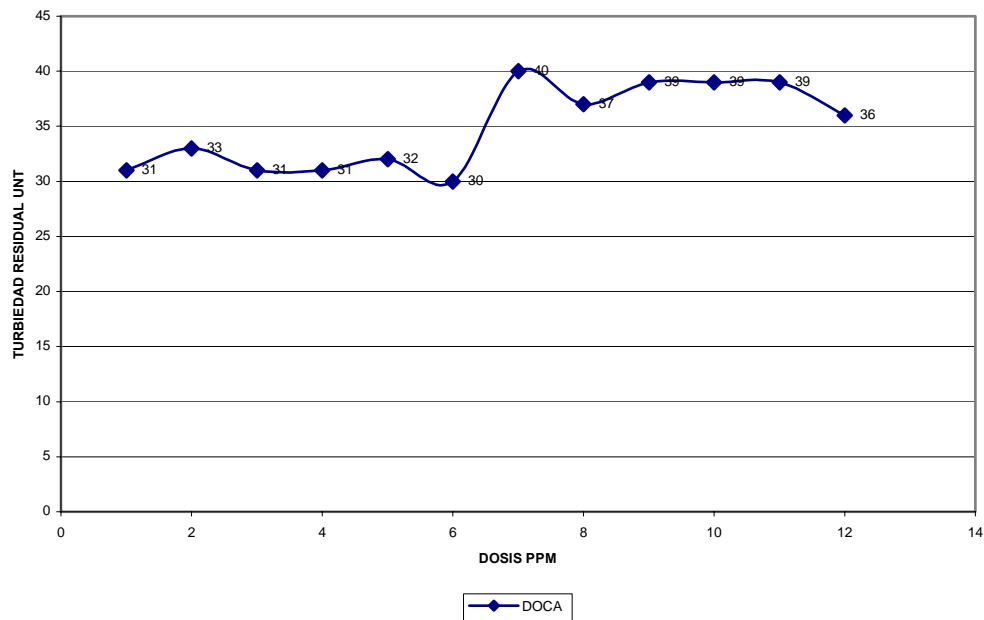
ENSAYO 2

Coagulante empleado: Carbón activado concentración 1000ppm

Jarra #	Dosificación (mg/L)	Observación visual		Agua Sedimentada		
	Mezcla Rápida tiempo:1 min Velocidad:100 r.p.m	Volumen de jarras: 2000 ml		Tiempo de floculación:15 min Velocidad de floculación:40 r.p.m Tiempo de sedimentación:10 min		
Jarra #	Dosis(ppm)	Tiempo formación floc(s)	Índice de Willcomb	pH	Color residual(UPC)	Turbiedad Residual(UNT)
1	7	83	4	7.72	43	40
2	8	84	4	7.67	40	37
3	9	88	4	7.67	40	39
4	10	87	4	7.68	40	39
5	11	86	4	7.69	40	39
6	12	85	4	7.68	34	36

Dosis óptima: 12 ppm

DOSIS OPTIMA DE CARBON ACTIVADO



ANEXO 17

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE AYUDANTE DE FLOCULACIÓN EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO COMO COAGULANTE.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO RESIDUAL

Características de la muestra de agua Río Suratá

Fecha: Julio 25 de 2003

Hora: 11:00 am

Turbiedad(UNT): 47

Color: 93

PH:8

Alcalinidad(mg/L CaCo₃): 52.2

Mercurio(µg/L): 13.66

Temperatura(°C): 21.3

Determinación de dosis óptima de ayudante de floculación EXRO 621

ENSAYO 1

Dosis óptima de Coagulante: 14 ppm de sulfato de aluminio líquido s/n al 2%
Concentración de polímero: 0.01%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	14	0	60	0.46	0	7.04
2	14	0.05	52	0.95	1	7.01
3	14	0.1	58	0.86	1	7.01
4	14	0.15	58	0.85	1	7.00
5	14	0.20	55	0.94	1	6.98
6	14	0.25	53	1.1	1	6.97

Dosis óptima de polímero: 0.15 ppm

ENSAYO 2

Dosis óptima de Coagulante: 14 ppm de sulfato de aluminio líquido s/n al 2%
Concentración de polímero: 0.02%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	14	0	58	0.46	0	7.03
2	14	0.05	55	0.61	0	7.04
3	14	0.1	53	0.57	0	7.04
4	14	0.15	50	0.74	1	7.02
5	14	0.20	50	0.86	1	7.01
6	14	0.25	50	0.86	3	6.98

Dosis óptima de polímero: 0

ENSAYO 3

Dosis óptima de Coagulante: 14 ppm de sulfato de aluminio líquido s/n al 2%
 Concentración de polímero: 0.03%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	PH final
1	14	0	62	0.48	1	7.01
2	14	0.05	56	0.65	1	7.00
3	14	0.1	52	0.55	0	7.02
4	14	0.15	50	0.7	1	7.00
5	14	0.20	50	1.4	1	7.02
6	14	0.25	50	1.1	1	6.98

Dosis óptima de polímero: 0 ppm

ENSAYO 4

Dosis óptima de Coagulante: 14 ppm de sulfato de aluminio líquido s/n al 2%
 Concentración de polímero: 0.04%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	14	0	60	0.50	1	7.04
2	14	0.05	50	0.52	0	7.03
3	14	0.1	57	0.6	0	7.03
4	14	0.15	57	0.93	2	7.03
5	14	0.20	55	1.4	6	7.0
6	14	0.25	53	1.6	9	6.98

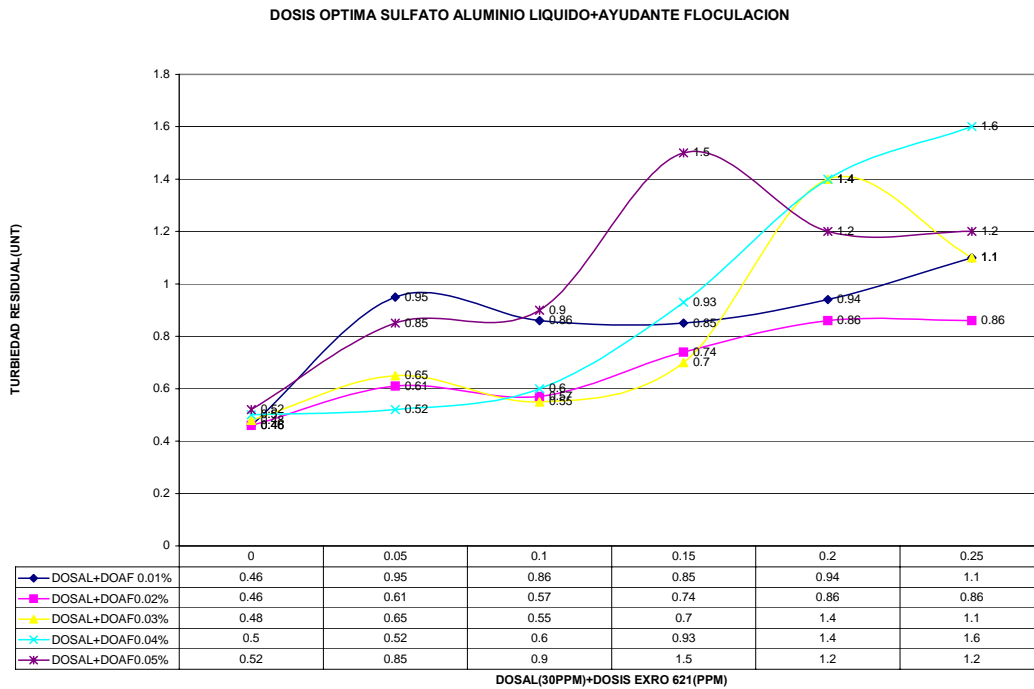
Dosis óptima de polímero: 0 ppm

ENSAYO 5

Dosis óptima de Coagulante: 14 ppm de sulfato de aluminio líquido s/n al 2%
 Concentración de polímero: 0.05%

Jarra #	Dosis Coagulante ppm	Dosis polímero ppm	Tiempo formación floc(s)	Turbiedad residual(UNT)	Color residual (UPC)	pH final
1	14	0	63	0.52	6	7.04
2	14	0.05	55	0.85	11	7.03
3	14	0.1	49	0.90	9	7.01
4	14	0.15	48	1.5	10	7.05
5	14	0.20	46	1.2	13	7.04
6	14	0.25	46	1.2	4	7.03

Dosis óptima de polímero: 0



ANEXO 18

CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DEL SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO POR PARTE DE LA PLANTA.

CONTROL DE CALIDAD DEL SULFATO DE ALUMINIO

PROVEEDOR: SULFOQUÍMICA
AÑO: 2003

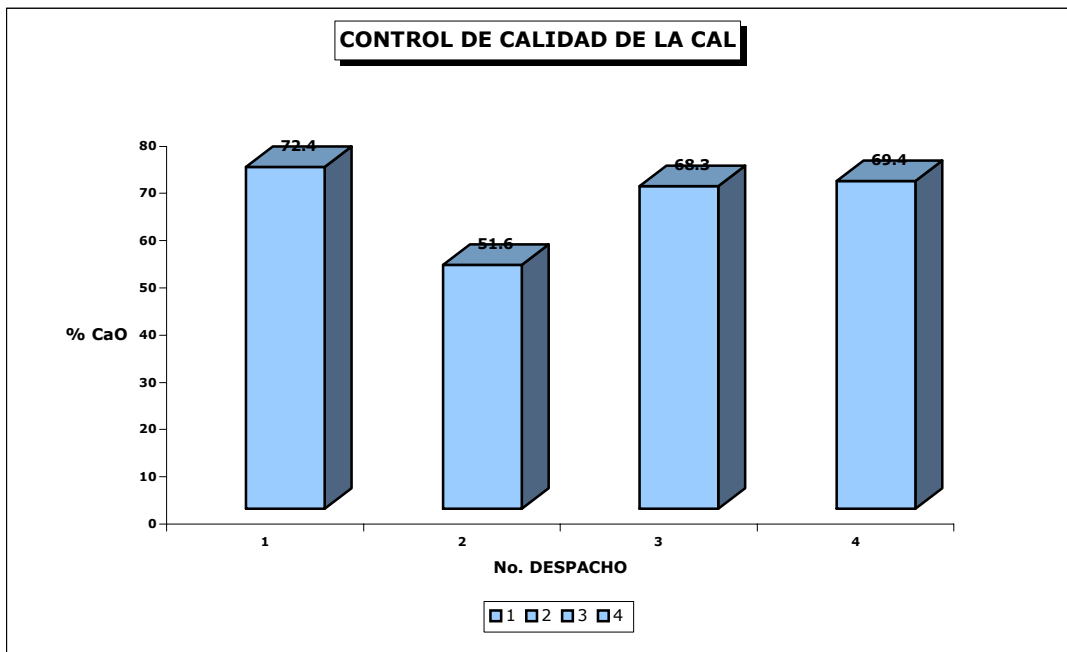
DESPACHO No.	% DE INSOLUBLES	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% PASA TAMIZ No. 4	% PASA TAMIZ No. 100
1	6.2	15.3	1.99	100	6.7
2	4.35	15.4	2.01	100	5.1
3	4.51	15.79	1.98	100	5.9
4	5.1	15.6	1.99	100	5.8
5	5.33	15.31	1.99	100	7.1
6	6.2	14.98	1.81	100	6.2
7	6.3	15.2	1.93	100	6.1
8	6.6	14.78	1.82	100	6.5
9	6.6	14.21	1.81	100	6.4
10	4.6	15.42	1.25	100	6.22
11	4.2	15.33	1.96	100	6.15
12	6.8	15.26	1.79	99.8	6.2

ANEXO 19

CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA CAL POR PARTE DE LA PLANTA.

CONTROL DE CALIDAD DE LA CAL

PROVEEDOR: CALCO
AÑO: 2003



DESPACHO No.	% de CaO
1	72.4
2	51.6
3	68.3
4	69.4

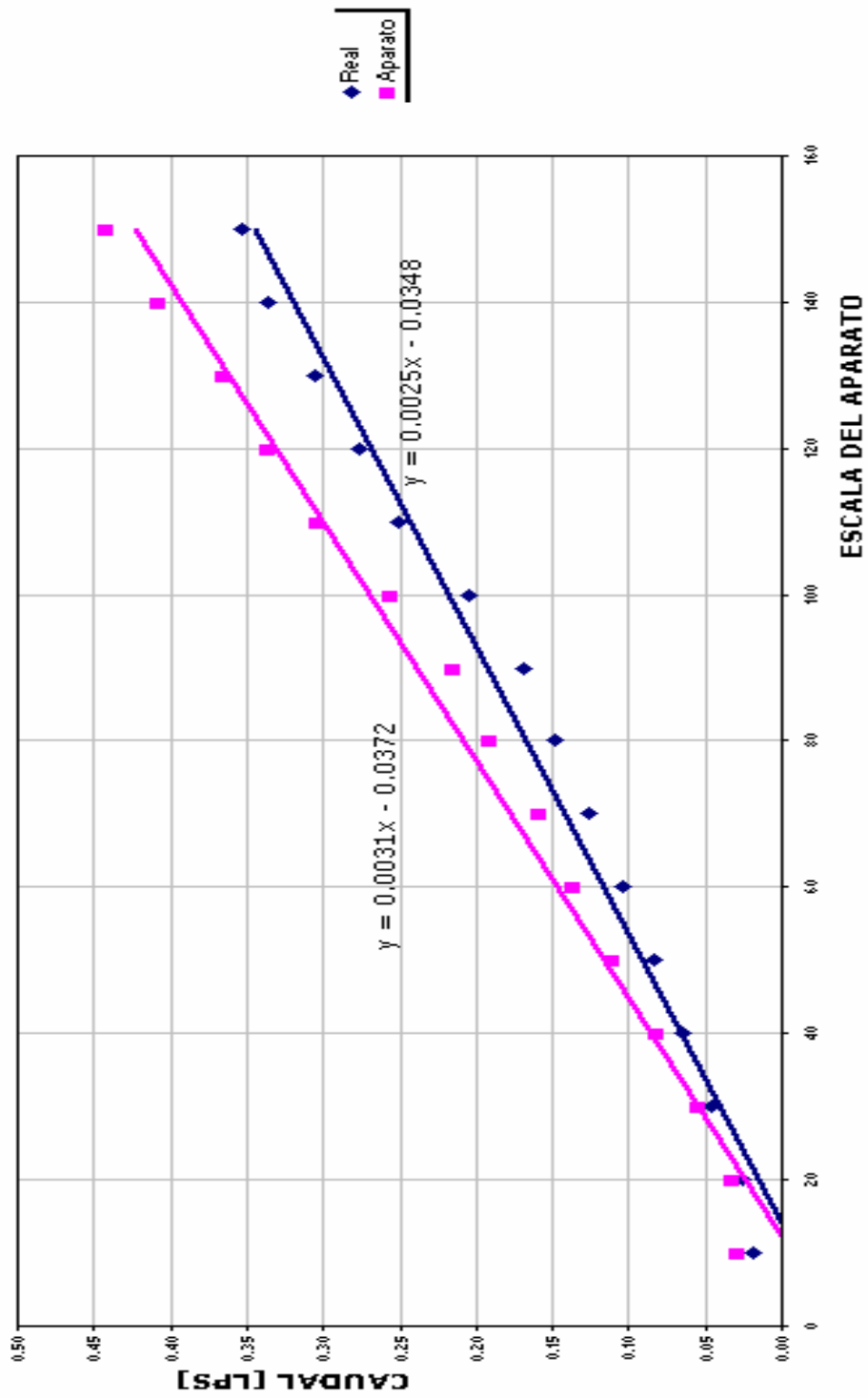
ANEXO 20

CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO.

CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE SULFATO.

ESCALA DEL APARATO	VOLUMEN (L)	TIEMPO PROM(SEG)	Q _R (Lps)	Q _T (Lps)
porcentaje de salida 20%				
10	1.2	66.59	0.02	0.03
20	1.2	45.41	0.03	0.03
30	1.2	25.72	0.05	0.06
40	1.2	18.54	0.06	0.08
50	1.2	14.21	0.08	0.11
60	1.2	11.47	0.10	0.14
70	1.2	9.50	0.13	0.16
80	1.2	8.09	0.15	0.19
90	1.2	7.10	0.17	0.22
100	1.2	5.88	0.20	0.26
110	1.2	4.78	0.25	0.30
120	1.2	4.34	0.28	0.34
130	1.2	3.93	0.31	0.37
140	1.2	3.57	0.34	0.41
150	1.2	3.40	0.35	0.44

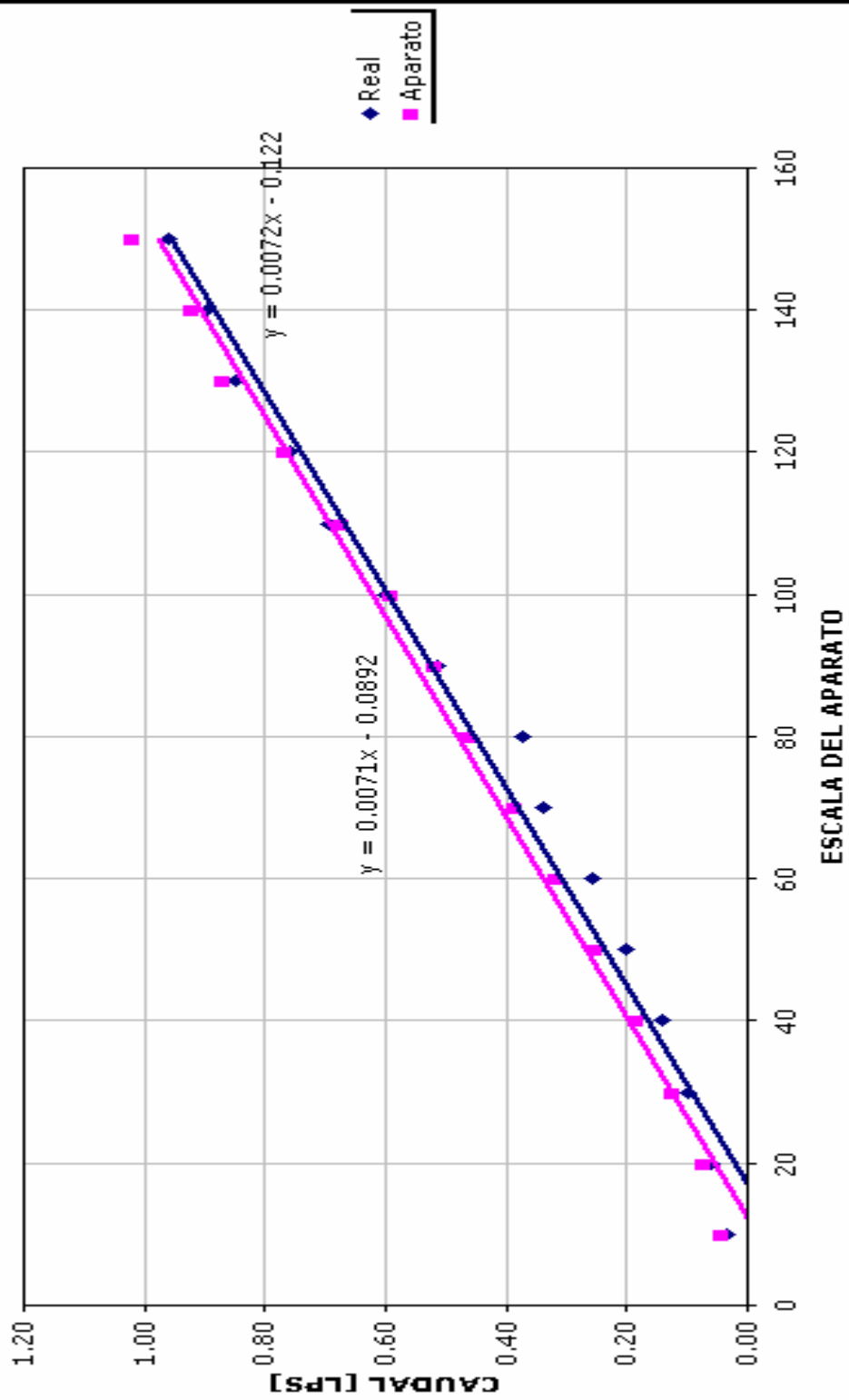
EXACTITUD DE LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO. PORCENTAJE DE SALIDA 20%



CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE SULFATO.

ESCALA DEL APARATO	VOLUMEN (L)	TIEMPO PROM(SEG)	Q _R (Lps)	Q _T (Lps)
porcentaje de salida 50%				
10	1.2	36.49	0.03	0.04
20	1.2	20.67	0.06	0.07
30	1.2	12.04	0.10	0.12
40	1.2	8.52	0.14	0.19
50	1.2	5.99	0.20	0.25
60	1.2	4.64	0.26	0.32
70	1.2	3.53	0.34	0.39
80	1.2	3.22	0.37	0.46
90	5.0	9.69	0.52	0.52
100	5.0	8.36	0.60	0.59
110	5.0	7.20	0.69	0.67
120	5.0	6.59	0.76	0.77
130	5.0	5.88	0.85	0.87
140	5.0	5.59	0.89	0.92
150	5.0	5.20	0.96	1.02

**EXACTITUD DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO. PORCENTAJE DE SALIDA
50%**



ANEXO 21

CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE CAL.

CALIBRACIÓN DE LOS DOSIFICADORES DE CAL

Dosificador de Cal No. 1.

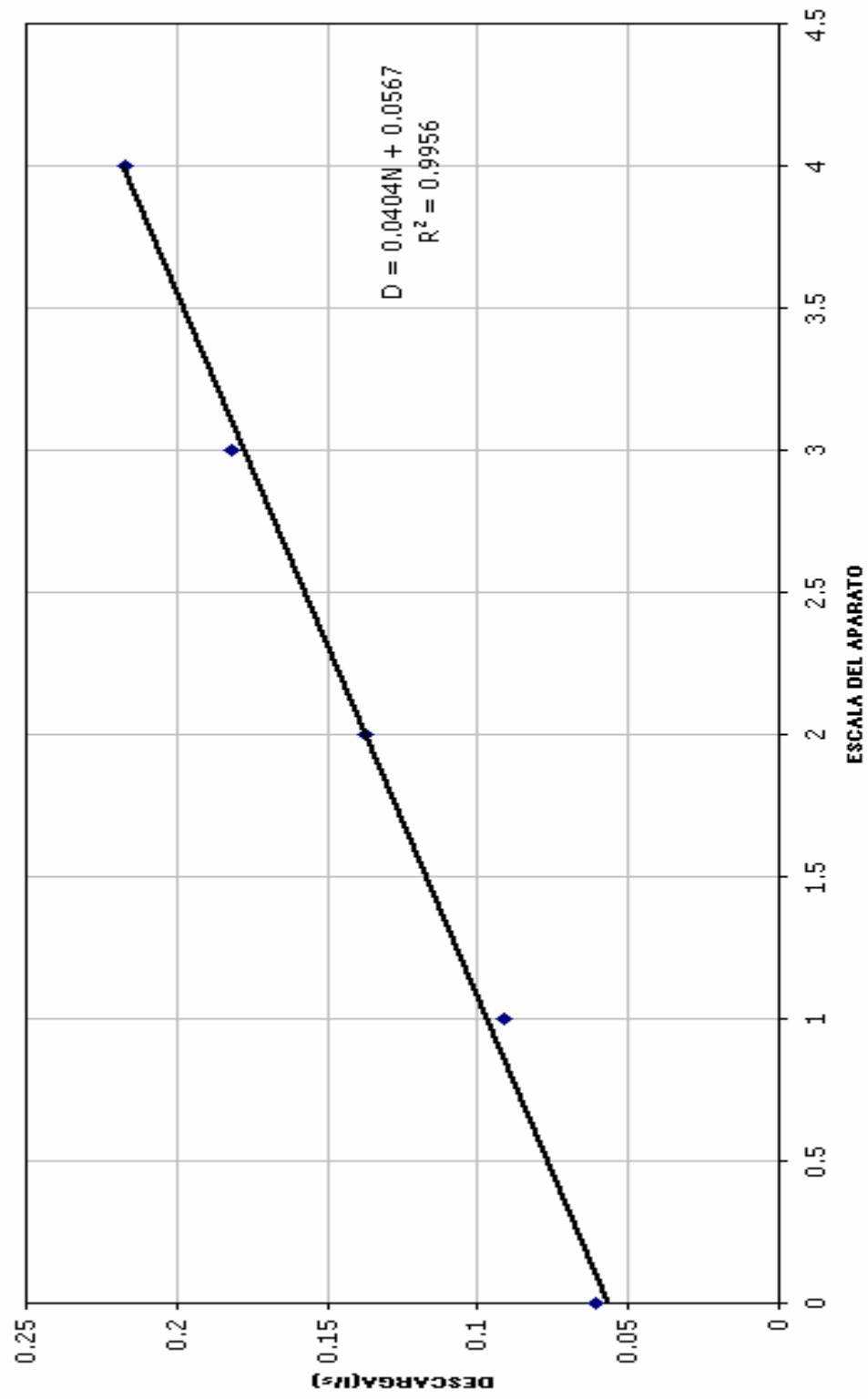
ESCALA DEL APARATO	VOLUMEN (l)	TIEMPO PROMEDIO (Seg)	DESCARGA (l/s)
0	1.2	19.77	0.0606

1	1.2	13.19	0.0909
2	1.2	8.703	0.137
3	1.2	6.576	0.182
4	1.2	5.523	0.217

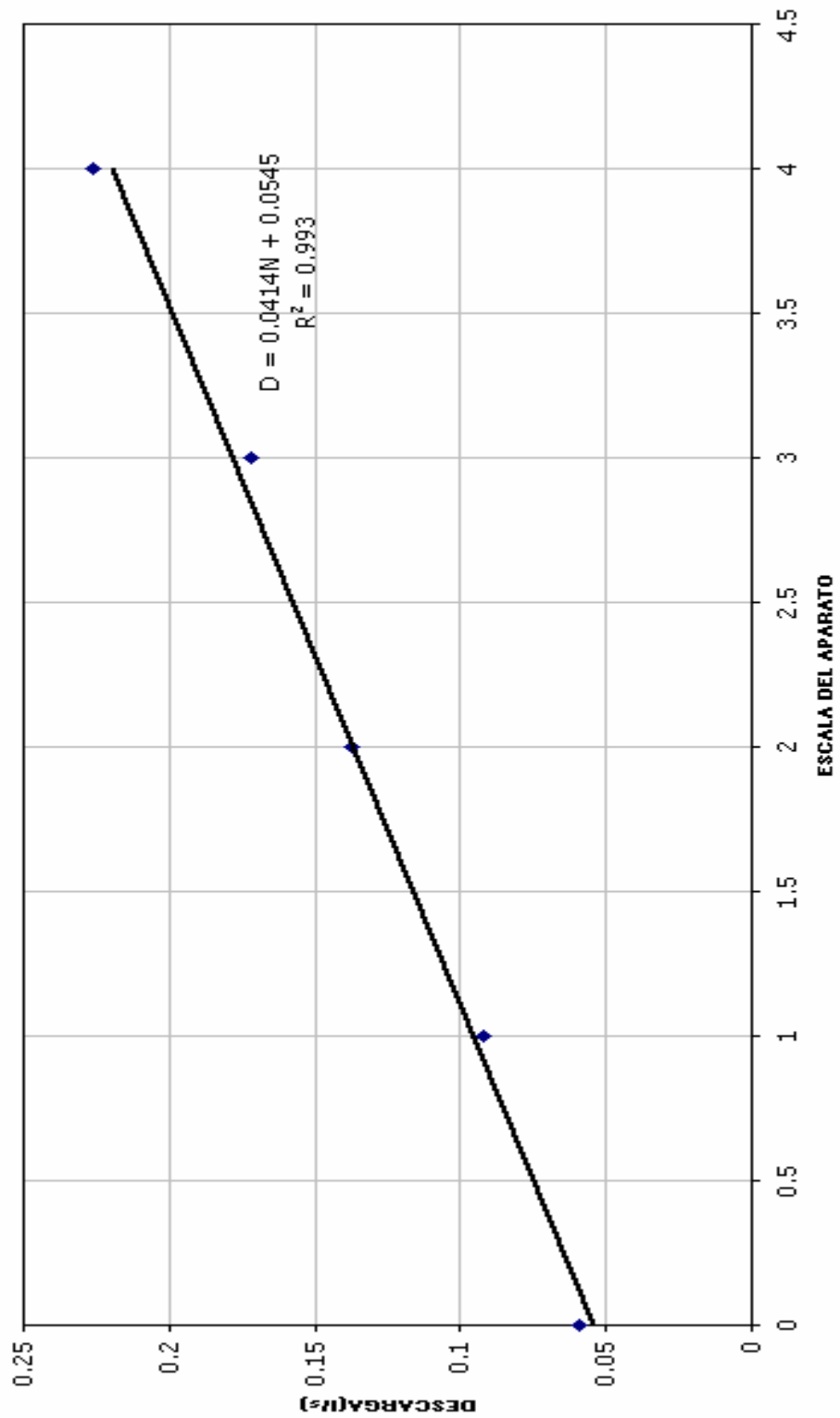
Dosificador de Cal No. 2.

ESCALA DEL APARATO	VOLUMEN (l)	TIEMPO PROMEDIO (Seg)	DESCARGA (l/s)
0	1.2	20.17	0.0594
1	1.2	13.076	0.0917
2	1.2	8.756	0.137
3	1.2	6.966	0.172
4	1.2	5.313	0.226

CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE CAL No. 1



CALIBRACIÓN DEL DOSIFICADOR DE CAL No. 2



ANEXO 22

EFICIENCIA DE LA MEZCLA RÁPIDA.

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 120 UNT Color: 396 UPC Ph: 8.11 Alcalinidad: 58.2 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 35 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 90 rpm Gradiente de velocidad: 110 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 80 seg

5. Floculación

Velocidad: 40 rpm Gradiente de velocidad: 33 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 15 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida Planta Bosconia. Laboratorio floculación y sedimentación	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	1.7	1	4.1
2	1.5	2	2.6
3	1.4	3	4.1
Turbiedad promedio	1.5	Turbiedad promedio	3.8

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 250 UNT Color: 371 UPC Ph: 8.19 Alcalinidad: 55.8 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 50 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 100 rpm Gradiente de velocidad: 130 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 100 seg

5. Floculación

Velocidad: 40 rpm Gradiente de velocidad: 33 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 15 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida Planta Bosconia. Laboratorio floculación y sedimentación	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	4.0	1	5.5
2	3.6	2	6.0
3	4.1	3	4.0
Turbiedad promedio	3.9	Turbiedad promedio	5.5

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 23 UNT Color: 87 UPC Ph: 8.0 Alcalinidad: 63 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 20 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 80 rpm Gradiente de velocidad: 100 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 60 seg

5. Floculación

Velocidad: 40 rpm Gradiente de velocidad: 33 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 15 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida Planta Bosconia. Laboratorio floculación y sedimentación	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	2.5	1	4.0
2	2.3	2	4.7
3	1.7	3	3.5
Turbiedad promedio	2.2	Turbiedad promedio	4.06

ANEXO 23

CALIBRACIÓN DE LA CANALETA Parshall No. 2.

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.900							0.801	0.900	0.250	0.225	0.180
0.250	0.900	0.360	159	50	3.180	0.801	0.801	0.816	0.900	0.450	0.405	0.331
0.700	0.900	0.360	165	50	3.300	0.831	0.831					
	0.900			50	0.000			0.851	0.900	0.450	0.405	0.345
1.150	0.900	0.360	173	50	3.460	0.871	0.871					
	0.900			50	0.000			0.826	0.900	0.450	0.405	0.335
1.600	0.900	0.360	155	50	3.100	0.781	0.781					
	0.900			50	0.000			0.824	0.900	0.450	0.405	0.334
2.050	0.900	0.360	172	50	3.440	0.866	0.866					
	0.900			50	0.000			0.866	0.900	0.250	0.225	0.195
									TOTAL	2.300 m	2.070 m ²	1.718 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.860							0.689	0.860	0.250	0.215	0.148
0.250	0.860	0.340	144	50	2.880	0.726	0.689					
	0.860	0.680	129	50	2.580	0.652		0.705	0.860	0.450	0.387	0.273
0.700	0.860	0.340	148	50	2.960	0.746	0.721					
	0.860	0.680	138	50	2.760	0.697		0.720	0.860	0.450	0.387	0.279
1.150	0.860	0.340	130	50	2.600	0.657	0.719					
	0.860	0.680	155	50	3.100	0.781		0.751	0.860	0.450	0.387	0.291
1.600	0.860	0.340	162	50	3.240	0.816	0.784					
	0.860	0.680	149	50	2.980	0.751		0.759	0.860	0.450	0.387	0.294
2.050	0.860	0.340	145	50	2.900	0.731	0.734					
	0.860	0.680	146	50	2.920	0.736		0.906	0.860	0.250	0.215	0.195
									TOTAL	2.300 m	1.978 m ²	1.479 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.810											
								0.654	0.810	0.250	0.203	0.132
0.250	0.810	0.320	132	50	2.640	0.667	0.654					
	0.810	0.640	127	50	2.540	0.642		0.689	0.810	0.450	0.365	0.251
0.700	0.810	0.320	149	50	2.980	0.751	0.724					
	0.810	64.000	138	50	2.760	0.697		0.690	0.810	0.450	0.365	0.252
1.150	0.810	0.320	115	50	2.300	0.582	0.657					
	0.810	0.640	145	50	2.900	0.731		0.740	0.810	0.450	0.365	0.270
1.600	0.810	0.320	159	50	3.180	0.801	0.824					
	0.810	0.640	168	50	3.360	0.846		0.826	0.810	0.450	0.365	0.301
2.050	0.810	0.320	158	50	3.160	0.796	0.829					
	0.810	0.640	171	50	3.420	0.861		0.829	0.810	0.250	0.203	0.168
									TOTAL	2.300 m	1.863 m ²	1.374 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.650											
								0.487	0.650	0.250	0.163	0.079
0.250	0.650	0.250	101	50	2.020	0.512	0.487					
	0.650	0.500	91	50	1.820	0.462		0.495	0.650	0.450	0.293	0.145
0.700	0.650	0.250	108	50	2.160	0.547	0.502					
	0.650	0.500	90	50	1.800	0.457		0.511	0.650	0.450	0.293	0.149
1.150	0.650	0.250	105	50	2.100	0.532	0.520					
	0.650	0.500	100	50	2.000	0.507		0.522	0.650	0.450	0.293	0.153
1.600	0.650	0.250	104	50	2.080	0.527	0.525					
	0.650	0.500	103	50	2.060	0.522		0.502	0.650	0.450	0.293	0.147
2.050	0.650	0.250	102	50	2.040	0.517	0.480					
	0.650	0.500	87	50	1.740	0.442		0.480	0.650	0.250	0.163	0.078
									TOTAL	2.300 m	1.495 m ²	0.751 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.640											
								0.510	0.640	0.250	0.160	0.082
0.250	0.640	0.250	102	50	2.040	0.517	0.510					
	0.640	0.500	99	50	1.980	0.502		0.503	0.640	0.450	0.288	0.145
0.700	0.640	0.250	96	50	1.920	0.487	0.497					
	0.640	0.500	100	50	2.000	0.507		0.507	0.640	0.450	0.288	0.146
1.150	0.640	0.250	97	50	1.940	0.492	0.517					
	0.640	0.500	107	50	2.140	0.542		0.515	0.640	0.450	0.288	0.148
1.600	0.640	0.250	95	50	1.900	0.482	0.512					
	0.640	0.500	107	50	2.140	0.542		0.496	0.640	0.450	0.288	0.143
2.050	0.640	0.250	89	50	1.780	0.452	0.480					
	0.640	0.500	100	50	2.000	0.507		0.480	0.640	0.250	0.160	0.077
									TOTAL	2.300 m	1.472 m ²	0.740 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.690											
								0.542	0.690	0.250	0.173	0.094
0.250	0.690	0.280	112	50	2.240	0.567	0.542					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.546	0.690	0.450	0.311	0.169
0.700	0.690	0.280	115	50	2.300	0.582	0.550					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.550	0.690	0.450	0.311	0.171
1.150	0.690	0.280	110	50	2.200	0.557	0.550					
	0.690	0.560	107	50	2.140	0.542		0.547	0.690	0.450	0.311	0.170
1.600	0.690	0.280	113	50	2.260	0.572	0.545					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.548	0.690	0.450	0.311	0.170
2.050	0.690	0.280	112	50	2.240	0.567	0.552					
	0.690	0.560	106	50	2.120	0.537		0.552	0.690	0.250	0.173	0.095
									TOTAL	2.300 m	1.587 m ²	0.869 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.620											
								0.415	0.620	0.250	0.155	0.064
0.250	0.620	0.220	80	50	1.600	0.408	0.415					
	0.620	0.440	83	50	1.660	0.423		0.424	0.620	0.450	0.279	0.118
0.700	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447		0.432				
	0.620	0.440	82	50	1.640	0.418		0.435	0.620	0.450	0.279	0.121
1.150	0.620	0.220	87	50	1.740	0.442	0.437					
	0.620	0.440	85	50	1.700	0.432		0.444	0.620	0.450	0.279	0.124
1.600	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447	0.450					
	0.620	0.440	89	50	1.780	0.452		0.437	0.620	0.450	0.279	0.122
2.050	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447	0.425					
	0.620	0.440	79	50	1.580	0.403		0.425	0.620	0.250	0.155	0.066
									TOTAL	2.300 m	1.426 m ²	0.616 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.510											
								0.328	0.510	0.250	0.128	0.042
0.250	0.510	0.200	64	50	1.280	0.328	0.328					
								0.343	0.510	0.450	0.230	0.079
0.700	0.510	0.200	70	50	1.400	0.358	0.358					
								0.375	0.510	0.450	0.230	0.086
1.150	0.510	0.200	77	50	1.540	0.393	0.393					
								0.380	0.510	0.450	0.230	0.087
1.600	0.510	0.200	72	50	1.440	0.368	0.368					
								0.363	0.510	0.450	0.230	0.083
2.050	0.510	0.200	70	50	1.400	0.358	0.358					
								0.358	0.510	0.250	0.128	0.046
									TOTAL	2.300 m	1.173 m ²	0.423 (m ³ /seg)

ANEXO 24

EFICIENCIA DE LA FLOCULACIÓN.

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 23 UNT Color: 87 UPC pH: 8.0 Alcalinidad: 63 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 20 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 80 rpm Gradiente de velocidad: 100 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 60 seg

5. Floculación optima

Velocidad: 30 rpm Gradiente de velocidad: 23 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 24 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida floculación Planta Bosconia sedimentación : 10 min	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	1.2	1	5.5
2	0.8	2	4.7
3	2.3	3	6.0
Turbiedad promedio	1.4	Turbiedad promedio	5.4

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 120 UNT Color: 396 UPC pH: 8.11 Alcalinidad: 58.2 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 35 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 90 rpm Gradiente de velocidad: 110 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 80 seg

5. Floculación optima

Velocidad: 20 rpm Gradiente de velocidad: 13s⁻¹ Tiempo de mezcla: 24 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida floculación Planta Bosconia sedimentación : 10 min	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	1.8	1	4.6
2	2.0	2	5.1
3	1.4	3	3.7
Turbiedad promedio	1.7	Turbiedad promedio	4.4

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras: 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad: 250 UNT Color: 371 UPC pH: 8.19 Alcalinidad: 55.8 mg/l CaCO₃

3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio: 50 ppm

4. Mezcla Rápida optima

Velocidad: 100 rpm Gradiente de velocidad: 130 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 100 seg

5. Floculación optima

Velocidad: 20 rpm Gradiente de velocidad: 15 s⁻¹ Tiempo de mezcla: 24 min

6. Sedimentación

Tiempo: 10 min Profundidad de la muestra: 10 cm.

LABORATORIO		PLANTA	
Mezcla rápida, floculación y sedimentación		Mezcla Rápida floculación Planta Bosconia sedimentación : 10 min	
Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)	Muestra No.	Turbiedad Residual (UNT)
1	2.6	1	4.0
2	2.9	2	6.8
3	3.3	3	5.1
Turbiedad promedio	2.93	Turbiedad promedio	5.3

ANEXO 25

ENSAYO CON TRAZADORES.

CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LOS CANALES QUE COMUNICAN A LOS FLOCULADORES.

TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA-COMPUERTA FLOCULADOR 1.

N. Muestra	Tiempo (seg)	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co
1	5	172	0	0
2	10	172	0	0
3	15	890	718	718
4	20	3900	3728	4446
5	25	5700	5528	9974
6	30	5300	5128	15102
7	35	4400	4228	19330
8	40	3500	3328	22658
9	45	2960	2788	25446
10	50	2170	1998	27444
11	55	1570	1398	28842
12	60	1390	1218	30060

13	65	1180	1008	31068
14	70	1080	908	31976
15	75	970	798	32774
16	80	863	691	33465
17	85	702	530	33995
18	90	581	409	34404
19	95	346	174	34578
20	100	275	103	34681
21	105	197	25	34706
22	110	178	6	34712
23	115	172	0	34712
24	120	172	0	34712

TIEMPO DE RETENCION: 25 segundos.

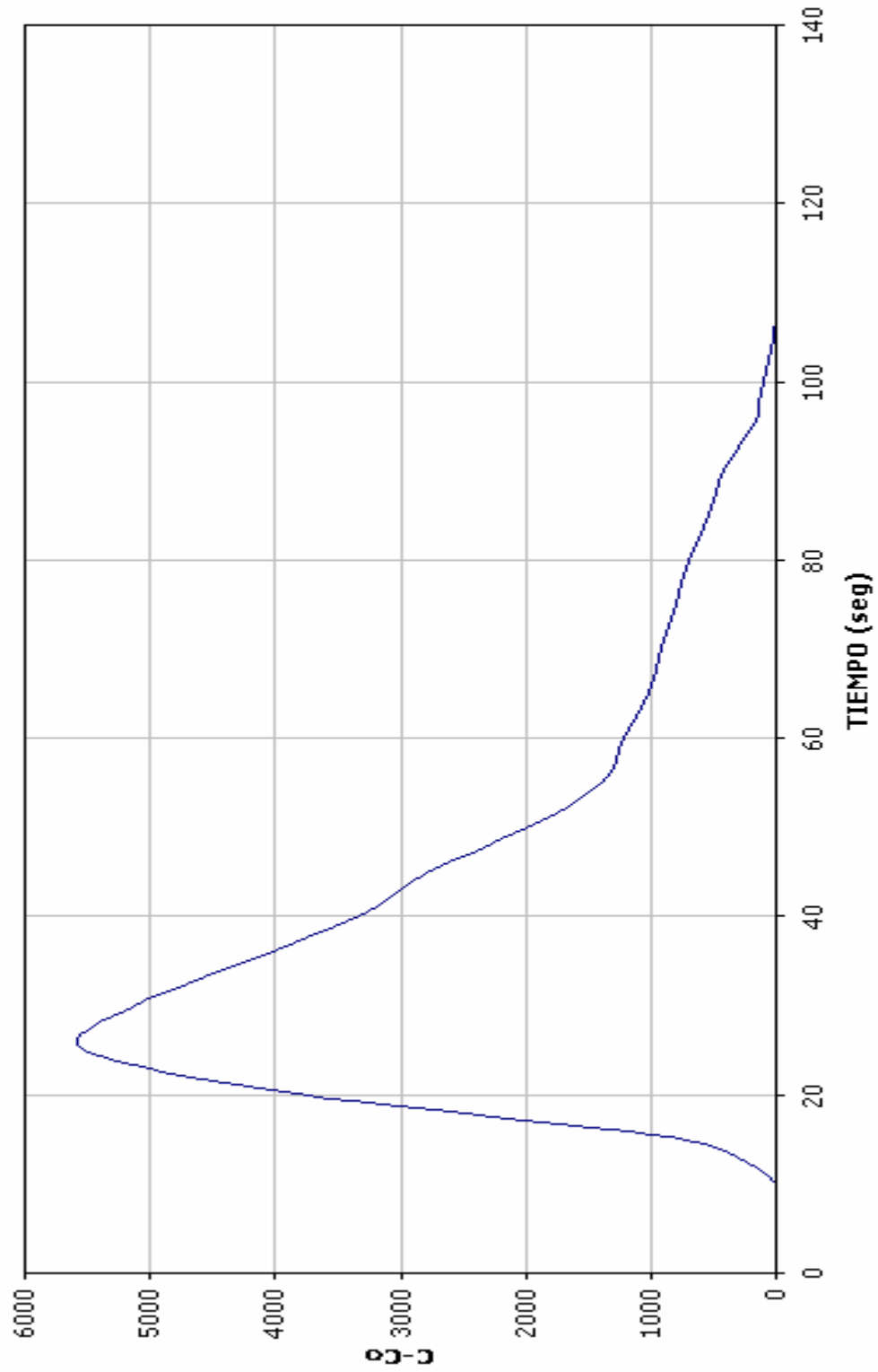
TIEMPO DE RETENCIÓN DE LA COMPUERTA A LA ENTRADA AL FLOCULADOR 1

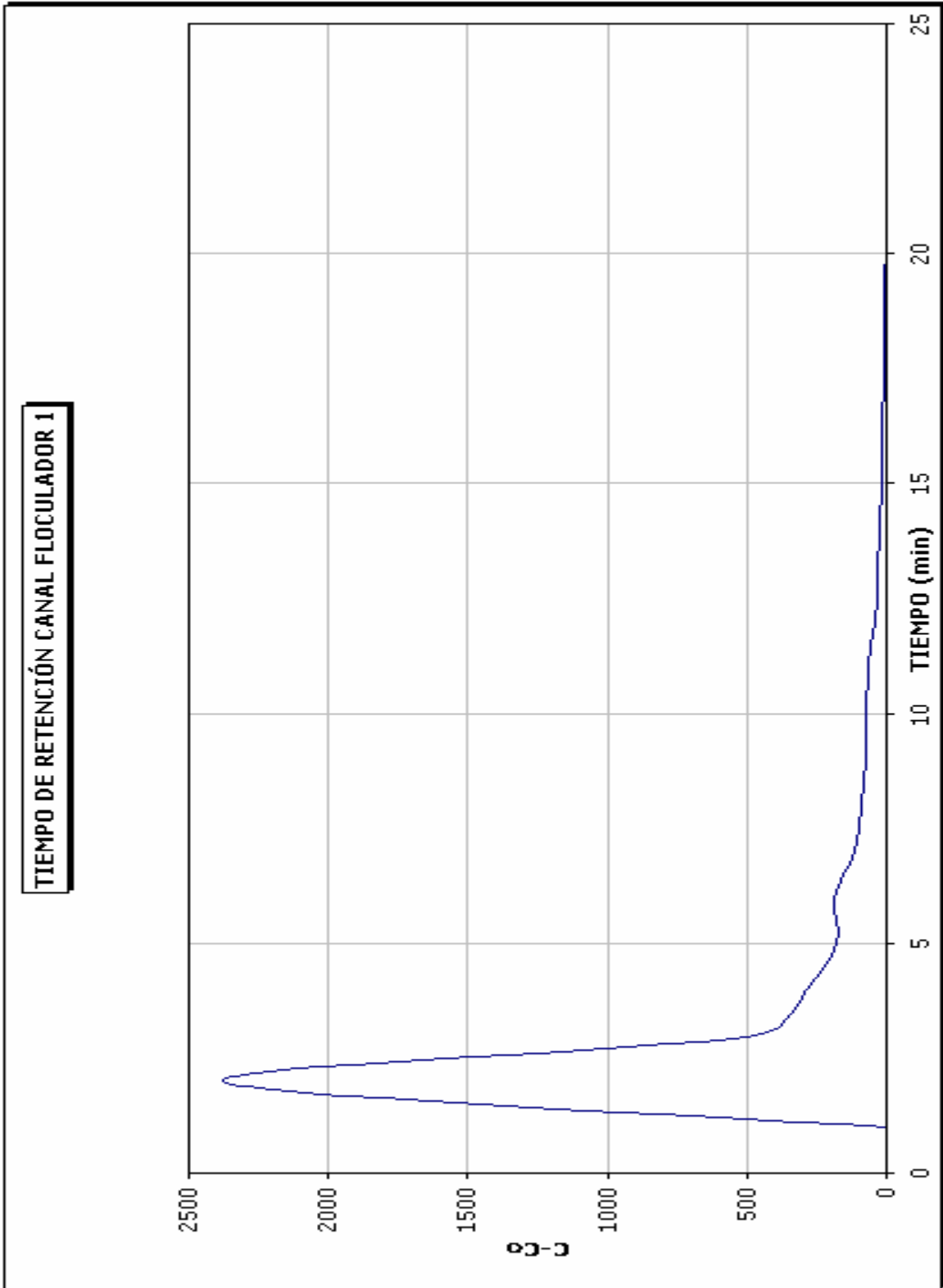
N. Muestra	Tiempo (min)	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co
1	1	172	0	0
2	2	2551	2379	2379
3	3	646	474	2853
4	4	459	287	3140
5	5	355	183	3323
6	6	356	184	3507
7	7	290	118	3625
8	8	264	92	3717
9	9	245	73	3790
10	10	243	71	3861
11	11	238	66	3927
12	12	213	41	3968
13	13	202	30	3998
14	14	200	28	4026
15	15	192	20	4046
16	16	189	17	4063

17	17	181	9	4072
18	18	178	6	4078
19	19	177	5	4083
20	20	174	2	4085
21	21	173	1	4086
22	22	172	0	4086
23	23	172	0	4086

TIEMPO DE RETENCIÓN: 2 minutos.

TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA FLOCULADOR 1



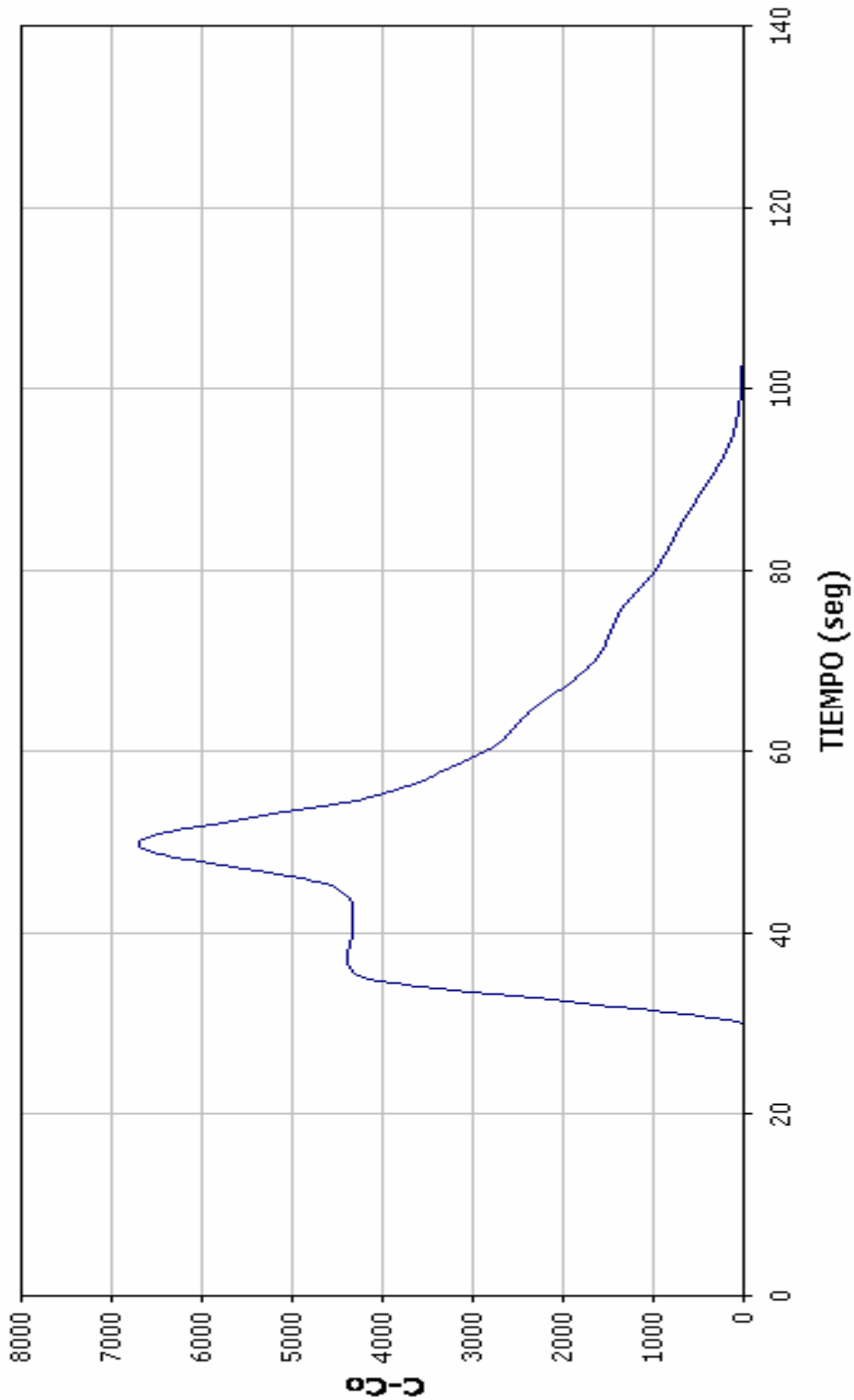


TIEMPO DE RETENCIÓN CANAL QUE COMUNICA AL FLOCULADOR 2.

N. muestra	Tiempo (seg)	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co
1	5	172	0	0
2	10	172	0	0
3	15	172	0	0
4	20	172	0	0
5	25	172	0	0
6	30	174	2	2
7	35	4400	4228	4230
8	40	4500	4328	8558
9	45	4700	4528	13086
10	50	6860	6688	19774
11	55	4300	4128	23902
12	60	3020	2848	26750
13	65	2480	2308	29058
14	70	1816	1644	30702
15	75	1570	1398	32100
16	80	1140	968	33068
17	85	860	688	33756
18	90	540	368	34124
19	95	297	125	34249
20	100	200	28	34277
21	105	185	13	34290
22	110	172	0	34290
23	115	172	0	34290

TIEMPO DE RETENCIÓN: 50 segundos

TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA ENTRADA FLOCULADOR 2

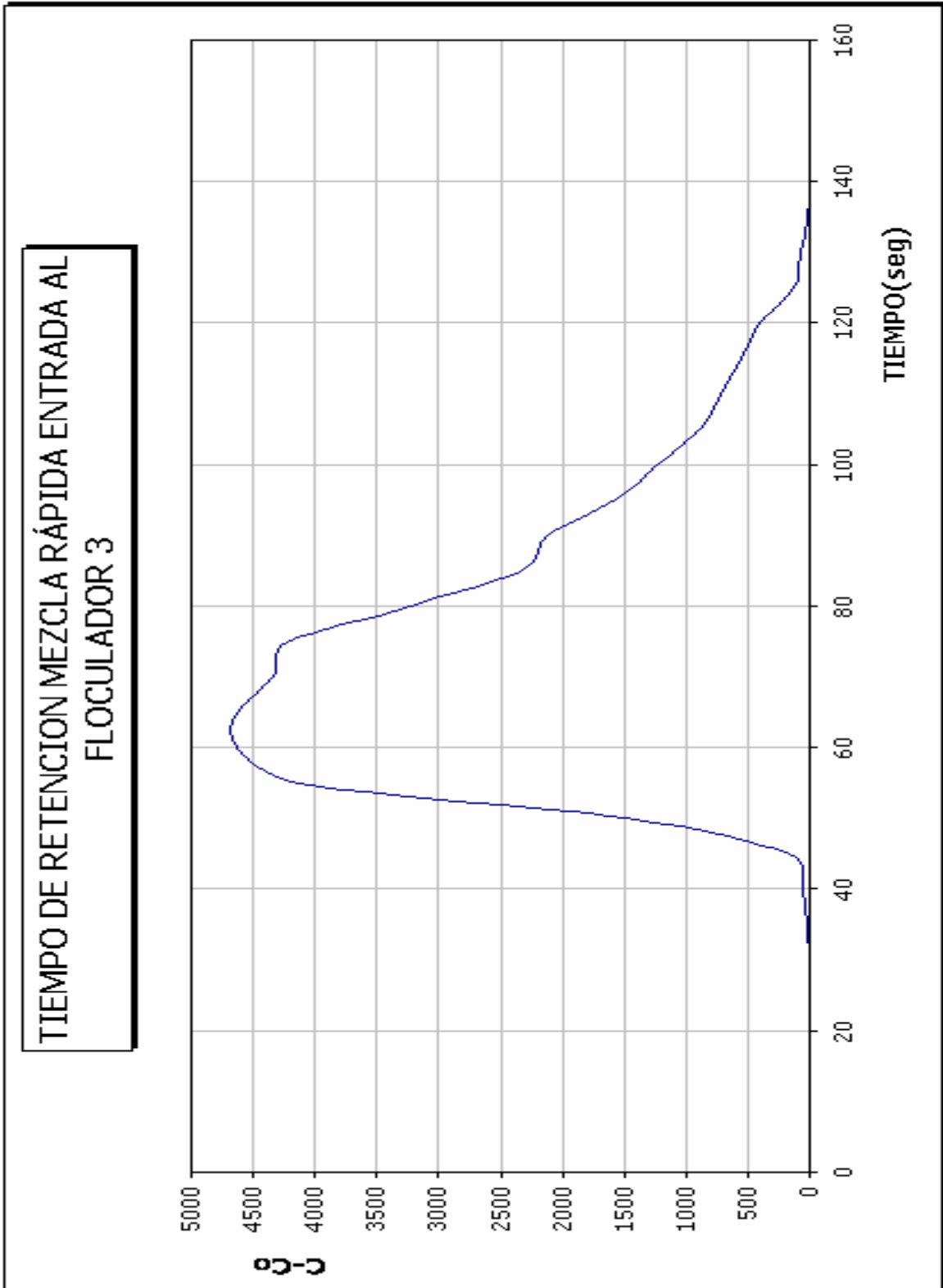


TIEMPO DE RETENCIÓN CANAL QUE COMUNICA AL

FLOCULADOR 3.

N. muestra	Tiempo (seg)	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co
1	5	172	0	0
2	10	172	0	0
3	15	172	0	0
4	20	172	0	0
5	25	172	0	0
6	30	172	0	0
7	35	187	15	15
8	40	233	61	76
9	45	340	168	244
10	50	1670	1498	1742
11	55	4300	4128	5870
12	60	4800	4628	10498
13	65	4800	4628	15126
14	70	4500	4328	19454
15	75	4400	4228	23682
16	80	3400	3228	26910
17	85	2500	2328	29238
18	90	2300	2128	31366
19	95	1746	1574	32940
20	100	1410	1238	34178
21	105	1050	878	35056
22	110	890	718	35774
23	115	725	553	36327
24	120	570	398	36725
25	125	310	138	36863
26	130	250	78	36941
27	135	190	18	36959
28	140	172	0	36959
29	145	172	0	36959

TIEMPO DE RETENCIÓN: 60 segundos.



TIEMPO DE RETENCIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA-COMPUERTA FLOCULADOR 4

N. Muestra	Tiempo (seg)	C(Ω)	C-Co	ΣC-Co
1	5	172	0	0
2	10	172	0	0
3	20	3530	3358	3358
4	25	5300	5128	8486
5	30	5360	5188	13674
6	35	4430	4258	17932
7	40	2520	2348	20280
8	45	1428	1256	21536
9	50	1250	1078	22614
10	55	888	716	23330
11	60	655	483	23813
12	65	550	378	24191
13	70	480	308	24499
14	75	360	188	24687
15	80	270	98	24785
16	85	186	14	24799
17	90	177	5	24804
18	95	175	3	24807
19	100	172	0	24807

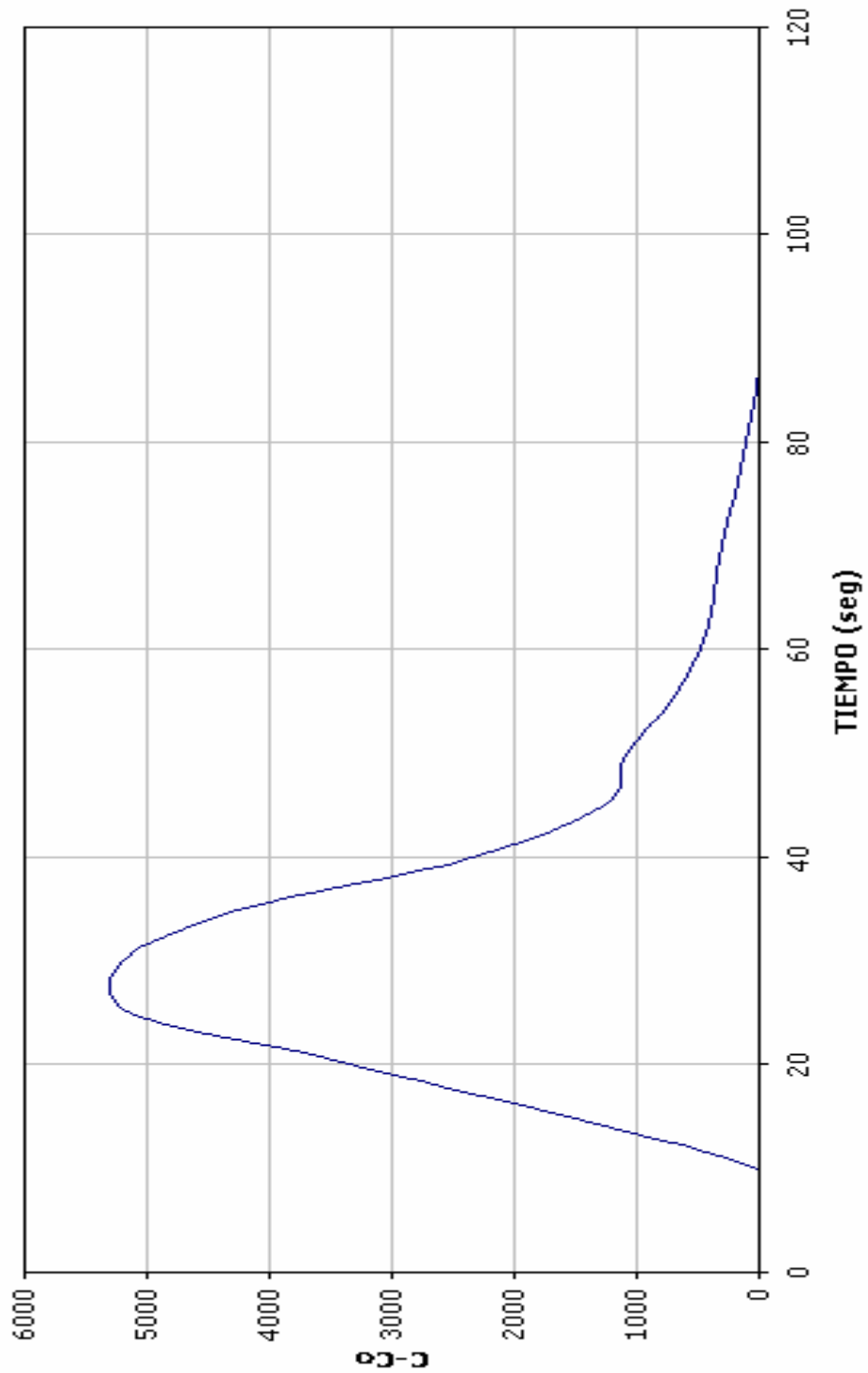
TIEMPO DE RETENCIÓN: 25 segundos.

TIEMPO DE RETENCIÓN CANAL DEL FLOCULADOR 4.

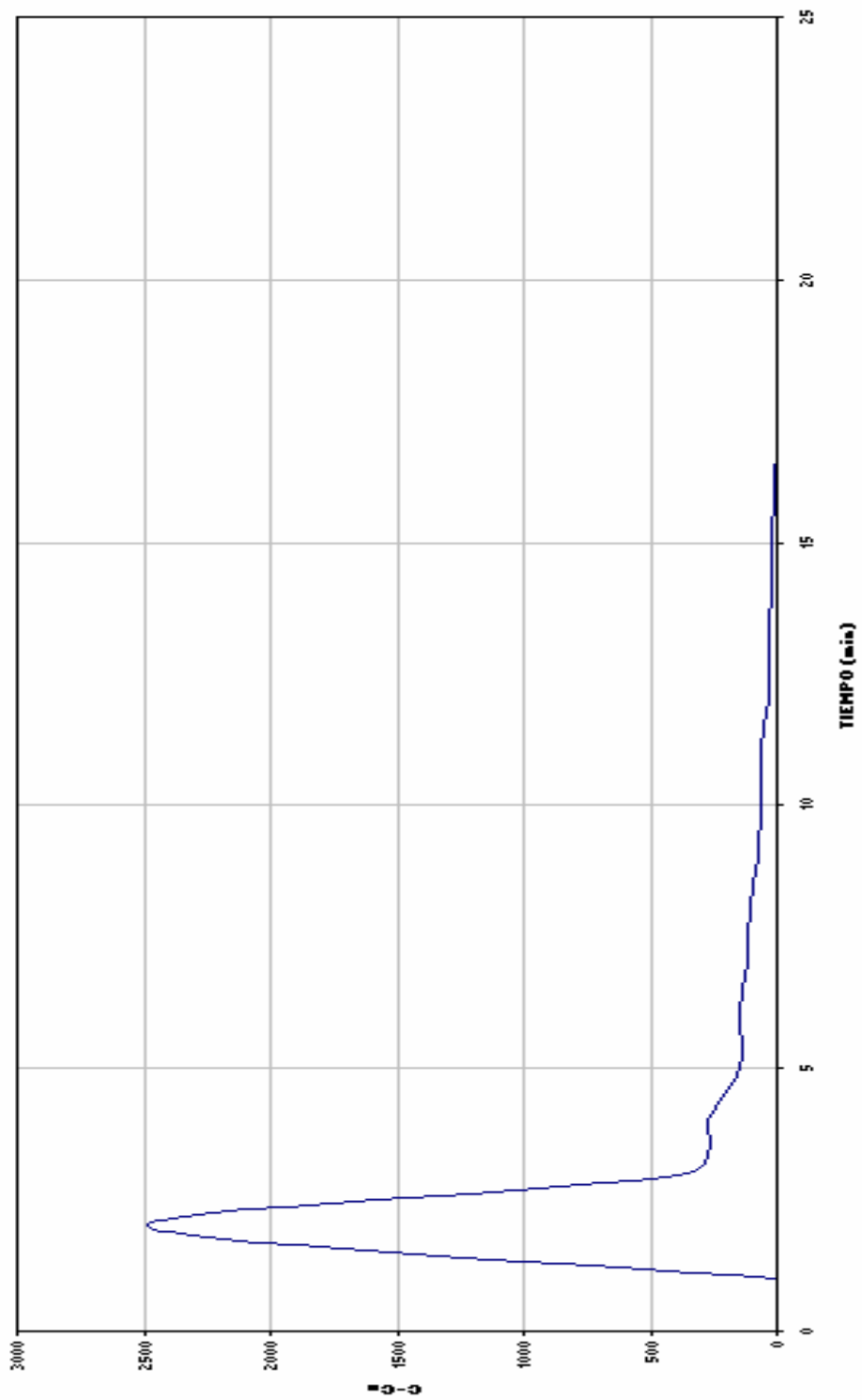
N. muestra	Tiempo (min)	C(Ω)	C-Co	ΣC-Co
1	1	172	0	0
2	2	2660	2488	2488
3	3	530	358	2846
4	4	450	278	3124
5	5	321	149	3273
6	6	315	143	3416
7	7	288	116	3532
8	8	274	102	3634
9	9	250	78	3712
10	10	239	67	3779
11	11	234	62	3841
12	12	207	35	3876
13	13	199	27	3903
14	14	196	24	3927
15	15	188	16	3943
16	16	186	14	3957
17	17	177	5	3962
18	18	175	3	3965
19	19	172	0	3965
20	20	172	0	3965

TIEMPO DE RETENCIÓN: 2 minutos

TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA FLOCULADOR 4



TIEMPO DE RETENCIÓN DEL CANAL DE ENTRADA AL FLOCULADOR 4



ANEXO 26

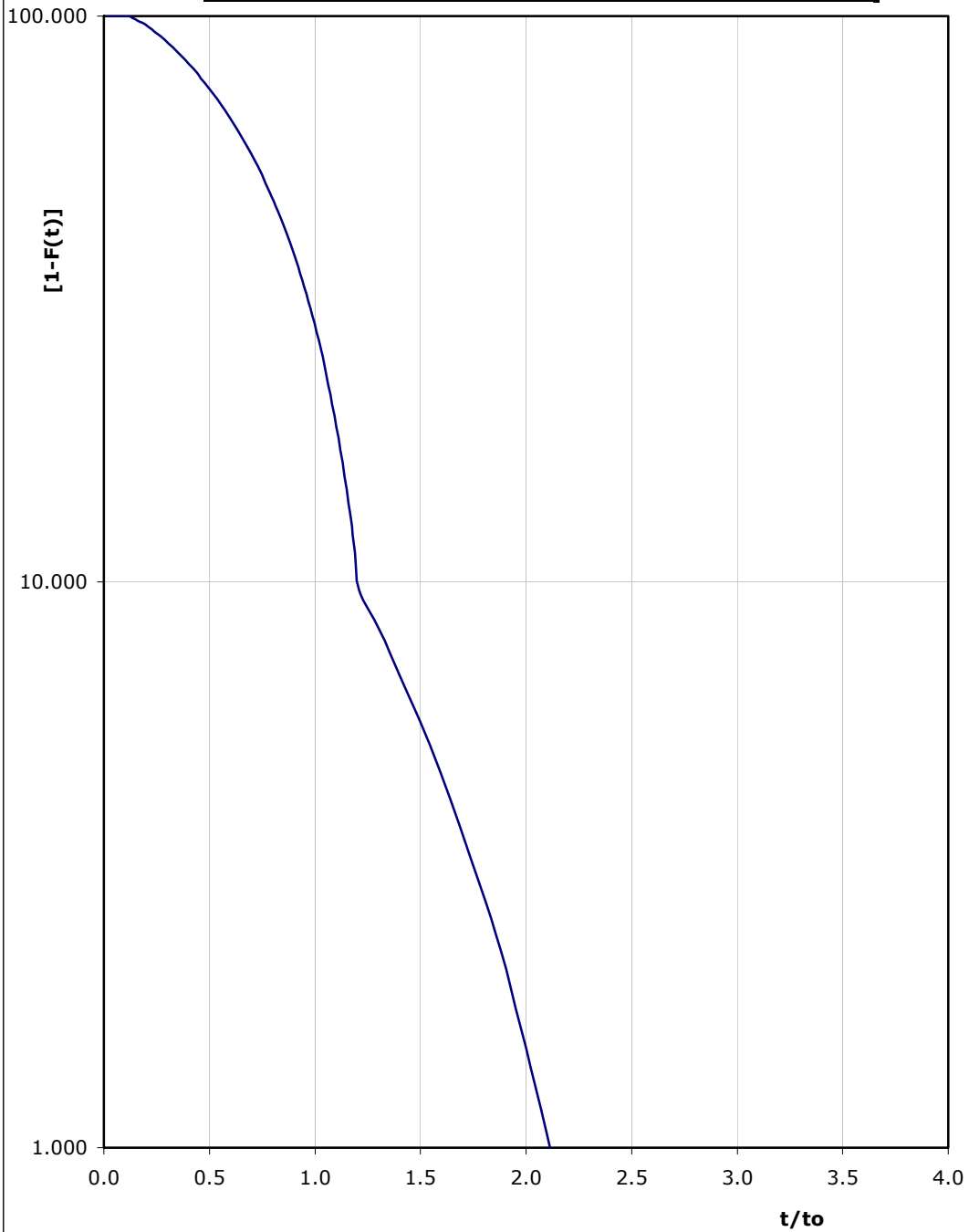
ENSAYO CON TRAZADORES. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL FLOCULADOR 1.

RESULTADO PRUEBA DE TRAZADORES FLOCULADOR 1.

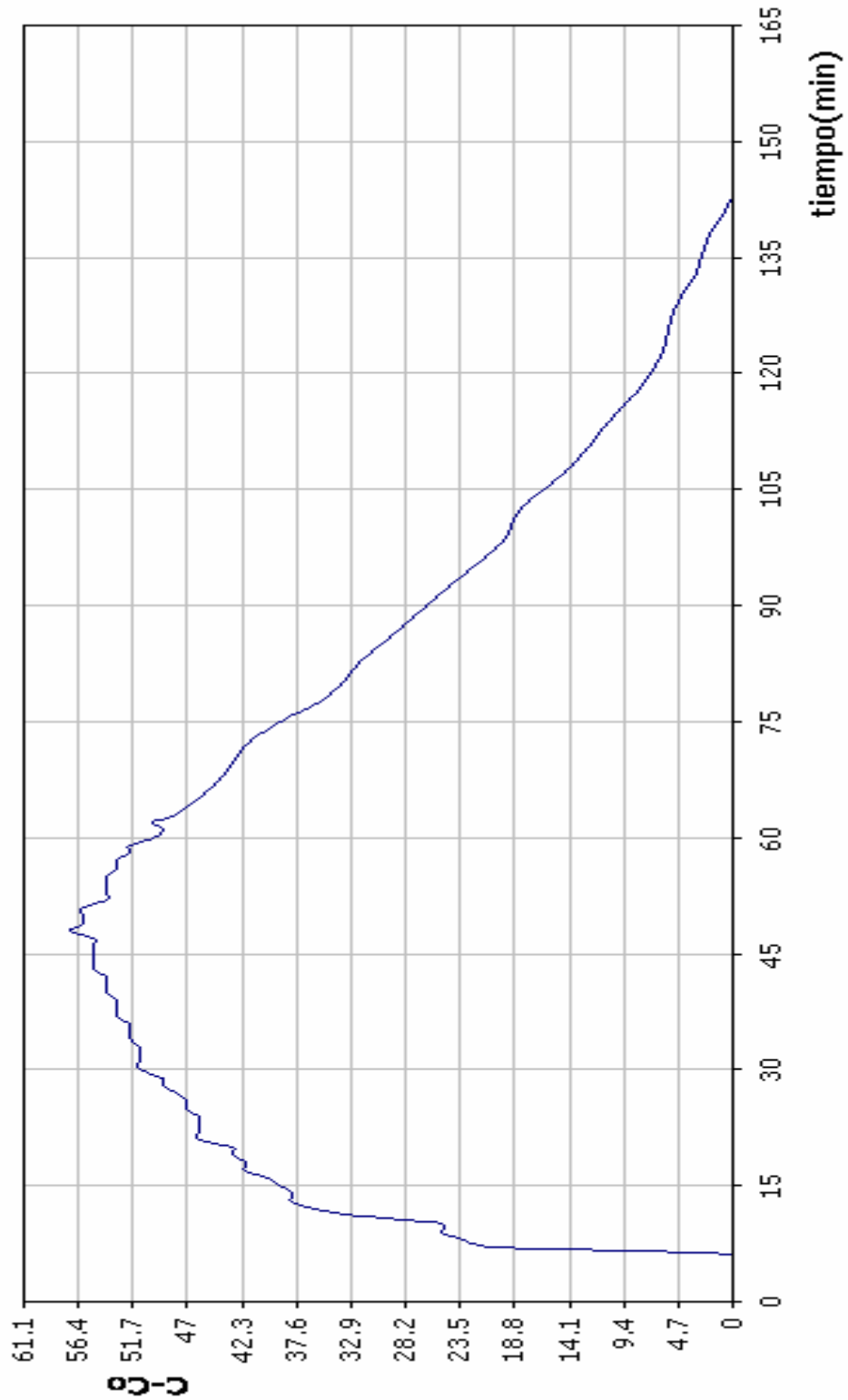
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1	0.019	172	0	0	0.000	100.000
2	2	0.038	172	0	0	0.000	100.000
3	3	0.058	172	0	0	0.000	100.000
4	4	0.077	172	0	0	0.000	100.000
5	5	0.096	172	0	0	0.000	100.000
6	6	0.115	172	0	0	0.000	100.000
7	7	0.134	193	21	21	0.699	99.301
8	8	0.153	195	23	44	1.464	98.536
9	9	0.173	197	25	69	2.295	97.705
10	10	0.192	197	25	94	3.127	96.873
11	11	0.211	204	32	126	4.192	95.808
12	12	0.230	208	36	162	5.389	94.611
13	13	0.249	210	38	200	6.653	93.347
14	14	0.269	210	38	238	7.917	92.083
15	15	0.288	211	39	277	9.215	90.785
16	16	0.307	212	40	317	10.546	89.454
17	17	0.326	214	42	359	11.943	88.057
18	18	0.345	214	42	401	13.340	86.660
19	19	0.365	215	43	444	14.770	85.230
20	20	0.384	215	43	487	16.201	83.799
21	21	0.403	218	46	533	17.731	82.269
22	22	0.422	218	46	579	19.261	80.739
23	23	0.441	218	46	625	20.792	79.208
24	24	0.460	218	46	671	22.322	77.678
25	25	0.480	219	47	718	23.886	76.114
26	26	0.499	219	47	765	25.449	74.551
27	27	0.518	220	48	813	27.046	72.954
28	28	0.537	221	49	862	28.676	71.324
29	29	0.556	221	49	911	30.306	69.694
30	30	0.576	223	51	962	32.003	67.997
31	31	0.595	223	51	1013	33.699	66.301
32	32	0.614	223	51	1064	35.396	64.604
33	33	0.633	223	51	1115	37.092	62.908
34	34	0.652	224	52	1167	38.822	61.178
35	35	0.672	224	52	1219	40.552	59.448
36	36	0.691	224	52	1271	42.282	57.718
37	37	0.710	225	53	1324	44.045	55.955
38	38	0.729	225	53	1377	45.808	54.192
39	39	0.748	225	53	1430	47.572	52.428
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)

40	40	0.767	226	54	1484	49.368	50.632
41	41	0.787	226	54	1538	51.164	48.836
42	42	0.806	226	54	1592	52.961	47.039
43	43	0.825	227	55	1647	54.790	45.210
44	44	0.844	227	55	1702	56.620	43.380
45	45	0.863	227	55	1757	58.450	41.550
46	46	0.883	227	55	1812	60.279	39.721
47	47	0.902	227	55	1867	62.109	37.891
48	48	0.921	229	57	1924	64.005	35.995
49	49	0.940	228	56	1980	65.868	34.132
50	50	0.959	228	56	2036	67.731	32.269
51	51	0.979	228	56	2092	69.594	30.406
52	52	0.998	226	54	2146	71.391	28.609
53	53	1.017	226	54	2200	73.187	26.813
54	54	1.036	226	54	2254	74.983	25.017
55	55	1.055	226	54	2308	76.780	23.220
56	56	1.074	225	53	2361	78.543	21.457
57	57	1.094	225	53	2414	80.306	19.694
58	58	1.113	224	52	2466	82.036	17.964
59	59	1.132	224	52	2518	83.766	16.234
60	60	1.151	222	50	2568	85.429	14.571
61	61	1.170	221	49	2617	87.059	12.941
62	62	1.190	222	50	2667	88.723	11.277
63	63	1.209	220	48	2715	90.319	9.681
64	68	1.305	216	44	2759	91.783	8.217
65	73	1.401	213	41	2800	93.147	6.853
66	78	1.497	207	35	2835	94.311	5.689
67	83	1.592	204	32	2867	95.376	4.624
68	88	1.688	200	28	2895	96.307	3.693
69	93	1.784	196	24	2919	97.106	2.894
70	98	1.880	192	20	2939	97.771	2.229
71	103	1.976	190	18	2957	98.370	1.630
72	108	2.072	186	14	2971	98.836	1.164
73	113	2.168	183	11	2982	99.202	0.798
74	118	2.264	180	8	2990	99.468	0.532
75	123	2.360	178	6	2996	99.667	0.333
76	128	2.456	177	5	3001	99.834	0.166
77	133	2.552	175	3	3004	99.933	0.067
78	138	2.648	174	2	3006	100.000	0.000
79	143	2.744	172	0	3006	100.000	0.000
80	148	2.840	172	0	3006	100.000	0.000

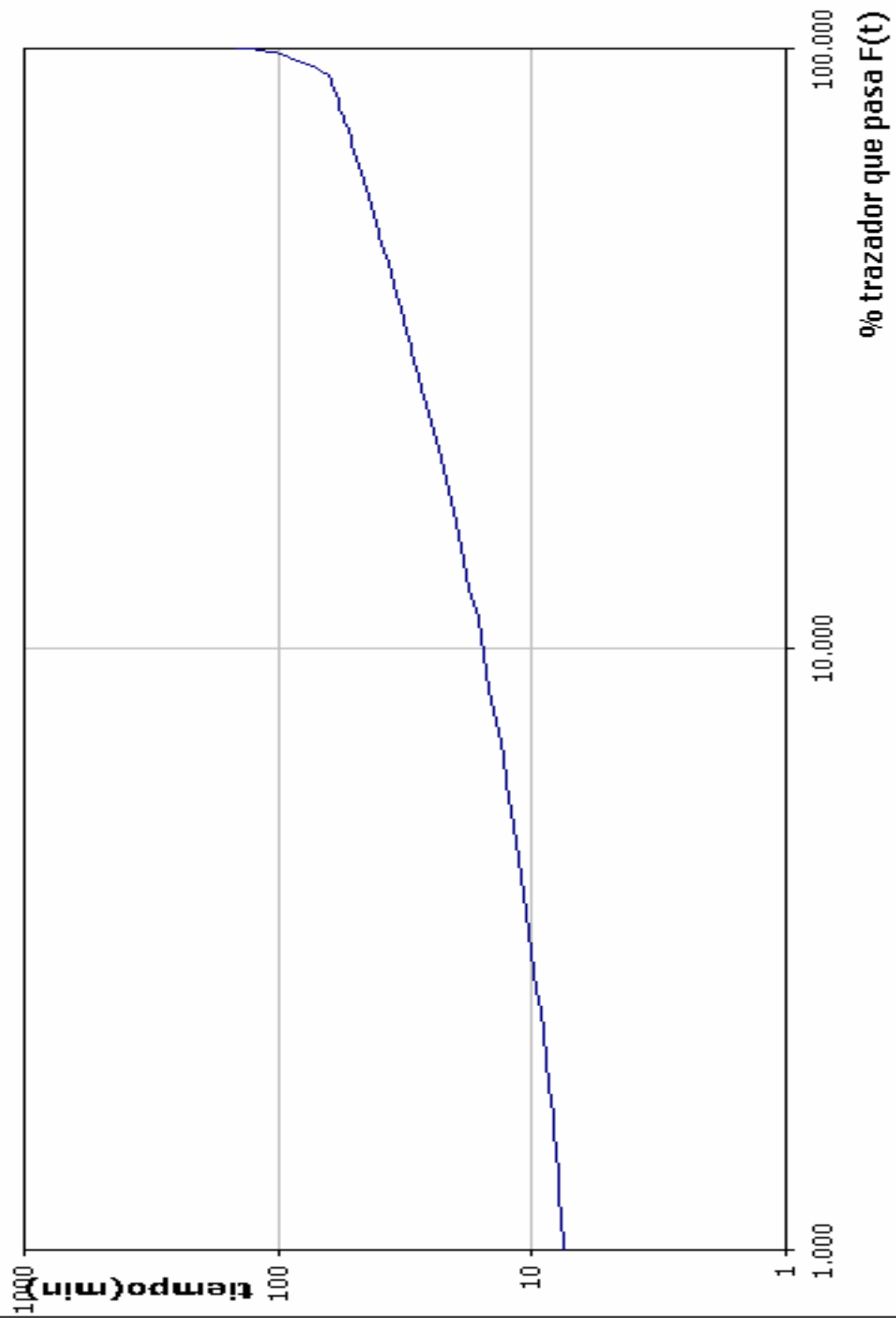
**ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO WOLF-RESNICK
FLOCULADOR 1**



ENSAYO CON TRAZADORES MÉTODO CONVENCIONAL
FLOCULADOR 1



ÍNDICE DE MORRIL. FLOCULADOR 1



ANEXO 27

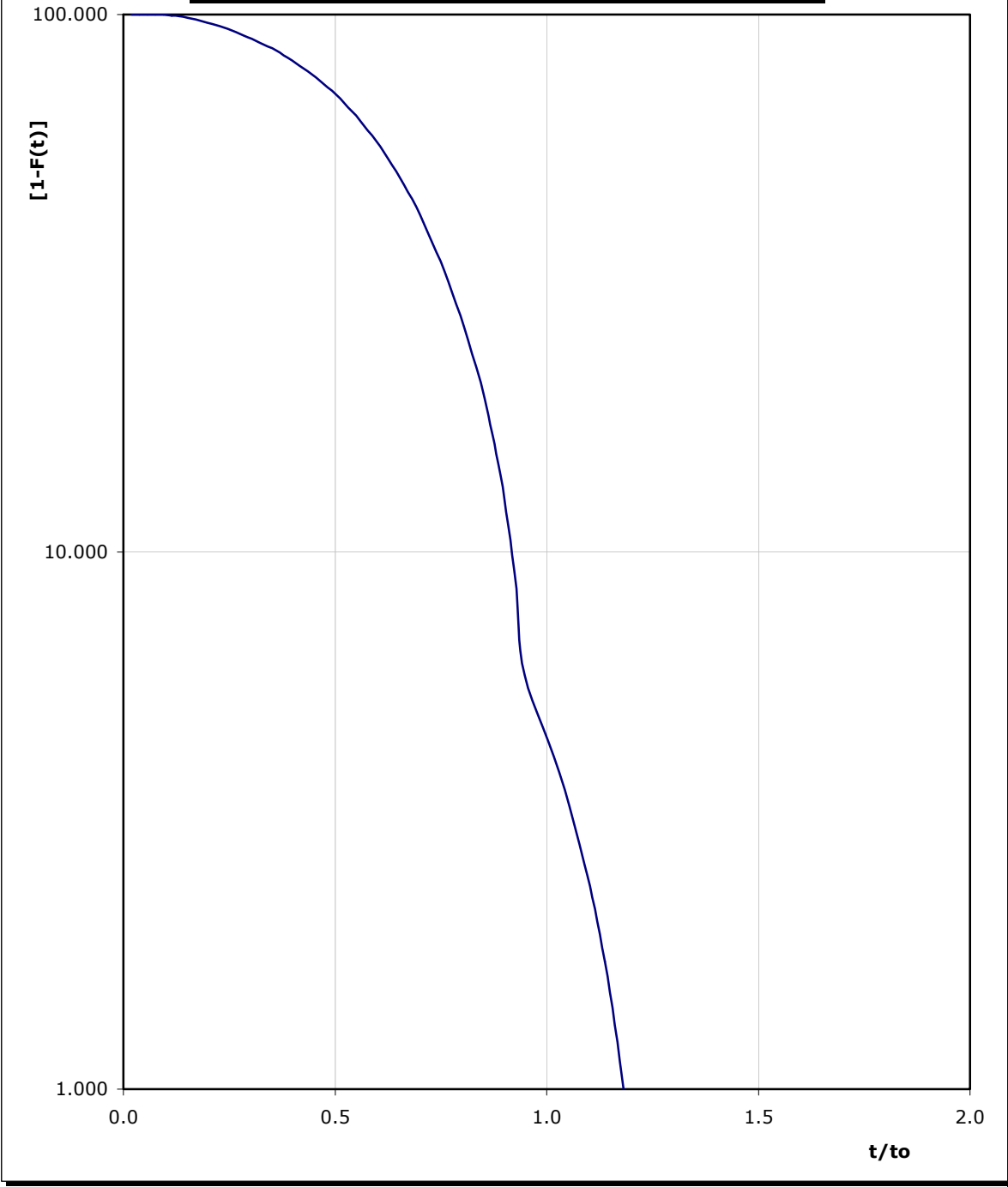
ENSAYO CON TRAZADORES. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL FLOCULADOR 2.

RESULTADO PRUEBA DE TRAZADORES FLOCULADOR 2.

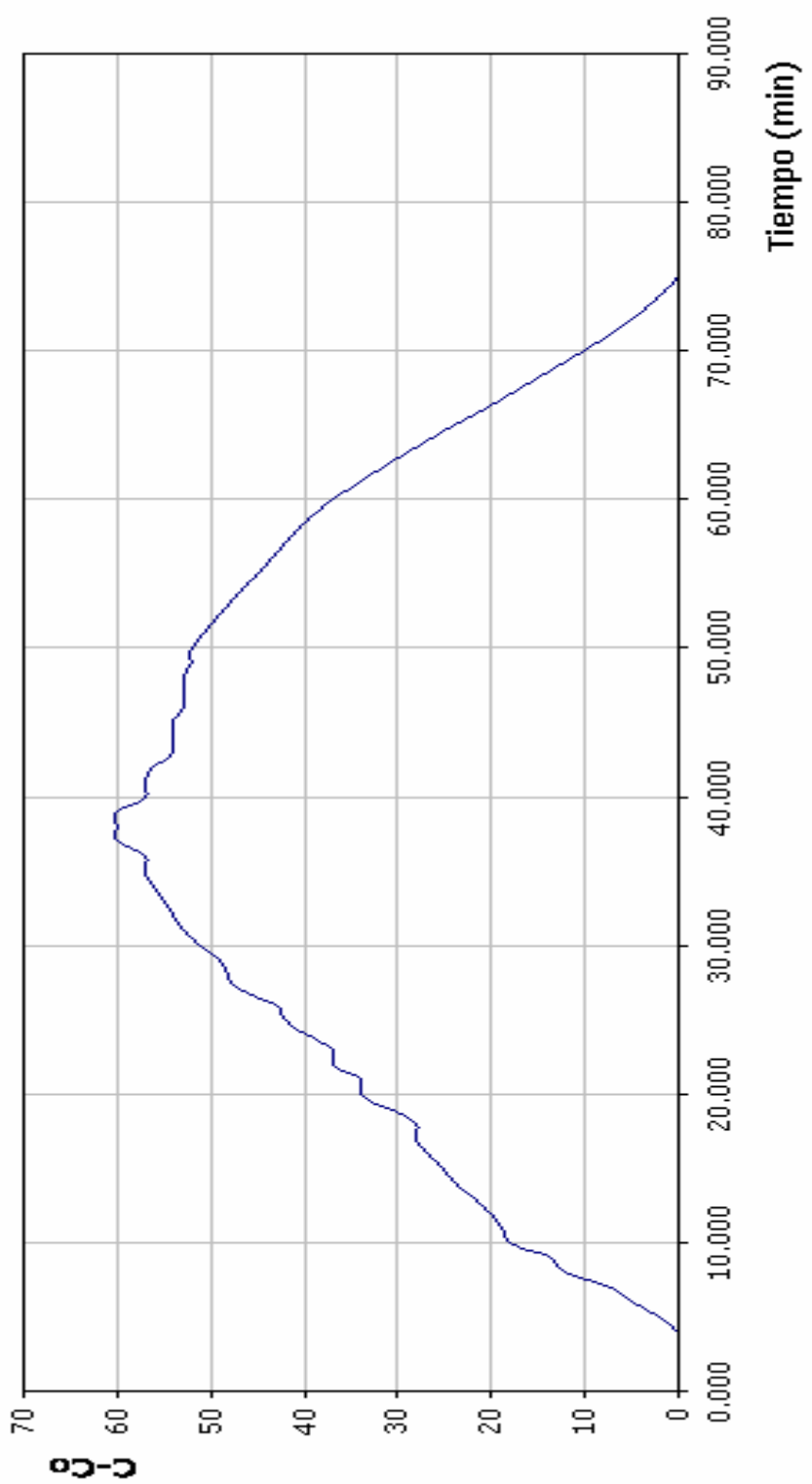
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	ΣC-Co	F(t)	1-F(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1.000	0.019	153.000	0	0	0.000	100.000
2	2.000	0.038	153.000	0	0	0.000	100.000
3	3.000	0.057	153.000	0	0	0.000	100.000
4	4.000	0.076	153.000	0	0	0.000	100.000
5	5.000	0.095	155.000	2	2	0.102	99.898
6	6.000	0.114	158.000	5	7	0.356	99.644
7	7.000	0.133	160.000	7	14	0.712	99.288
8	8.000	0.152	165.000	12	26	1.322	98.678
9	9.000	0.171	167.000	14	40	2.034	97.966
10	10.000	0.190	171.000	18	58	2.949	97.051
11	11.000	0.208	172.000	19	77	3.915	96.085
12	12.000	0.227	173.000	20	97	4.931	95.069
13	13.000	0.246	175.000	22	119	6.050	93.950
14	14.000	0.265	177.000	24	143	7.270	92.730
15	15.000	0.284	178.000	25	168	8.541	91.459
16	16.000	0.303	180.000	27	195	9.914	90.086
17	17.000	0.322	181.000	28	223	11.337	88.663
18	18.000	0.341	181.000	28	251	12.761	87.239
19	19.000	0.360	184.000	31	282	14.337	85.663
20	20.000	0.379	187.000	34	316	16.065	83.935
21	21.000	0.398	187.000	34	350	17.794	82.206
22	22.000	0.417	190.000	37	387	19.675	80.325
23	23.000	0.436	190.000	37	424	21.556	78.444
24	24.000	0.455	193.000	40	464	23.589	76.411
25	25.000	0.474	195.000	42	506	25.724	74.276
26	26.000	0.493	196.000	43	549	27.911	72.089
27	27.000	0.512	200.000	47	596	30.300	69.700
28	28.000	0.531	201.000	48	644	32.740	67.260
29	29.000	0.550	202.000	49	693	35.231	64.769
30	30.000	0.569	204.000	51	744	37.824	62.176
31	31.000	0.588	206.000	53	797	40.519	59.481
32	32.000	0.607	207.000	54	851	43.264	56.736
33	33.000	0.625	208.000	55	906	46.060	53.940
34	34.000	0.644	209.000	56	962	48.907	51.093
35	35.000	0.663	210.000	57	1019	51.805	48.195
36	36.000	0.682	210.000	57	1076	54.703	45.297
37	37.000	0.701	213.000	60	1136	57.753	42.247
38	38.000	0.720	213.000	60	1196	60.803	39.197
39	39.000	0.739	213.000	60	1256	63.854	36.146
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	ΣC-Co	F(t)	1-F(t)
40	40.000	0.758	210.000	57	1313	66.751	33.249
41	41.000	0.777	210.000	57	1370	69.649	30.351
42	42.000	0.796	209.000	56	1426	72.496	27.504

43	43.000	0.815	207.000	54	1480	75.241	24.759
44	44.000	0.834	207.000	54	1534	77.987	22.013
45	45.000	0.853	207.000	54	1588	80.732	19.268
46	46.000	0.872	206.000	53	1641	83.427	16.573
47	47.000	0.891	206.000	53	1694	86.121	13.879
48	48.000	0.910	206.000	53	1747	88.815	11.185
49	49.000	0.929	205.000	52	1799	91.459	8.541
50	50.000	0.948	205.000	52	1851	94.103	5.897
51	55.000	1.042	198.000	45	1896	96.390	3.610
52	60.000	1.137	190.000	37	1933	98.271	1.729
53	65.000	1.232	177.000	24	1957	99.492	0.508
54	70.000	1.327	163.000	10	1967	100.000	0.000
55	75.000	1.422	153.000	0	1967	100.000	0.000
56	80.000	1.516	153.000	0	1967	100.000	0.000

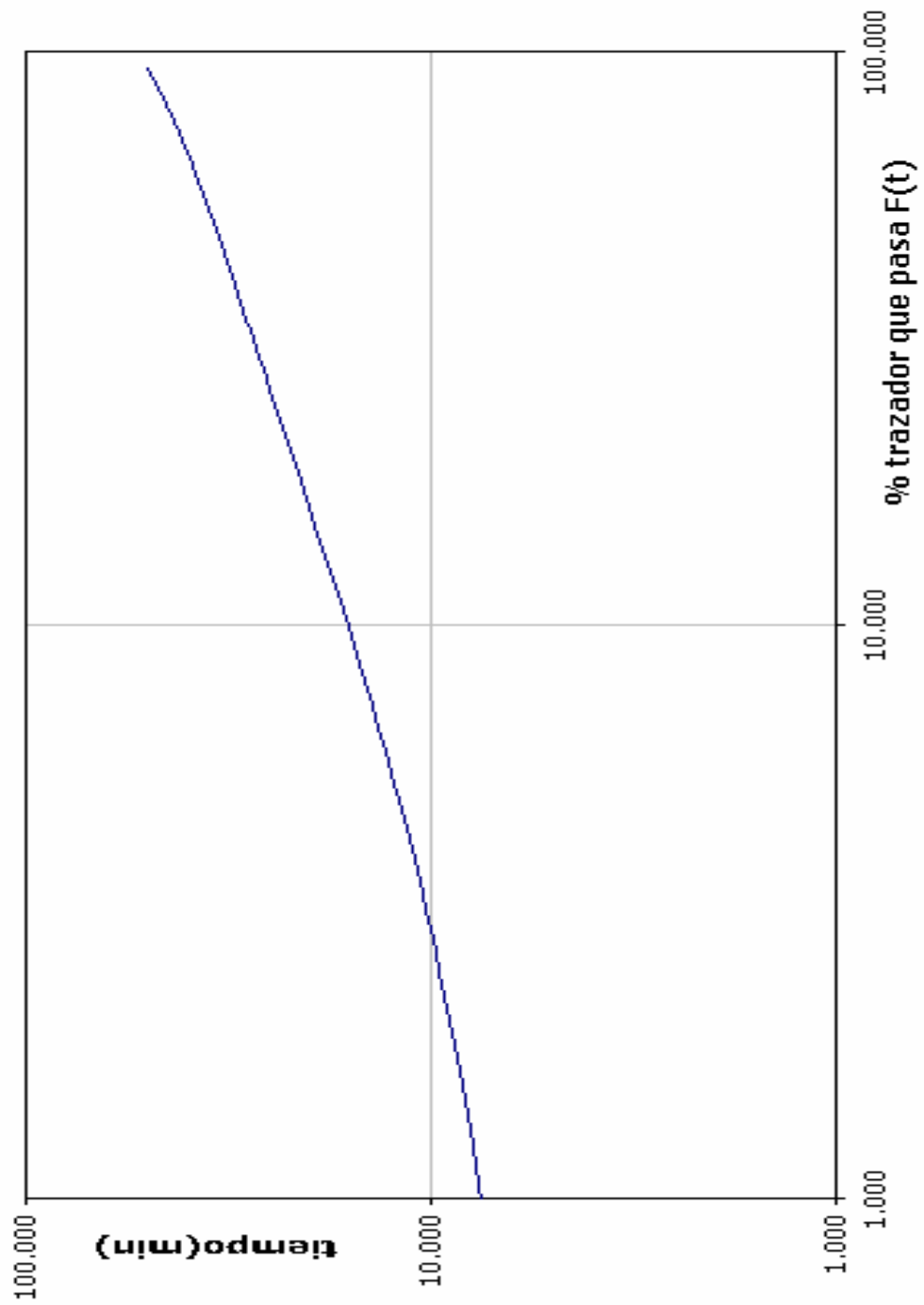
**ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO WOLF-RESNICK
FLOCULADOR 2**



ENSAYO CON TRAZADORES, MÉTODO CONVENCIONAL
FLOCULADOR 2



ÍNDICE DE MORRIL. FLOCULADOR 2



ANEXO 28

ENSAYO CON TRAZADORES. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL FLOCULADOR 3.

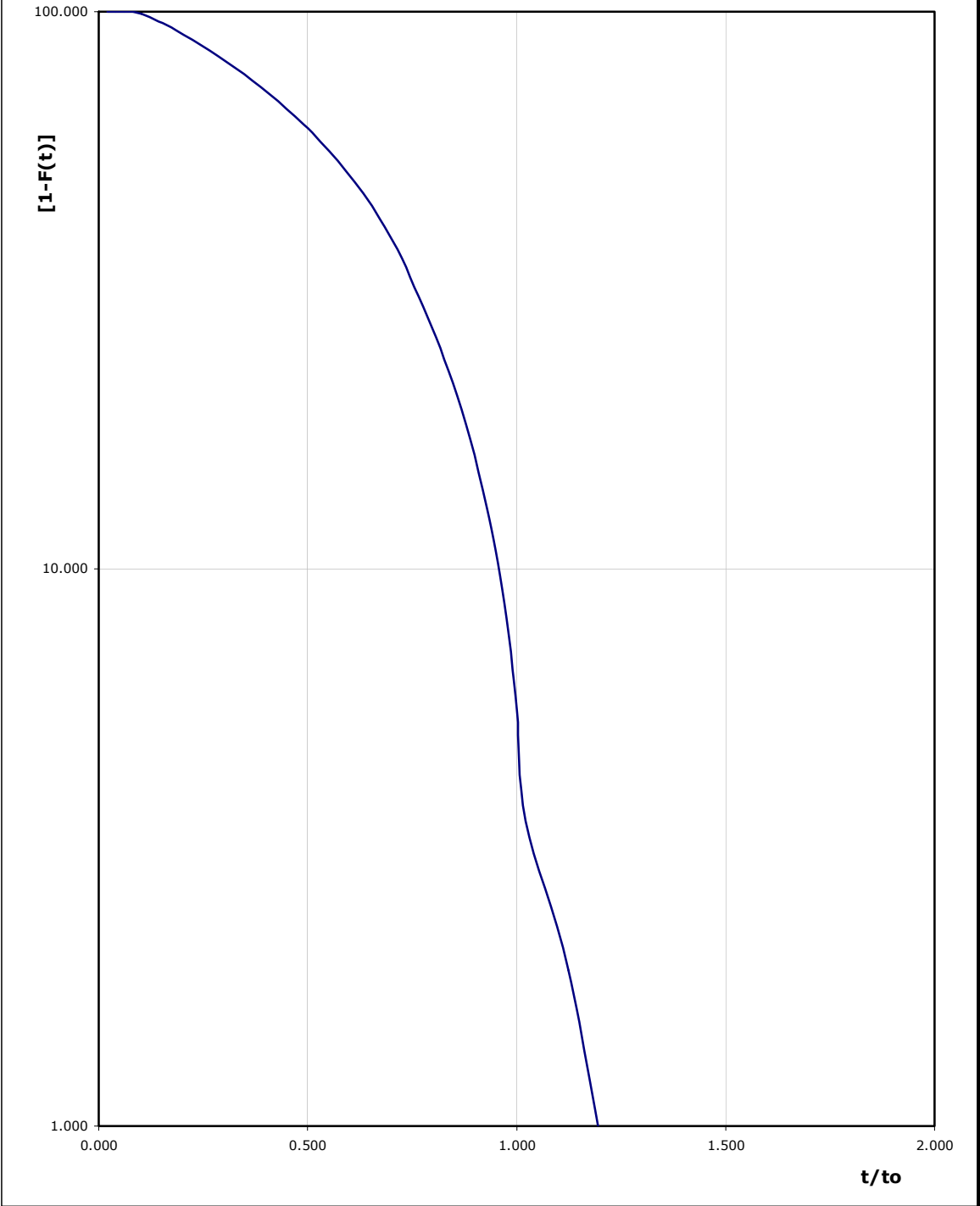
RESULTADO PRUEBA DE TRAZADORES FLOCULADOR 3

N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1	0.020	153	0	0	0.000	100.000
2	2	0.041	153	0	0	0.000	100.000
3	3	0.061	153	0	0	0.000	100.000
4	4	0.082	153	0	0	0.000	100.000
5	5	0.102	171	18	18	0.836	99.164
6	6	0.123	185	32	50	2.321	97.679
7	7	0.143	187	34	84	3.900	96.100
8	8	0.163	188	35	119	5.525	94.475
9	9	0.184	191	38	157	7.289	92.711

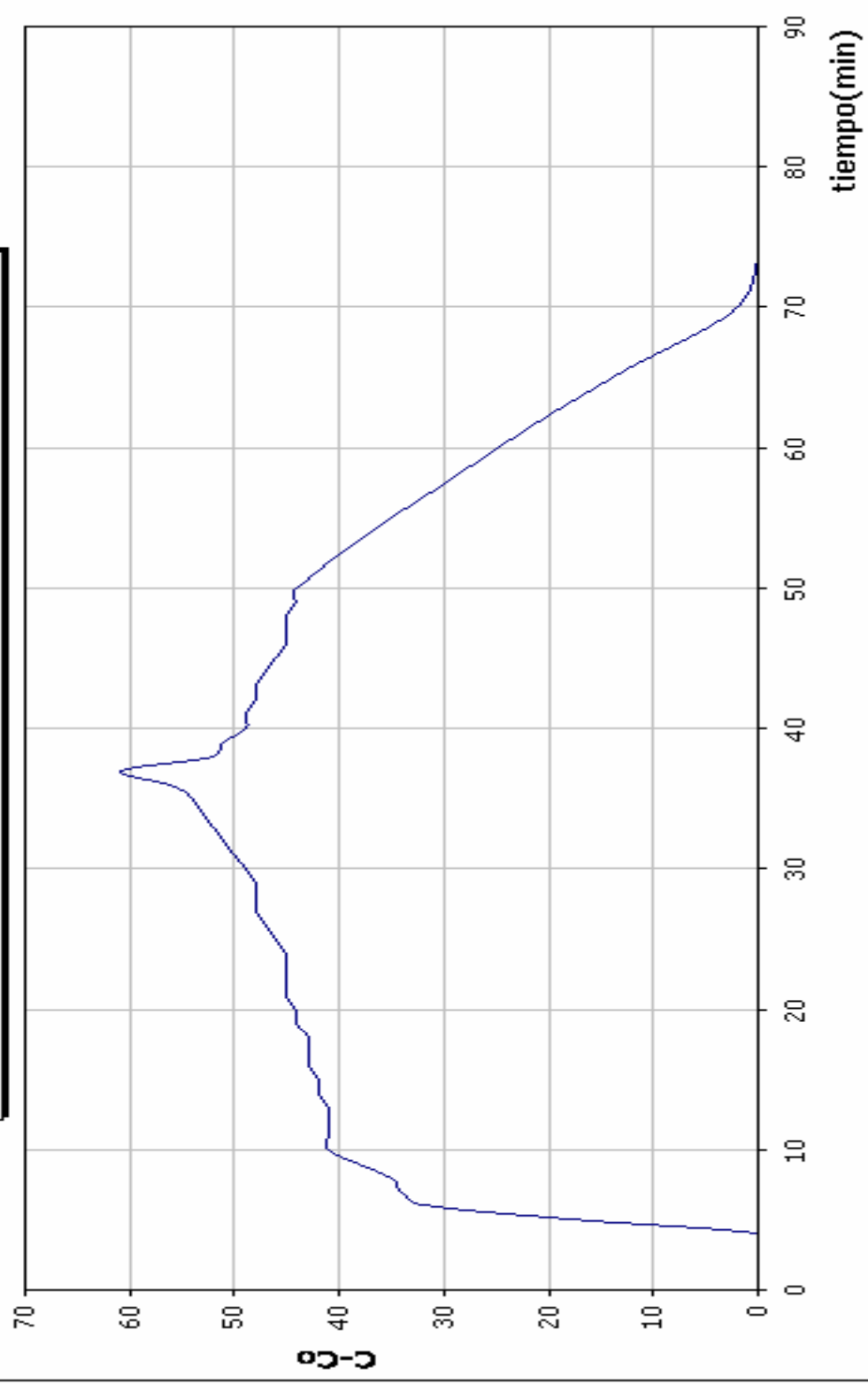
10	10	0.204	194	41	198	9.192	90.808
11	11	0.225	194	41	239	11.096	88.904
12	12	0.245	194	41	280	12.999	87.001
13	13	0.266	194	41	321	14.903	85.097
14	14	0.286	195	42	363	16.852	83.148
15	15	0.306	195	42	405	18.802	81.198
16	16	0.327	196	43	448	20.799	79.201
17	17	0.347	196	43	491	22.795	77.205
18	18	0.368	196	43	534	24.791	75.209
19	19	0.388	197	44	578	26.834	73.166
20	20	0.409	197	44	622	28.877	71.123
21	21	0.429	198	45	667	30.966	69.034
22	22	0.449	198	45	712	33.055	66.945
23	23	0.470	198	45	757	35.144	64.856
24	24	0.490	198	45	802	37.233	62.767
25	25	0.511	199	46	848	39.369	60.631
26	26	0.531	200	47	895	41.551	58.449
27	27	0.552	201	48	943	43.779	56.221
28	28	0.572	201	48	991	46.007	53.993
29	29	0.592	201	48	1039	48.236	51.764
30	30	0.613	202	49	1088	50.511	49.489
31	31	0.633	203	50	1138	52.832	47.168
32	32	0.654	204	51	1189	55.200	44.800
33	33	0.674	205	52	1241	57.614	42.386
34	34	0.695	206	53	1294	60.074	39.926
35	35	0.715	207	54	1348	62.581	37.419
36	36	0.735	209	56	1404	65.181	34.819
37	37	0.756	214	61	1465	68.013	31.987
38	38	0.776	205	52	1517	70.427	29.573
39	39	0.797	204	51	1568	72.795	27.205
N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(Ω)	C-Co	ΣC-Co	F(t)	1-F(t)
40	40	0.817	202	49	1617	75.070	24.930
41	41	0.838	202	49	1666	77.344	22.656
42	42	0.858	201	48	1714	79.573	20.427
43	43	0.878	201	48	1762	81.801	18.199
44	44	0.899	200	47	1809	83.983	16.017
45	45	0.919	199	46	1855	86.119	13.881
46	46	0.940	198	45	1900	88.208	11.792
47	47	0.960	198	45	1945	90.297	9.703
48	48	0.981	198	45	1990	92.386	7.614
49	49	1.001	197	44	2034	94.429	5.571
50	50	1.021	197	44	2078	96.472	3.528
51	55	1.124	188	35	2113	98.097	1.903
52	60	1.226	178	25	2138	99.257	0.743
53	65	1.328	167	14	2152	99.907	0.093
54	70	1.430	155	2	2154	100.000	0.000
55	75	1.532	153	0	2154	100.000	0.000

56	80	1.634	153	0	2154	100.000	0.000
----	----	-------	-----	---	------	---------	-------

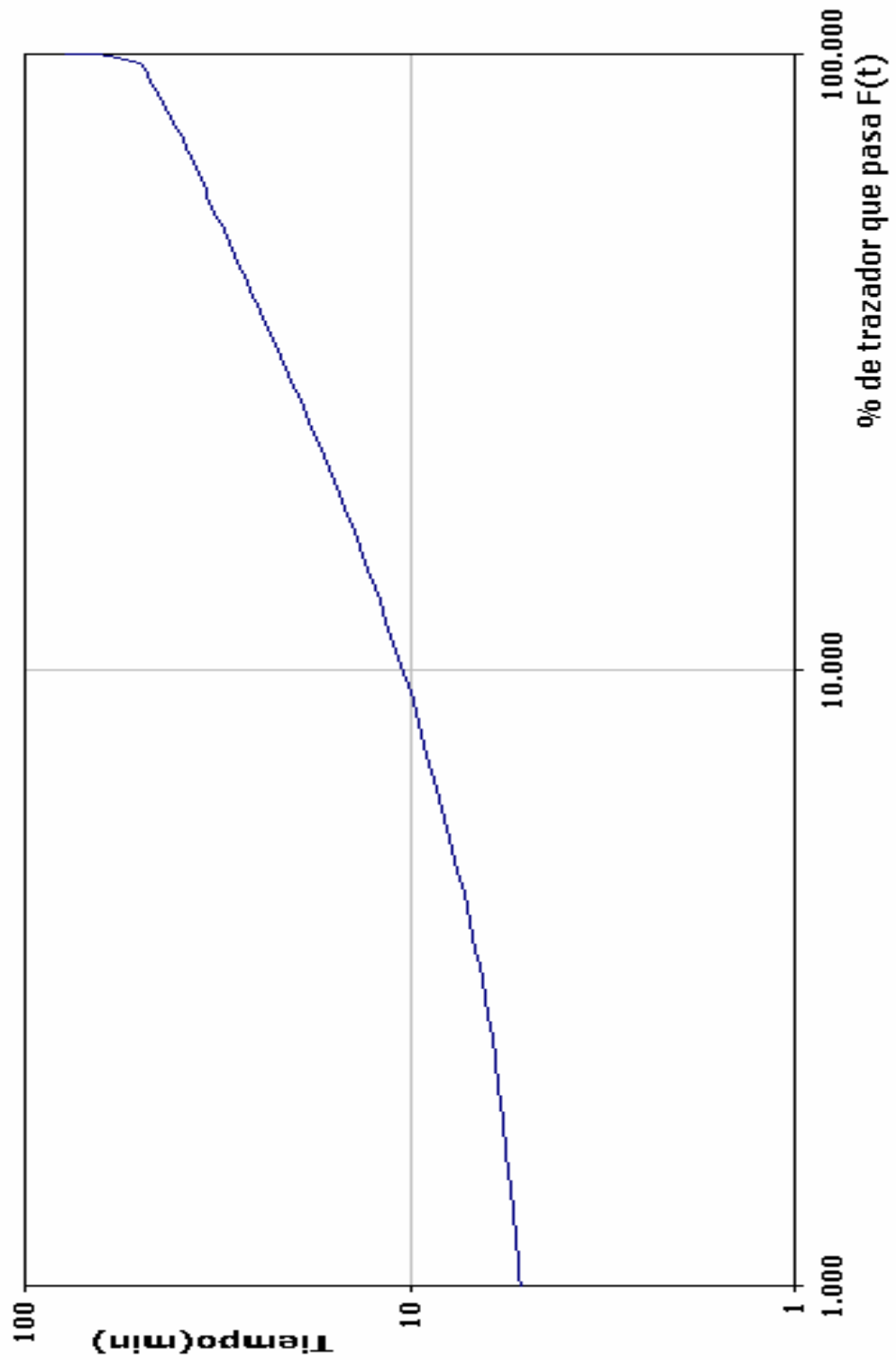
**ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO WOLF-RESNICK
FLOCULADOR 3**



ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO CONVENCIONAL
FLOCULADOR 3



ÍNDICE DE MORRIL. FLOCULADOR 3



ANEXO 29

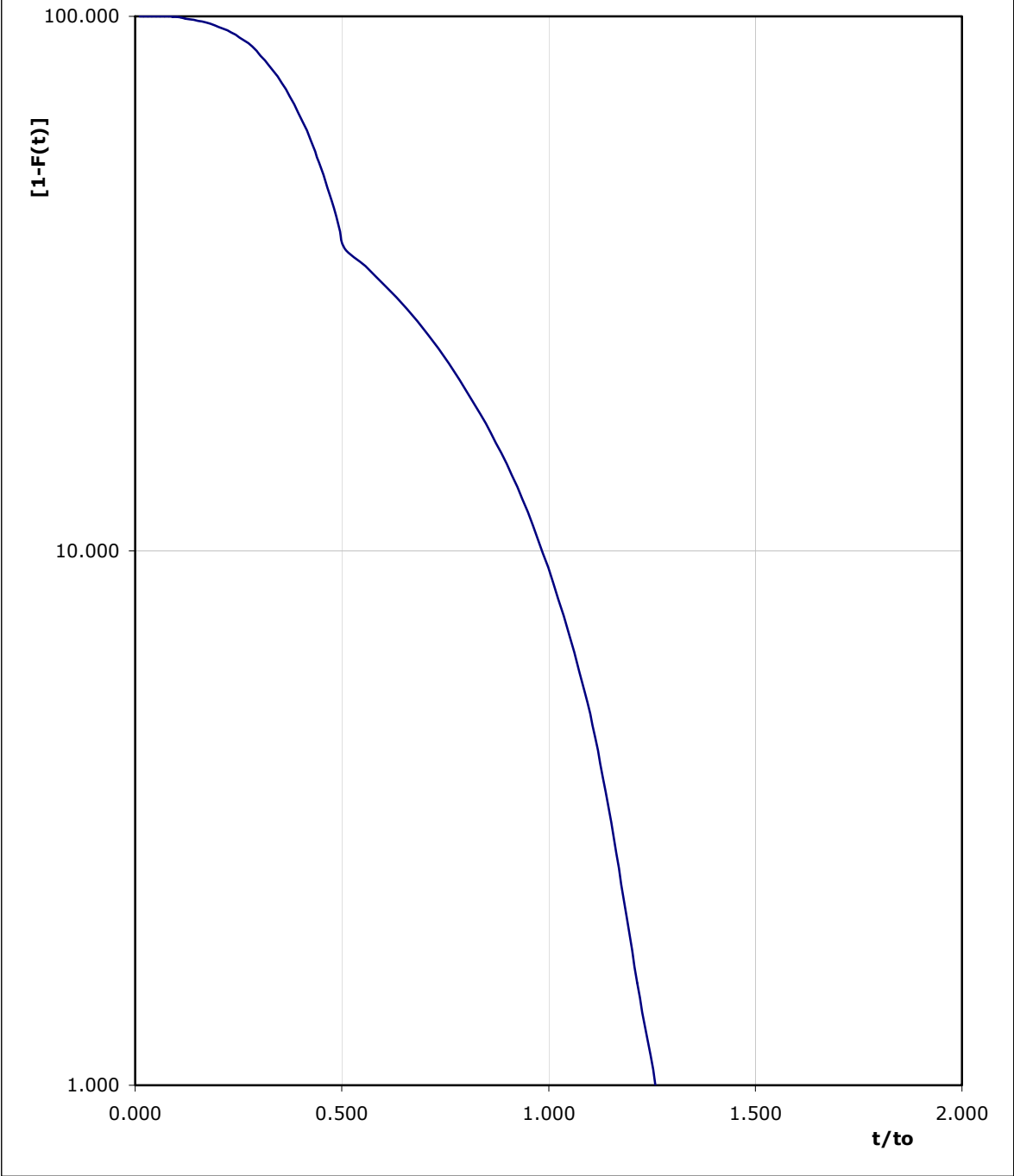
ENSAYO CON TRAZADORES. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL FLOCULADOR 4.

RESULTADO PRUEBA CON TRAZADORES FLOCULADOR 4.

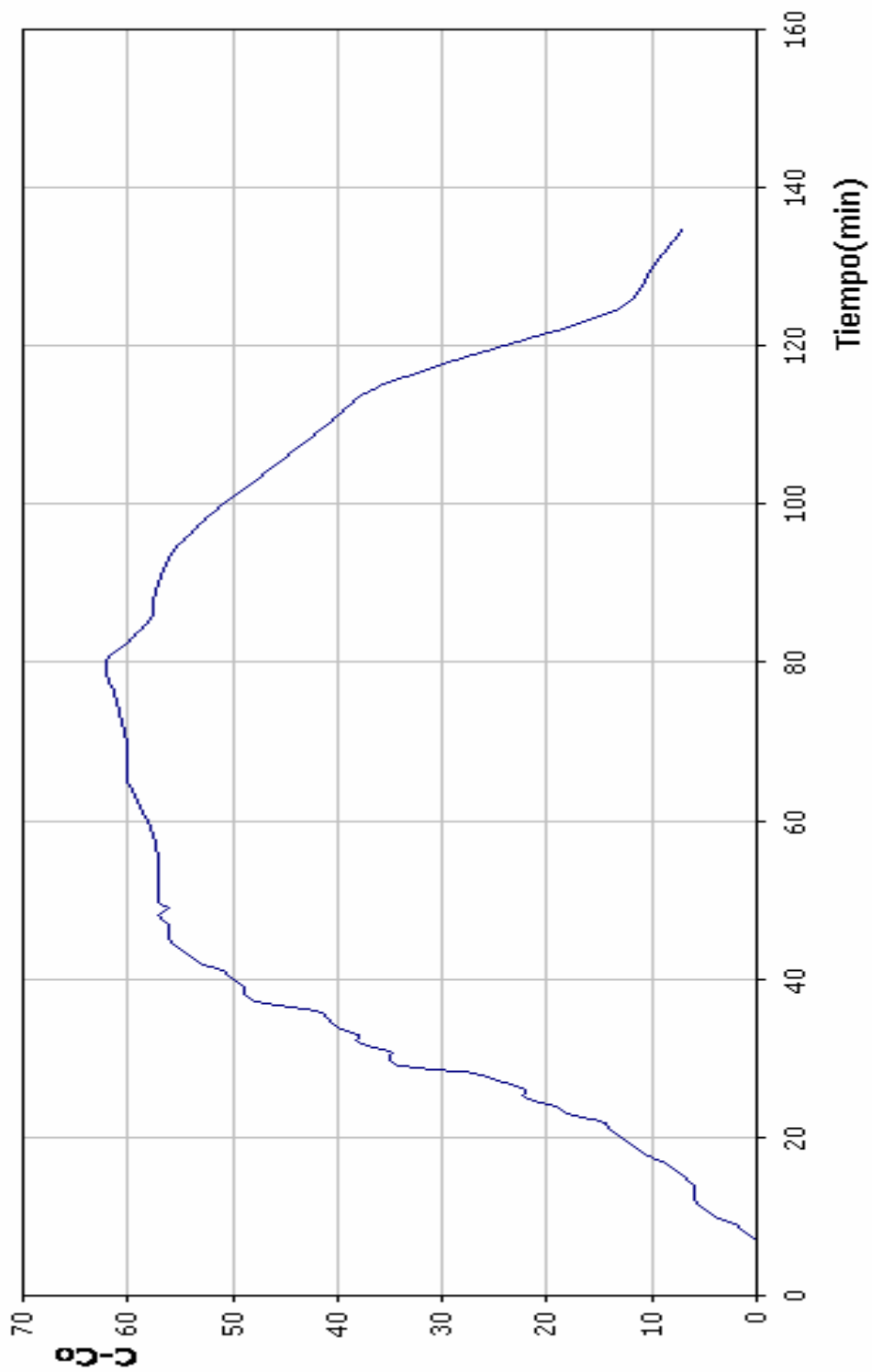
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1	0.010	153	0	0	0.000	100.000
2	2	0.020	153	0	0	0.000	100.000
3	3	0.030	153	0	0	0.000	100.000
4	4	0.040	153	0	0	0.000	100.000
5	5	0.051	153	0	0	0.000	100.000
6	6	0.061	153	0	0	0.000	100.000
7	7	0.071	153	0	0	0.000	100.000
8	8	0.081	154	1	1	0.049	99.951
9	9	0.091	155	2	3	0.146	99.854
10	10	0.101	157	4	7	0.340	99.660
11	11	0.111	158	5	12	0.583	99.417
12	12	0.121	159	6	18	0.875	99.125
13	13	0.132	159	6	24	1.166	98.834
14	14	0.142	159	6	30	1.458	98.542
15	15	0.152	160	7	37	1.798	98.202
16	16	0.162	161	8	45	2.187	97.813
17	17	0.172	162	9	54	2.624	97.376
18	18	0.182	164	11	65	3.158	96.842
19	19	0.192	165	12	77	3.741	96.259
20	20	0.202	166	13	90	4.373	95.627
21	21	0.213	167	14	104	5.053	94.947
22	22	0.223	168	15	119	5.782	94.218
23	23	0.233	171	18	137	6.657	93.343
24	24	0.243	172	19	156	7.580	92.420
25	25	0.253	175	22	178	8.649	91.351
26	26	0.263	175	22	200	9.718	90.282
27	27	0.273	177	24	224	10.884	89.116
28	28	0.283	180	27	251	12.196	87.804
29	29	0.293	187	34	285	13.848	86.152
30	30	0.304	188	35	320	15.549	84.451
31	31	0.314	188	35	355	17.250	82.750
32	32	0.324	191	38	393	19.096	80.904
33	33	0.334	191	38	431	20.943	79.057
34	34	0.344	193	40	471	22.886	77.114
35	35	0.354	194	41	512	24.879	75.121
36	36	0.364	195	42	554	26.919	73.081
37	37	0.374	200	47	601	29.203	70.797
38	38	0.385	202	49	650	31.584	68.416
39	39	0.395	202	49	699	33.965	66.035
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)

40	40	0.405	203	50	749	36.395	63.605
41	41	0.415	204	51	800	38.873	61.127
42	42	0.425	206	53	853	41.448	58.552
43	43	0.435	207	54	907	44.072	55.928
44	44	0.445	208	55	962	46.744	53.256
45	45	0.455	209	56	1018	49.466	50.534
46	46	0.465	209	56	1074	52.187	47.813
47	47	0.476	209	56	1130	54.908	45.092
48	48	0.486	210	57	1187	57.677	42.323
49	49	0.496	209	56	1243	60.398	39.602
50	50	0.506	210	57	1300	63.168	36.832
51	55	0.557	210	57	1357	65.938	34.062
52	60	0.607	211	58	1415	68.756	31.244
53	65	0.658	213	60	1475	71.672	28.328
54	70	0.708	213	60	1535	74.587	25.413
55	75	0.759	214	61	1596	77.551	22.449
56	80	0.810	215	62	1658	80.564	19.436
57	85	0.860	211	58	1716	83.382	16.618
58	90	0.911	210	57	1773	86.152	13.848
59	95	0.961	208	55	1828	88.824	11.176
60	100	1.012	204	51	1879	91.302	8.698
61	105	1.063	199	46	1925	93.537	6.463
62	110	1.113	194	41	1966	95.530	4.470
63	115	1.164	189	36	2002	97.279	2.721
64	120	1.214	177	24	2026	98.445	1.555
65	125	1.265	166	13	2039	99.077	0.923
66	130	1.316	163	10	2049	99.563	0.437
67	135	1.366	160	7	2056	99.903	0.097
68	140	1.417	155	2	2058	100.000	0.000
69	145	1.467	153	0	2058	100.000	0.000
70	150	1.518	153	0	2058	100.000	0.000

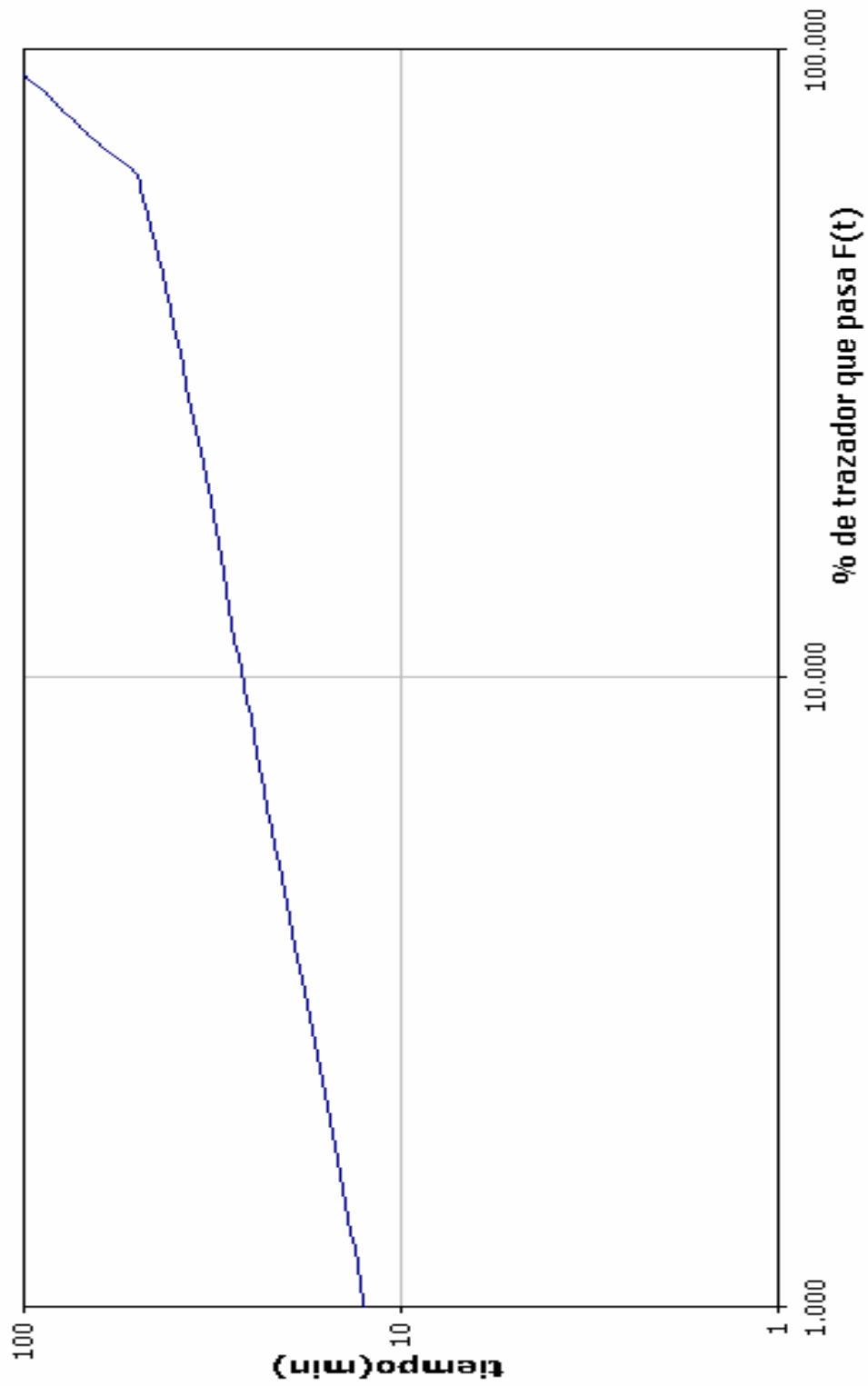
**ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO WOLF-RESNICK
FLOCULADOR 4**



ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO CONVENCIONAL
FLOCULADOR 4

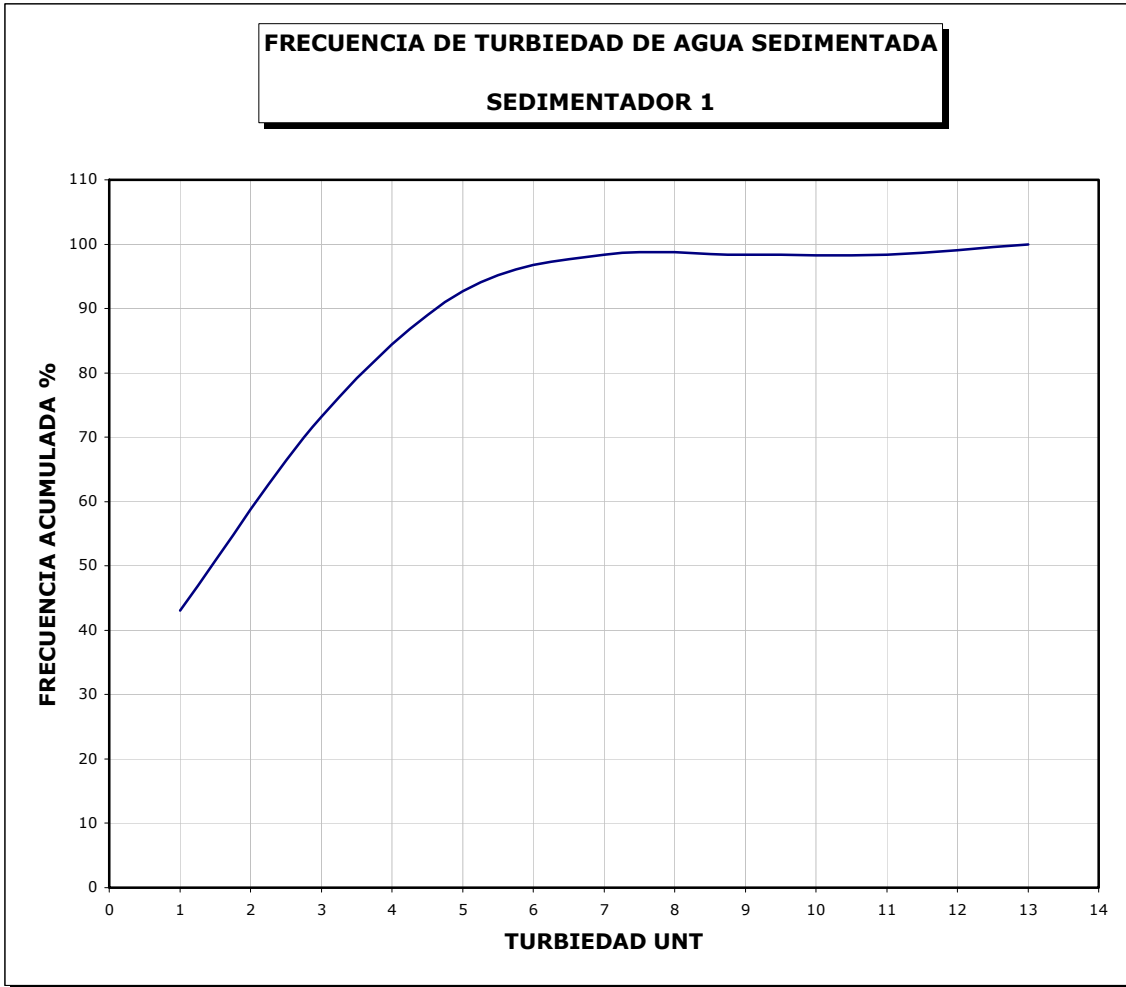


ÍNDICE DE MORRIL. FLOCULADOR 4



ANEXO 30

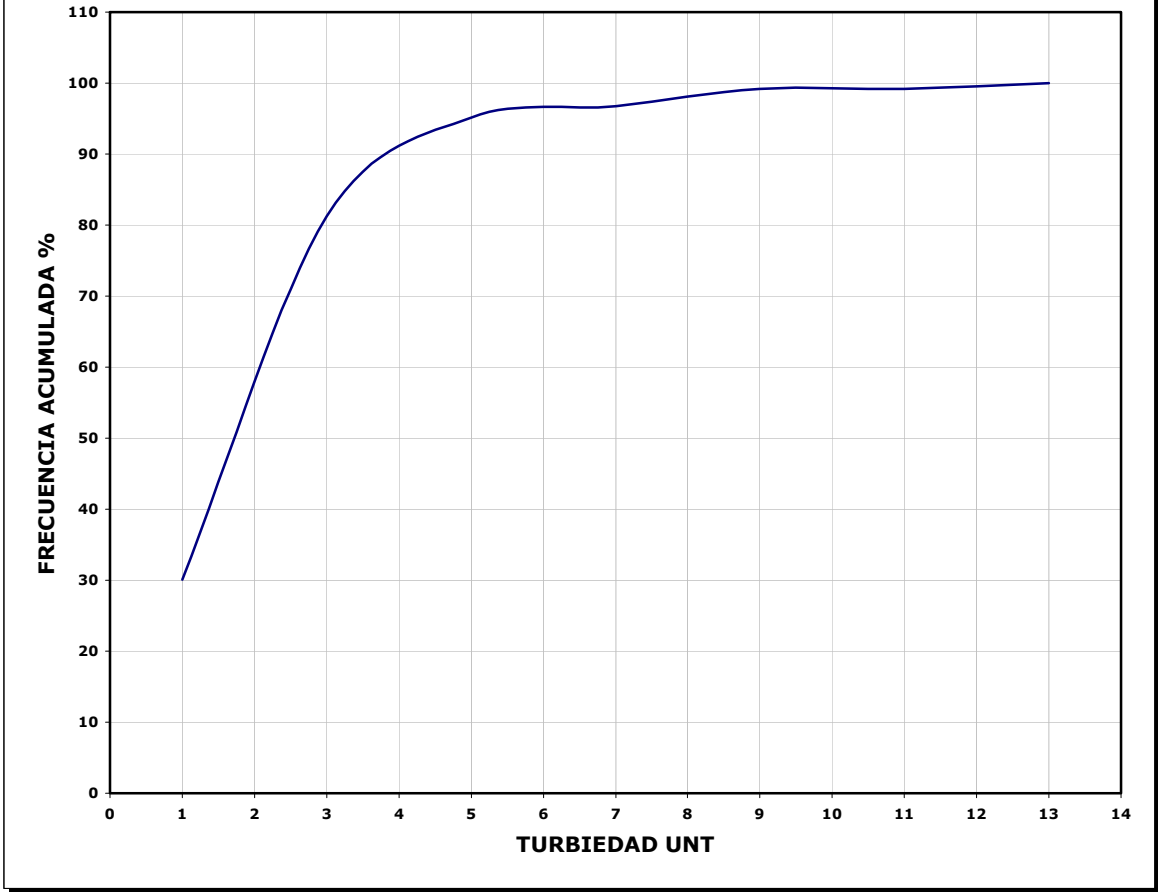
EFICIENCIA DE LOS SEDIMENTADORES EN FUNCIÓN DEL AGUA SEDIMENTADA.



CALIDAD DEL AGUA SEDIMENTADA
SEDIMENTADOR 1.

RANGO	P.M	FRECUENCIA		
		PARCIAL	ACUMULADA	%
0-1.99	1	53	53	43.08
2.0-3.99	3	37	90	73.17
4.0-5.99	5	24	114	92.68
6-7.99	7	7	121	98.37
8-9.99	9	0	121	98.37
10-11.99	11	0	121	98.37
12-13.99	13	2	123	100

FRECUENCIA DE TURBIEDAD DE AGUA SEDIMENTADA
SEDIMENTADOR 2

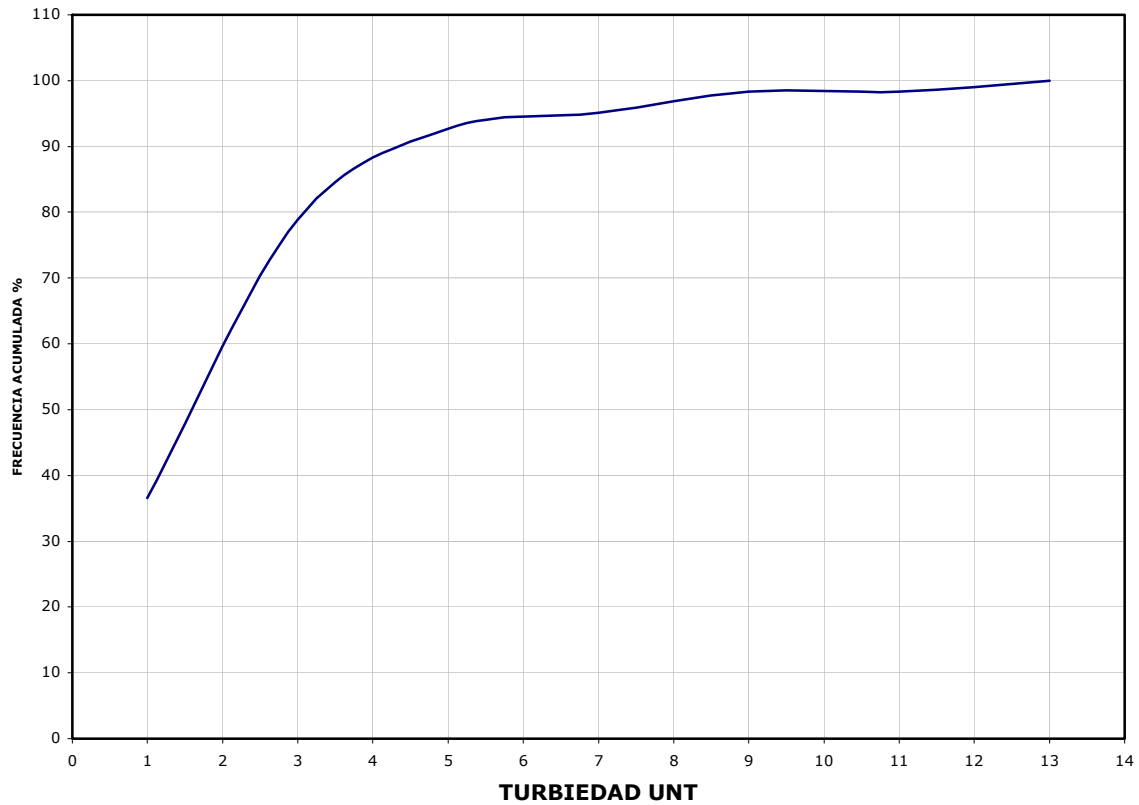


CALIDA DEL AGUA SEDIMENTADA. SEDIMENTADOR 2

RANGO	P.M	FRECUENCIA		
		PARCIAL	ACUMULADA	%
0-1.99	1	37	37	30.08
2.0-3.99	3	63	100	81.3
4.0-5.99	5	17	117	95.12
6-7.99	7	2	119	96.75
8-9.99	9	3	122	99.19
10-11.99	11	0	122	99.19
12-13.99	13	1	123	100

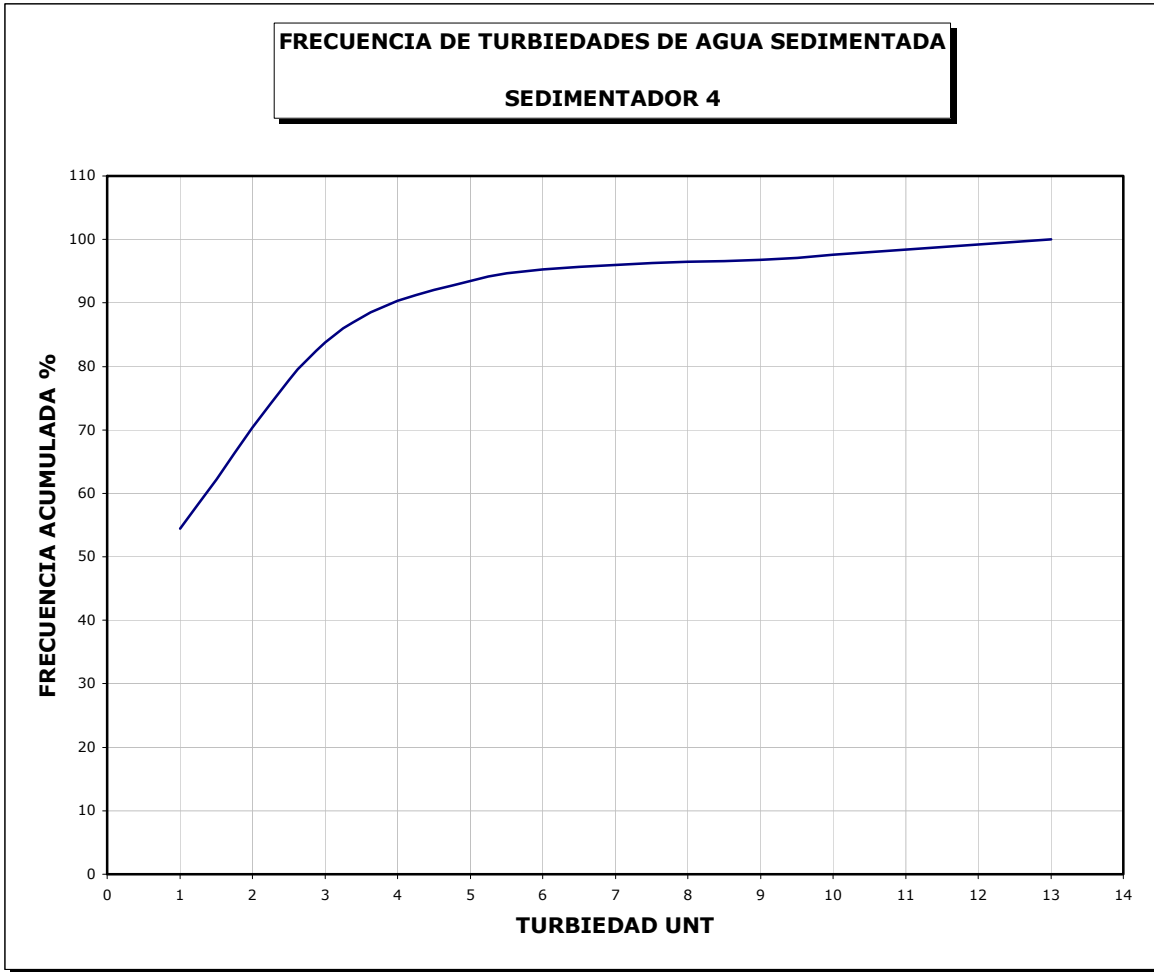
FRECUENCIA DE TURBIEDAD DE AGUA SEDIMENTADA.

SEDIMENTADOR 3



**CALIDAD DEL AGUA SEDIMENTADA.
SEDIMENTADOR 3**

RANGO	P.M	FRECUENCIA		
		PARCIAL	ACUMULADA	%
0-1.99	1	45	45	36.58
2.0-3.99	3	52	97	78.86
4.0-5.99	5	17	114	92.68
6-7.99	7	3	117	95.12
8-9.99	9	4	121	98.37
10-11.99	11	0	121	98.37
12-13.99	13	2	123	100



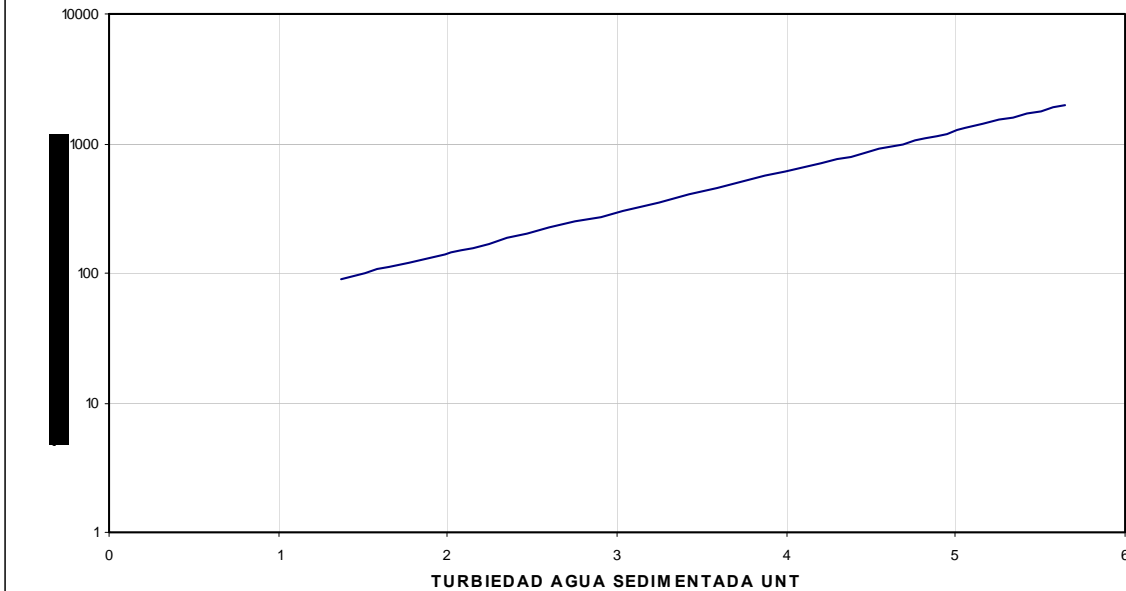
CALIDAD AGUA SEDIMENTADA.
SEDIMENTADOR 4

RANGO	P.M	FRECUENCIA		
		PARCIAL	ACUMULADA	%
0-1.99	1	67	67	54.47
2.0-3.99	3	36	103	83.74
4.0-5.99	5	12	115	93.5
6-7.99	7	3	118	95.93
8-9.99	9	1	119	96.75
10-11.99	11	2	121	98.37
12-13.99	13	2	123	100

ANEXO 31

EFICIENCIA DE LA SEDIMENTACIÓN EN FUNCIÓN DEL AGUA CRUDA.

EFICIENCIA DE LOS SEDIMENTADORES



TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA UNT		VALORES MEDIOS DE TURBIEDAD DE AGUA SEDIMENTADA UNT	LOG(T _{AC})
RANGO	P.M		
(1)	(2)	(3)	(4)
0-49.9	25	1.30	1.40
50-99.9	75	1.50	1.88
100-149.9	125	1.80	2.10
150-199.9	175	2.00	2.24
200-249.9	225	2.20	2.35
250-299.9	275	2.60	2.44
300-349.9	325	2.90	2.51
350-399.9	375	3.00	2.57
400-499.9	425	3.00	2.63
500-599.9	550	3.40	2.74
600-699.9	650	3.70	2.81
700-799.9	750	3.90	2.88
800-999.9	900	4.90	2.95
1000-1199.9	1100	5.80	3.04

ANEXO 32

ENSAYO DE JARRAS PARA MEDIR LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR DE PLACAS.

ENSAYO DE JARRAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN EN FUNCIÓN DEL PRETRATAMIENTO

1. Equipo de jarras

Volumen de las jarras : 2000 ml

2. Agua cruda

Turbiedad : 120 UNT Color : 396 UPC pH: 8.11 Alcalinidad : 58.2 mg/L CaCO₃

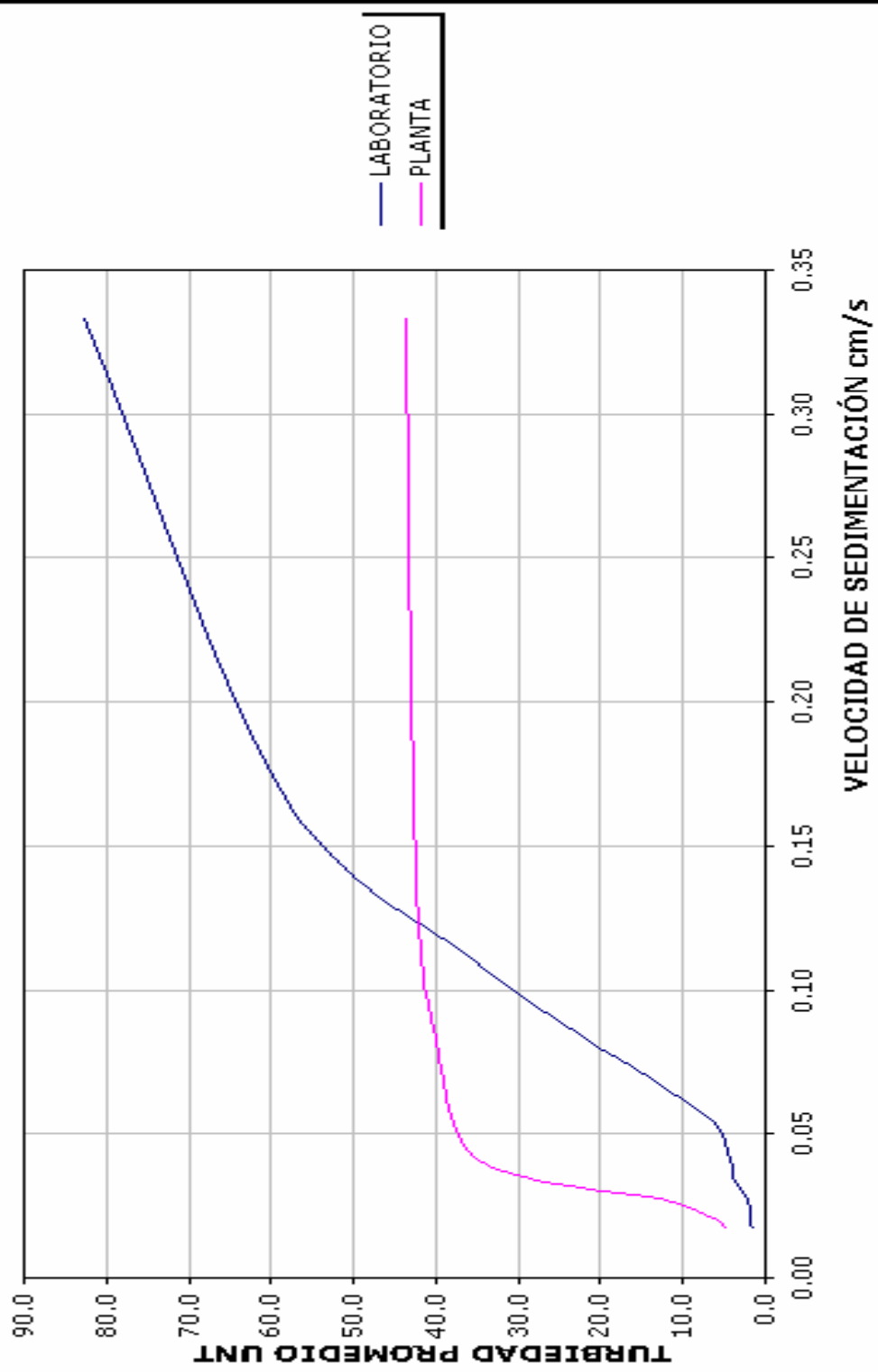
3. Dosis optima de coagulante

Coagulante Sulfato de aluminio : Sulfato de aluminio solución al 1 %

4. Sedimentación: predeterminada.

LABORATORIO						PLANTA LABORATORIO			
Dosis óptima: 35 ppm Velocidad: 90 rpm Tiempo: 80 seg Floculación Velocidad: 20 rpm Tiempo: 24 min						Coagulación-floculación: Planta Bosconia			
T _s	V _s	Muestra No.			Prom.	Muestra No.			Prom.
(s)	(cm/s)	1	2	3	UNT	1	2	3	UNT
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
30	0.33	93.0	72.0	83.0	82.7	46.0	44.0	41.0	43.7
60	0.17	65.0	60.0	50.0	58.3	44.0	43.0	41.0	42.7
90	0.11	40.0	37.0	30.0	35.7	43.0	42.0	40.0	41.7
120	0.08	25.0	23.0	18.0	22.0	42.0	40.0	38.0	40.0
180	0.06	9.4	7.4	4.5	7.1	40.0	38.0	36.0	38.0
240	0.04	5.0	3.9	4.3	4.4	38.0	35.0	32.0	35.0
300	0.03	3.9	3.2	3.5	3.5	28.0	27.0	26.0	27.0
360	0.03	2.5	2.4	1.7	2.2	15.0	12.0	11.0	12.7
480	0.02	2.3	2.0	1.5	1.9	7.0	6.6	4.6	6.1
600	0.02	1.9	1.5	1.2	1.5	6.5	4.6	3.5	4.9

INFLUENCIA DEL PRETRATAMIENTO EN LA SEDIMENTACIÓN



TURBIEDAD REMOVIDA DE ACUERDO A LA CARGA SUPERFICIAL					
To = 120 UNT					
q m/d	Vs cm/s	Co	Rt	Tr UNT	Tf UNT
20	0.023	0.012	0.9963	119.56	0.44
30	0.035	0.033	0.9999	119.99	0.01
40	0.046	0.060	0.9957	119.48	0.52
50	0.058	0.091	0.9868	118.42	1.58
60	0.069	0.126	0.9748	116.97	3.03
70	0.081	0.164	0.9601	115.21	4.79
80	0.093	0.205	0.9434	113.21	6.79
90	0.104	0.249	0.9251	111.01	8.99
100	0.116	0.294	0.9054	108.65	11.35
110	0.127	0.340	0.8849	106.19	13.81
120	0.139	0.387	0.8637	103.65	16.35
130	0.150	0.434	0.8423	101.07	18.93
140	0.162	0.479	0.8208	98.50	21.50
150	0.174	0.524	0.7997	95.96	24.04
160	0.185	0.567	0.7792	93.50	26.50
170	0.197	0.607	0.7596	91.15	28.85
180	0.208	0.644	0.7413	88.95	31.05

ANEXO 33

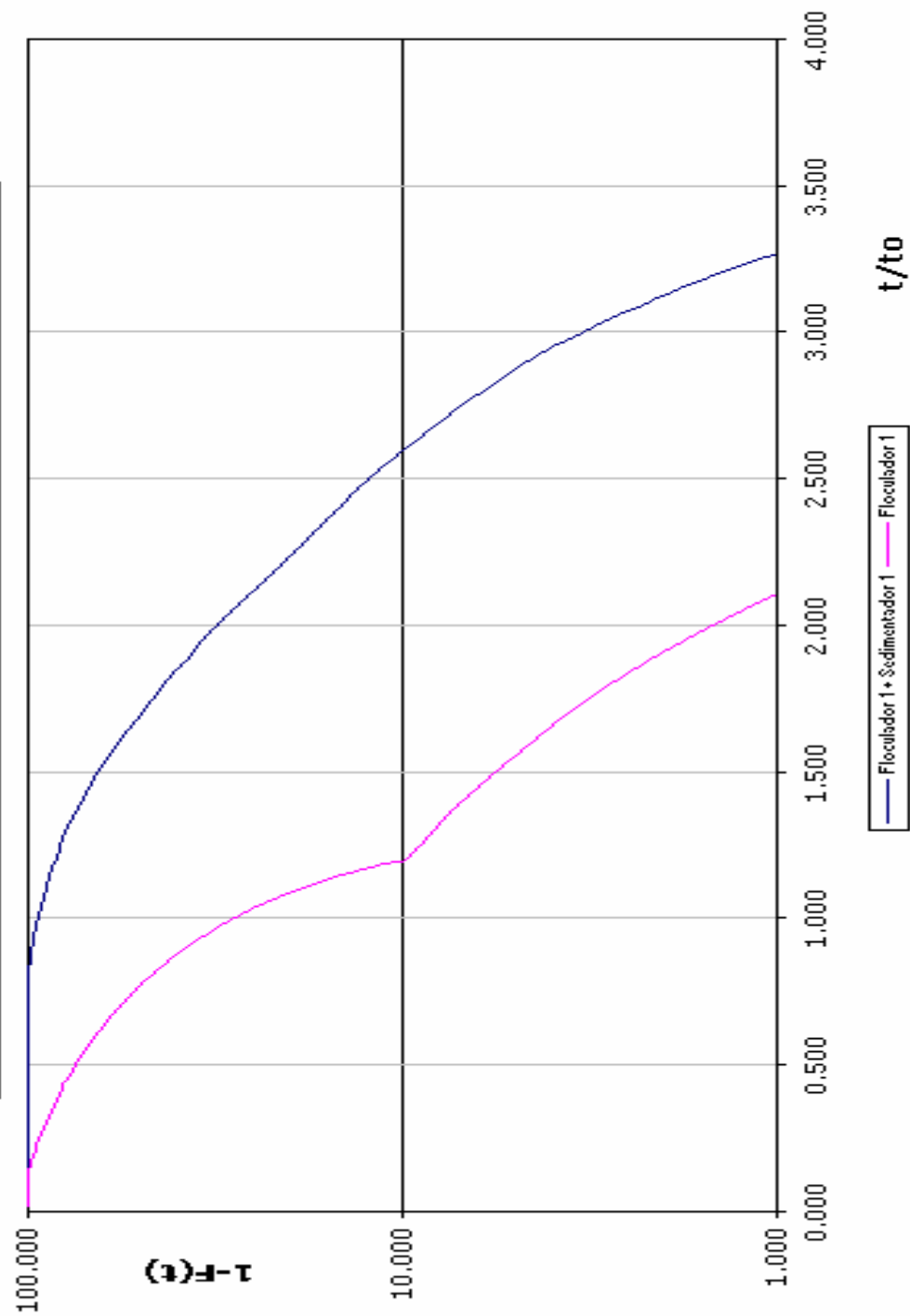
ENSAYO CON TRAZADORES. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL SEDIMENTADOR 1.

RESULTADOS PRUEBA TRAZADORES SEDIMENTADOR 1

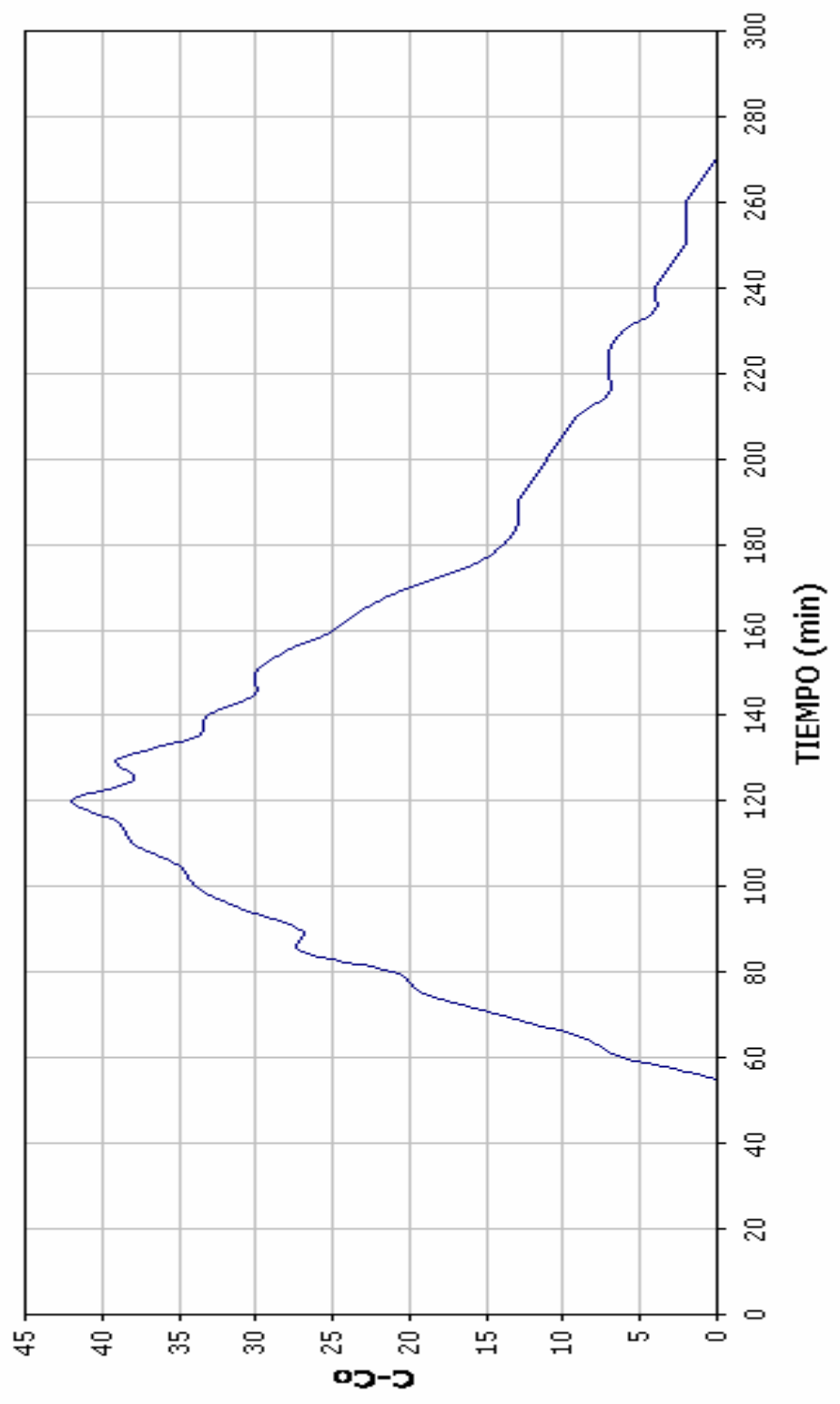
N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	5	0.067	172	0	0	0.000	100.000
2	10	0.134	172	0	0	0.000	100.000
3	15	0.201	172	0	0	0.000	100.000
4	20	0.269	172	0	0	0.000	100.000
5	25	0.336	172	0	0	0.000	100.000
6	30	0.403	172	0	0	0.000	100.000
7	35	0.470	172	0	0	0.000	100.000
8	40	0.537	172	0	0	0.000	100.000
9	45	0.604	172	0	0	0.000	100.000
10	50	0.672	172	0	0	0.000	100.000
11	55	0.739	172	0	0	0.000	100.000
12	60	0.806	178	6	6	0.764	99.236
13	65	0.873	181	9	15	1.911	98.089
14	70	0.940	186	14	29	3.694	96.306
15	75	1.007	191	19	48	6.115	93.885
16	80	1.074	193	21	69	8.790	91.210
17	85	1.142	199	27	96	12.229	87.771
18	90	1.209	199	27	123	15.669	84.331
19	95	1.276	203	31	154	19.618	80.382
20	100	1.343	206	34	188	23.949	76.051
21	105	1.410	207	35	223	28.408	71.592
22	110	1.477	210	38	261	33.248	66.752
23	115	1.544	211	39	300	38.217	61.783
24	120	1.612	214	42	342	43.567	56.433
25	125	1.679	210	38	380	48.408	51.592
26	130	1.746	211	39	419	53.376	46.624
27	135	1.813	206	34	453	57.707	42.293
28	140	1.880	205	33	486	61.911	38.089
29	145	1.947	202	30	516	65.732	34.268
30	150	2.015	202	30	546	69.554	30.446
31	155	2.082	200	28	574	73.121	26.879
32	160	2.149	197	25	599	76.306	23.694
33	165	2.216	195	23	622	79.236	20.764
34	170	2.283	192	20	642	81.783	18.217
35	175	2.350	188	16	658	83.822	16.178
36	180	2.417	186	14	672	85.605	14.395
37	185	2.485	185	13	685	87.261	12.739

N. Muestra	Tiempo(min)	T/To	C(Ω)	C-Co	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
38	190	2.552	185	13	698	88.917	11.083
39	195	2.619	184	12	710	90.446	9.554
40	200	2.686	183	11	721	91.847	8.153
41	205	2.753	182	10	731	93.121	6.879
42	210	2.820	181	9	740	94.268	5.732
43	215	2.888	179	7	747	95.159	4.841
44	220	2.955	179	7	754	96.051	3.949
45	225	3.022	179	7	761	96.943	3.057
46	230	3.089	178	6	767	97.707	2.293
47	235	3.156	176	4	771	98.217	1.783
48	240	3.223	176	4	775	98.726	1.274
49	245	3.290	175	3	778	99.108	0.892
50	250	3.358	174	2	780	99.363	0.637
51	255	3.425	174	2	782	99.618	0.382
52	260	3.492	174	2	784	99.873	0.127
53	265	3.559	173	1	785	100.000	0.000
54	270	3.626	172	0	785	100.000	0.000
55	275	3.693	172	0	785	100.000	0.000

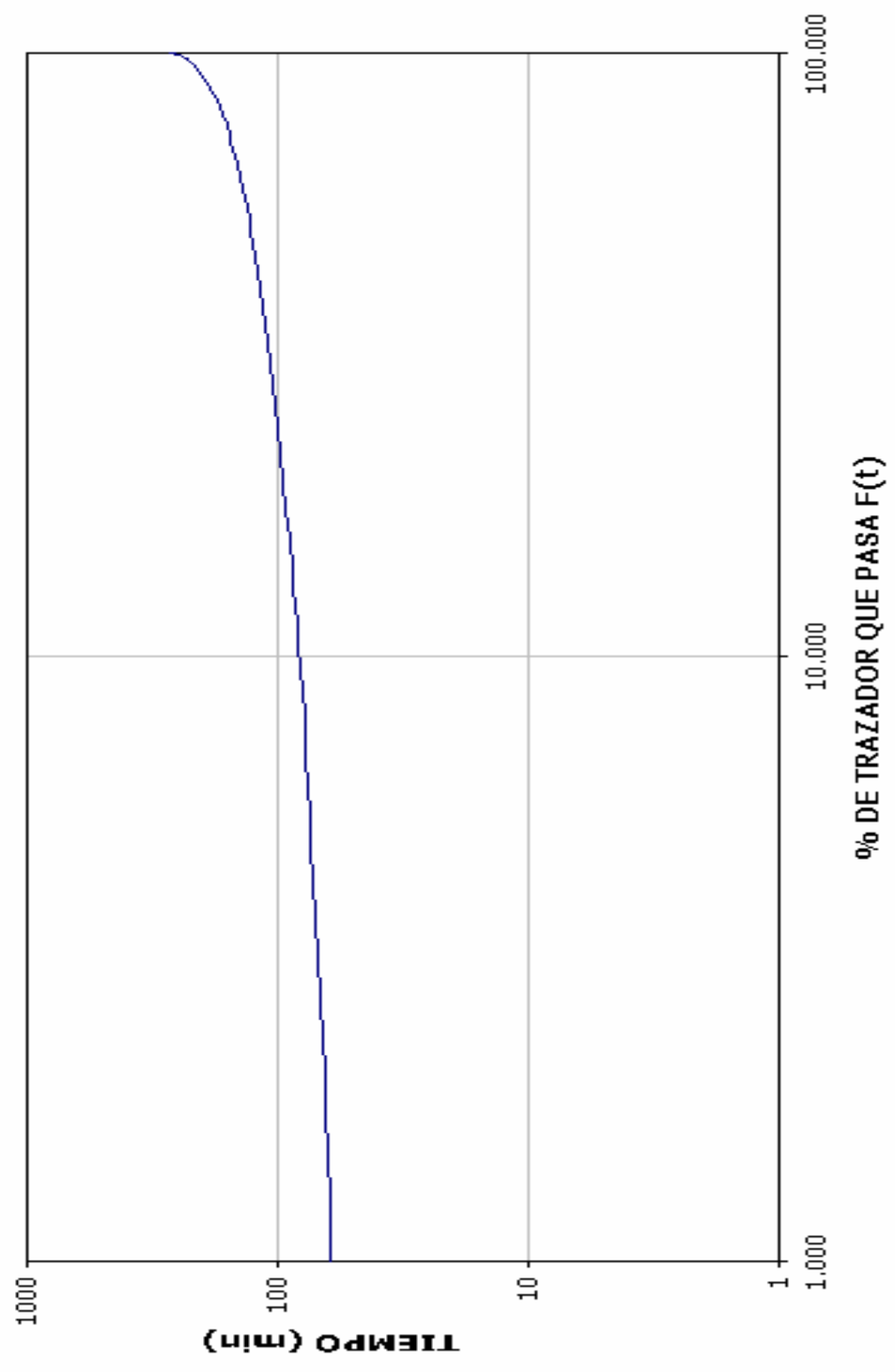
**ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO WOLF-RESNICK.
SEDIMENTADOR 1**



ENSAYO CON TRAZADORES. MÉTODO CONVENCIONAL
SEDIMENTADOR 1



ENSAYO TRAZADORES. ÍNDICE DE MORRIL SEDIMENTADOR 1

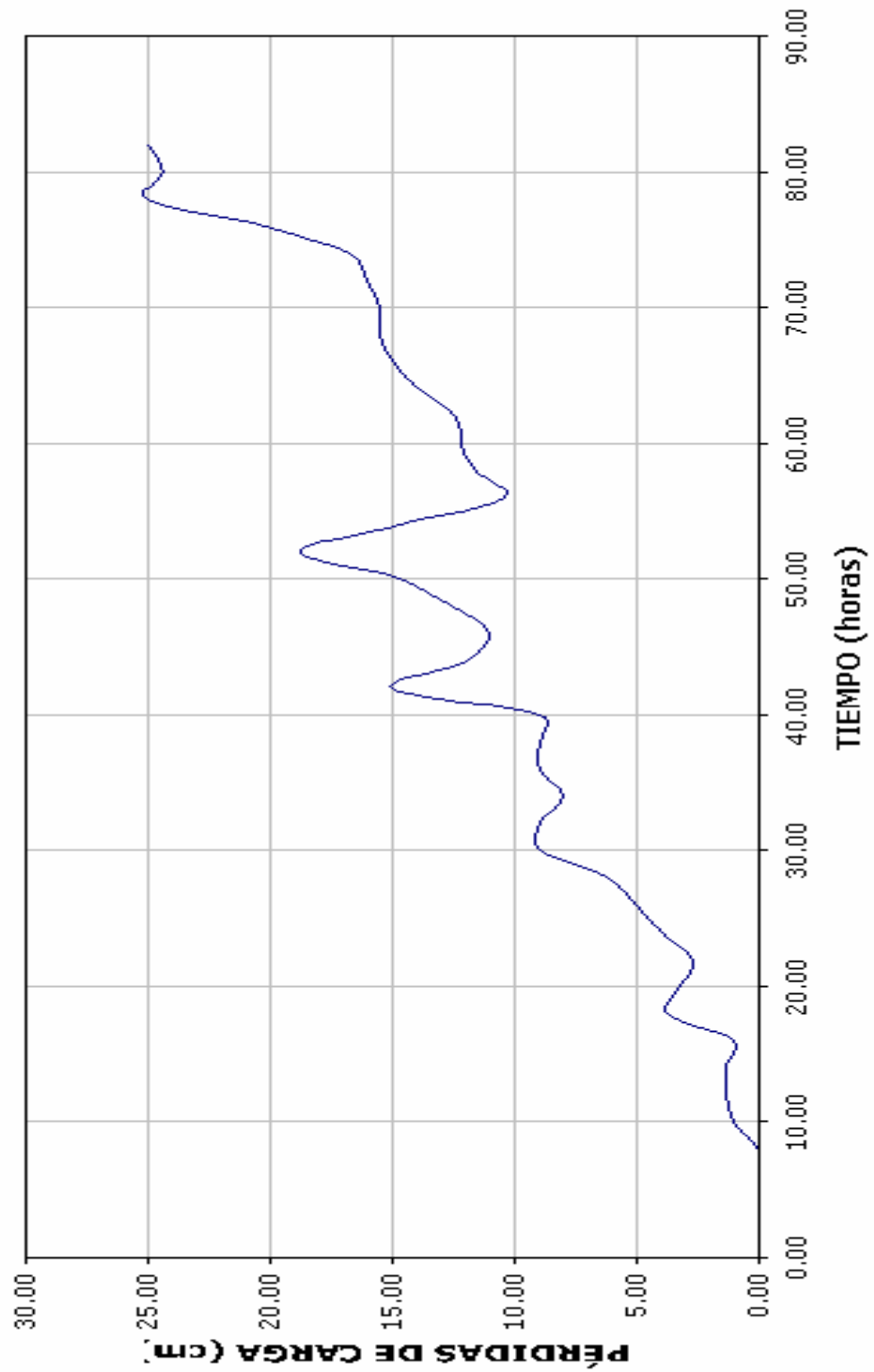


ANEXO 34

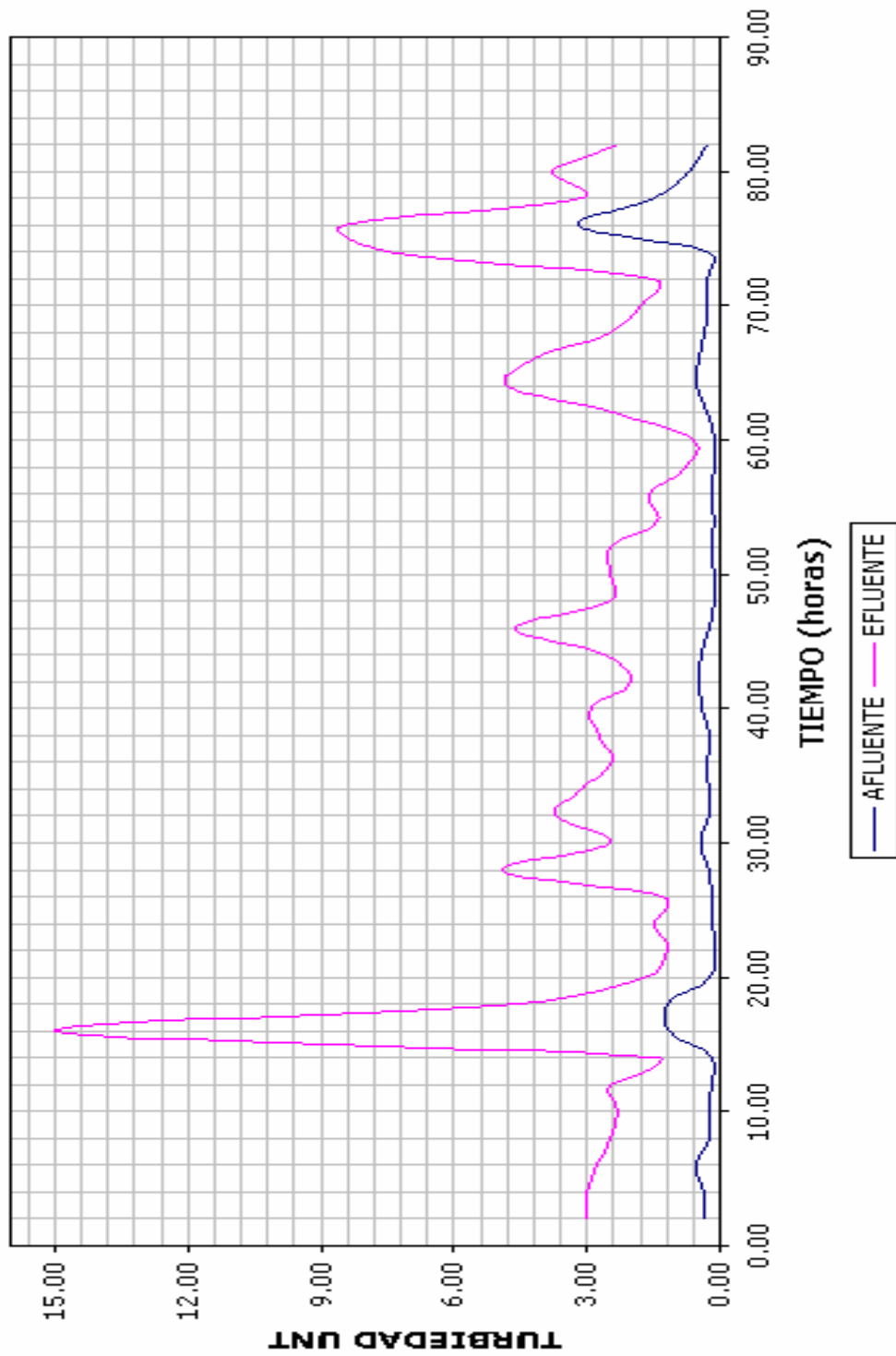
PÉRDIDAS DE CARGA DEL FILTRO 7.

FILTRO 7							
DÍA	HORA	NIVEL(cm)		PÉRDIDA DE CARGA(h) cm	TURBIEDAD UNT		OBSERVACIONES
		FILTRO	SALIDA FILTRO		AFLUENTE	EFLUENTE	
07-Nov-03	21:00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.35	
07-Nov-03	23:00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.35	
07-Nov-03	01:00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.55	
07-Nov-03	03:00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.22	suspendido tratamiento
07-Nov-03	10:00	1.00	0.00	1.00	2.30	0.21	inicio tratamiento
07-Nov-03	12:00	1.40	0.00	1.40	2.50	0.19	
07-Nov-03	14:00	1.40	0.00	1.40	1.50	0.17	
07-Nov-03	16:00	1.50	0.50	1.00	15.00	1.10	
07-Nov-03	18:00	4.00	0.30	3.70	4.60	1.20	
07-Nov-03	20:00	3.20	0.00	3.20	1.70	0.24	
07-Nov-03	22:00	3.40	0.70	2.70	1.20	0.14	
07-Nov-03	24:00	4.00	0.00	4.00	1.50	0.18	suspendido tratamiento
08-Nov-03	10:00	6.00	1.00	5.00	1.30	0.16	inicio tratamiento
08-Nov-03	12:00	7.30	1.00	6.30	4.90	0.24	
08-Nov-03	14:00	9.00	0.00	9.00	2.50	0.42	
08-Nov-03	16:00	9.00	0.00	9.00	3.70	0.25	
08-Nov-03	18:00	9.00	1.00	8.00	3.10	0.26	
08-Nov-03	20:00	10.00	1.00	9.00	2.40	0.29	
08-Nov-03	22:00	9.00	0.00	9.00	2.70	0.26	
08-Nov-03	24:00	9.00	0.00	9.00	2.90	0.40	
09-Nov-03	02:00	16.00	1.00	15.00	2.00	0.45	
09-Nov-03	04:00	13.00	1.00	12.00	2.60	0.39	suspendido tratamiento
09-Nov-03	12:00	12.00	1.00	11.00	4.60	0.24	inicio tratamiento
09-Nov-03	14:00	13.80	1.20	12.60	2.50	0.12	
09-Nov-03	16:00	16.00	1.30	14.70	2.50	0.12	
09-Nov-03	18:00	21.00	2.20	18.80	2.50	0.16	
09-Nov-03	20:00	16.00	1.30	14.70	1.40	0.12	suspendido tratamiento
10-Nov-03	07:00	11.40	1.00	10.40	1.60	0.15	inicio tratamiento
10-Nov-03	09:00	12.40	0.80	11.60	0.78	0.10	
10-Nov-03	11:00	13.00	0.80	12.20	0.58	0.11	
10-Nov-03	13:00	13.20	0.80	12.40	2.40	0.30	
10-Nov-03	15:00	14.00	0.00	14.00	4.80	0.55	
10-Nov-03	17:00	15.00	0.00	15.00	4.20	0.50	
10-Nov-03	19:00	16.00	0.50	15.50	2.50	0.33	suspendido tratamiento
11-Nov-03	06:00	16.00	0.50	15.50	1.80	0.32	inicio tratamiento
11-Nov-03	08:00	17.00	1.00	16.00	1.50	0.30	
11-Nov-03	10:00	17.80	1.00	16.80	7.50	0.28	
11-Nov-03	12:00	20.20	0.00	20.20	8.50	3.20	
11-Nov-03	14:00	25.50	0.50	25.00	3.10	1.50	
11-Nov-03	16:00	25.20	0.80	24.40	3.80	0.68	
11-Nov-03	18:00	25.80	0.80	25.00	2.30	0.27	

PÉRDIDAS DE CARGA FILTRO 7



TURBIEDAD DEL EFLUENTE. FILTRO 7

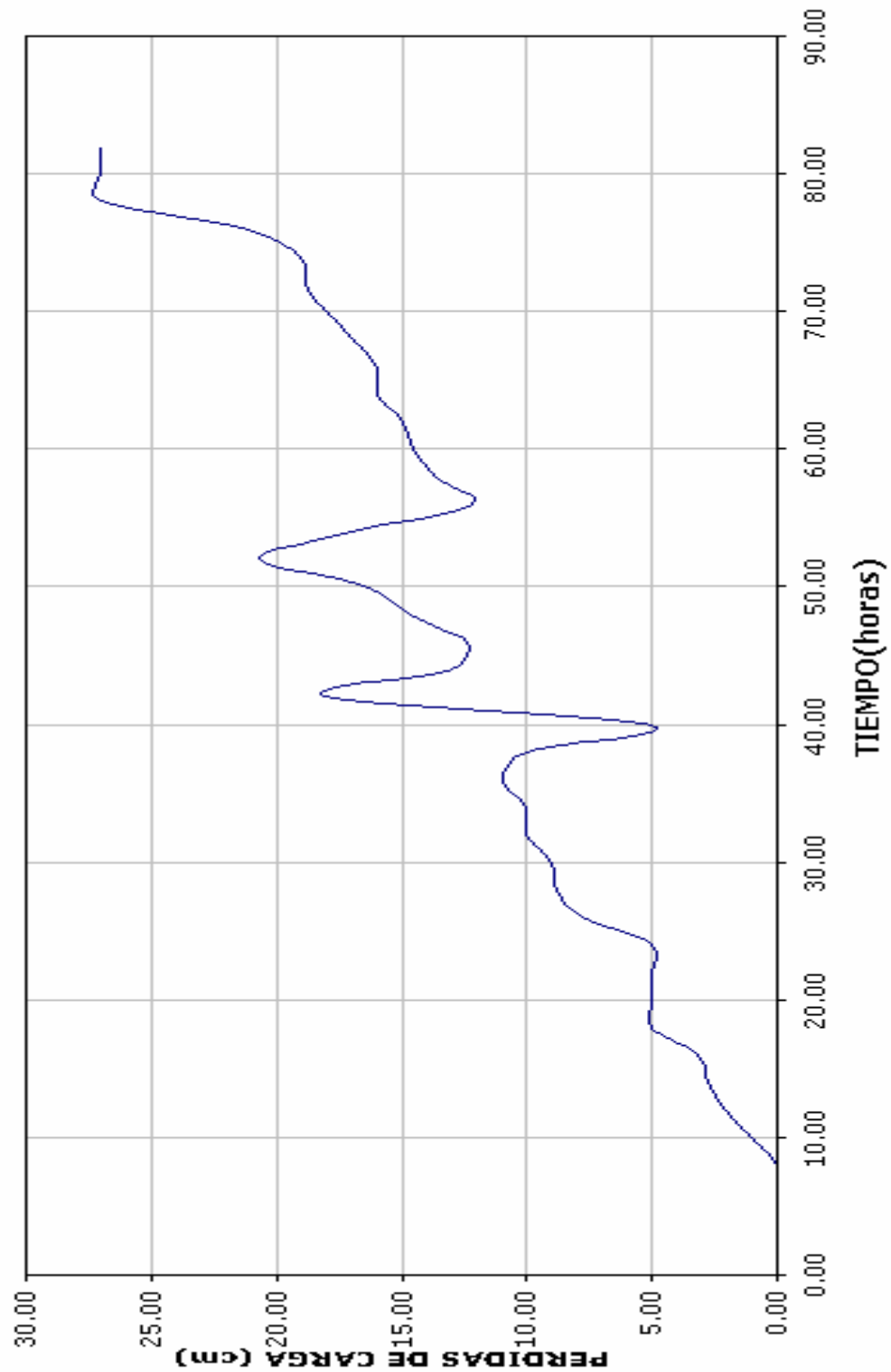


ANEXO 35

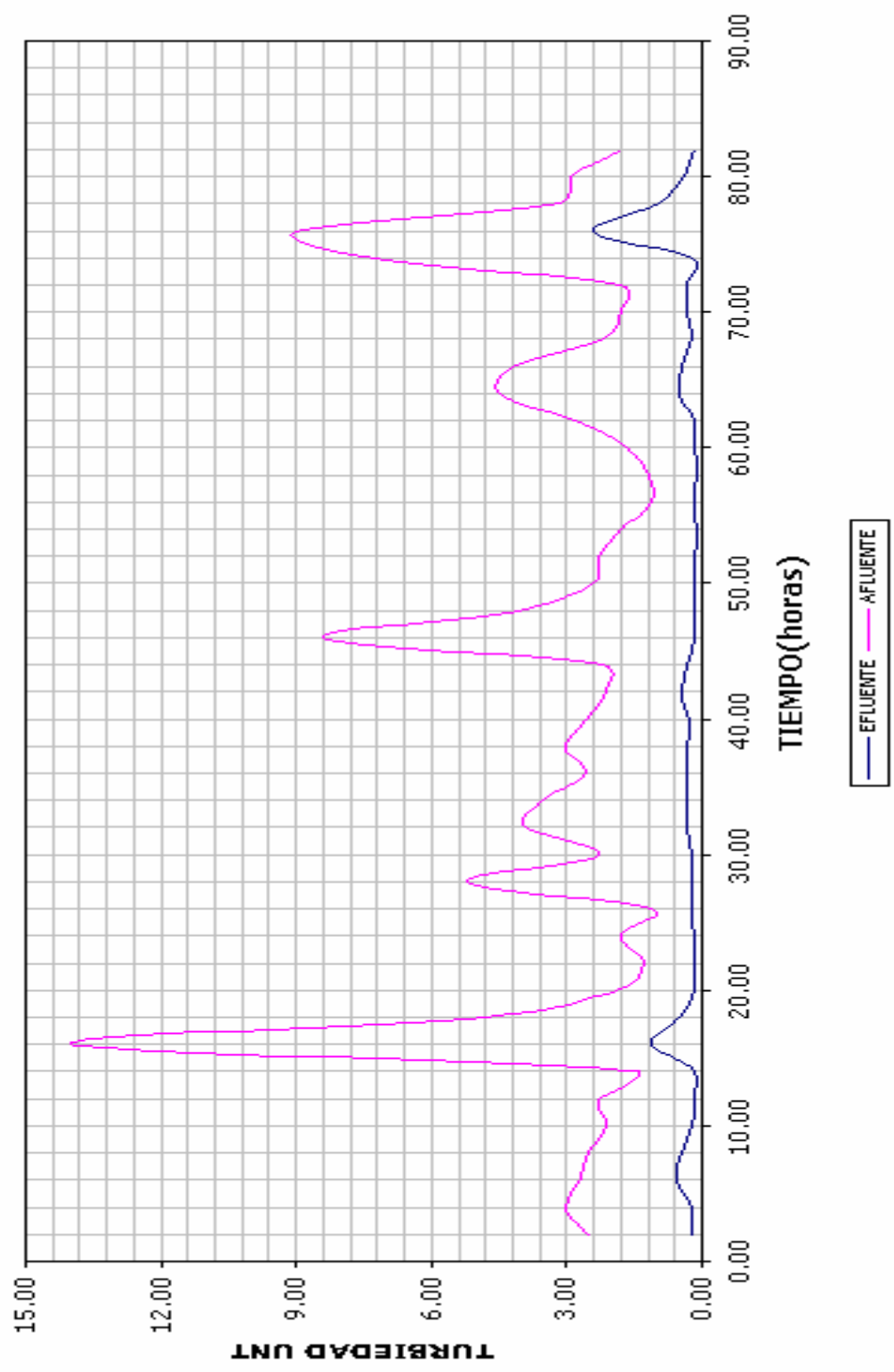
PÉRDIDAS DE CARGA DEL FILTRO 12.

FILTRO 12							
DÍA	HORA	NIVEL(cm)		PÉRDIDA DE CARGA(h) cm	TURBIEDAD UNT		OBSERVACIONES
		FILTRO	SALIDA FILTRO		AFLUENTE	EFLUENTE	
07-Nov-03	21:00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.22	
07-Nov-03	23:00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.25	
07-Nov-03	01:00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.55	
07-Nov-03	03:00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.45	suspendido tratamiento
07-Nov-03	10:00	1.00	0.00	1.00	2.10	0.20	inicio tratamiento
07-Nov-03	12:00	2.00	0.00	2.00	2.30	0.19	
07-Nov-03	14:00	2.80	0.00	2.80	1.50	0.16	
07-Nov-03	16:00	3.20	0.00	3.20	14.00	1.10	
07-Nov-03	18:00	5.00	0.00	5.00	4.80	0.52	
07-Nov-03	20:00	5.00	0.00	5.00	1.90	0.17	
07-Nov-03	22:00	5.00	0.00	5.00	1.30	0.16	
07-Nov-03	24:00	5.00	0.00	5.00	1.80	0.14	suspendido tratamiento
08-Nov-03	10:00	8.00	0.20	7.80	1.10	0.25	inicio tratamiento
08-Nov-03	12:00	9.00	0.20	8.80	5.20	0.20	
08-Nov-03	14:00	9.00	0.00	9.00	2.30	0.25	
08-Nov-03	16:00	10.00	0.00	10.00	3.90	0.31	
08-Nov-03	18:00	10.00	0.00	10.00	3.50	0.32	
08-Nov-03	20:00	11.00	0.00	11.00	2.60	0.36	
08-Nov-03	22:00	10.00	0.00	10.00	3.00	0.35	
08-Nov-03	24:00	5.00	0.00	5.00	2.60	0.30	
09-Nov-03	02:00	19.00	1.00	18.00	2.10	0.45	
09-Nov-03	04:00	13.00	0.00	13.00	2.20	0.35	suspendido tratamiento
09-Nov-03	12:00	12.80	0.40	12.40	8.40	0.19	inicio tratamiento
09-Nov-03	14:00	15.00	0.40	14.60	4.10	0.15	
09-Nov-03	16:00	17.00	0.50	16.50	2.40	0.14	
09-Nov-03	18:00	22.00	1.30	20.70	2.30	0.16	
09-Nov-03	20:00	17.00	0.00	17.00	1.80	0.12	suspendido tratamiento
10-Nov-03	07:00	12.20	0.00	12.20	1.10	0.14	inicio tratamiento
10-Nov-03	09:00	13.60	0.00	13.60	1.20	0.10	
10-Nov-03	11:00	14.50	0.00	14.50	1.70	0.14	
10-Nov-03	13:00	15.00	0.00	15.00	2.80	0.16	
10-Nov-03	15:00	16.00	0.00	16.00	4.50	0.48	
10-Nov-03	17:00	16.00	0.00	16.00	4.20	0.46	
10-Nov-03	19:00	17.00	0.00	17.00	2.20	0.25	suspendido tratamiento
11-Nov-03	06:00	18.00	0.00	18.00	1.80	0.31	inicio tratamiento
11-Nov-03	08:00	18.80	0.00	18.80	1.80	0.35	
11-Nov-03	10:00	19.00	0.00	19.00	7.20	0.25	
11-Nov-03	12:00	21.10	0.00	21.10	9.00	2.40	
11-Nov-03	14:00	27.00	0.00	27.00	3.20	0.96	
11-Nov-03	16:00	27.00	0.00	27.00	2.90	0.39	
11-Nov-03	18:00	27.00	0.00	27.00	1.80	0.18	

PÉRDIDAS DE CARGA FILTRO 12



TURBIEDAD DEL EFLUENTE FILTRO 12



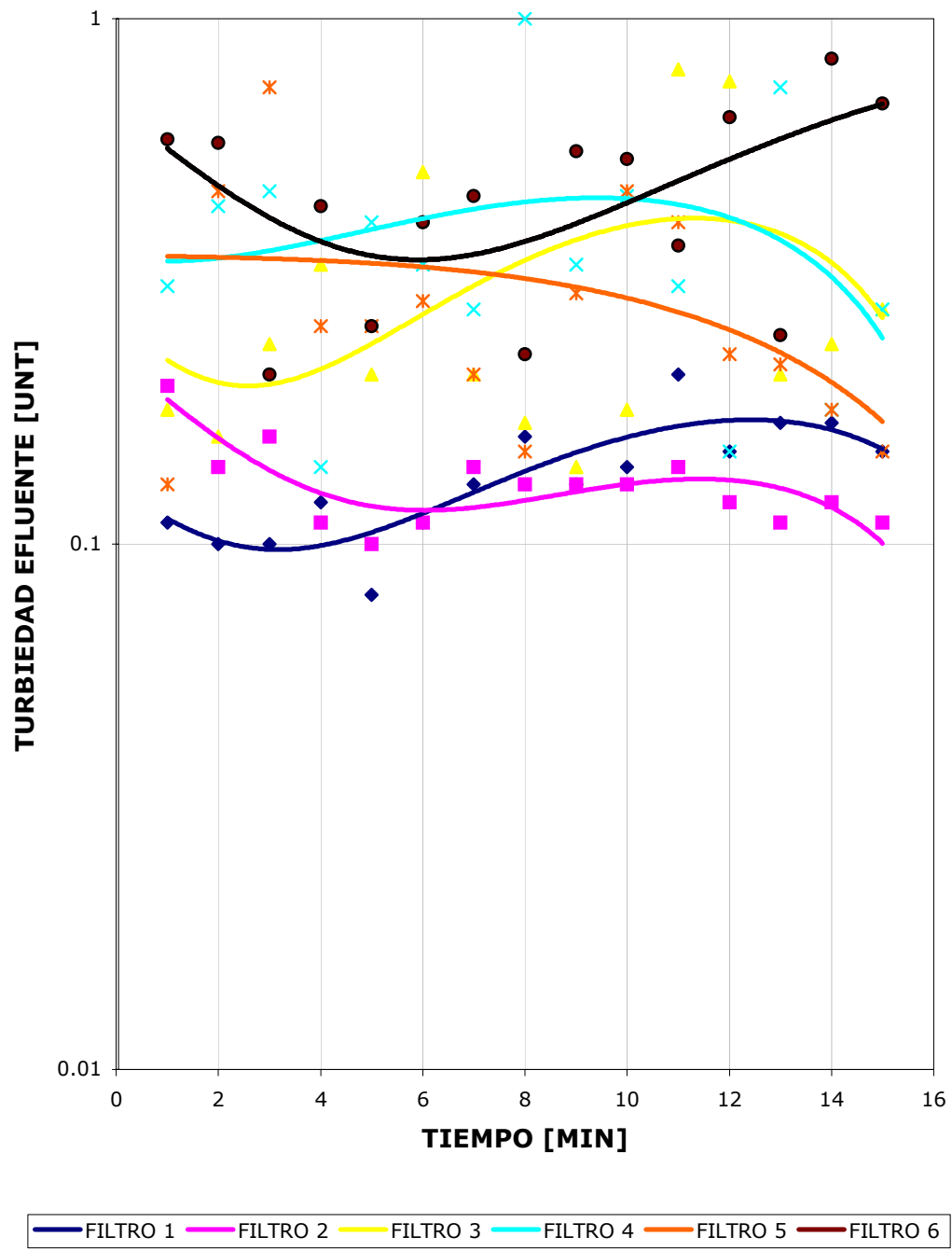
ANEXO 36

CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL.

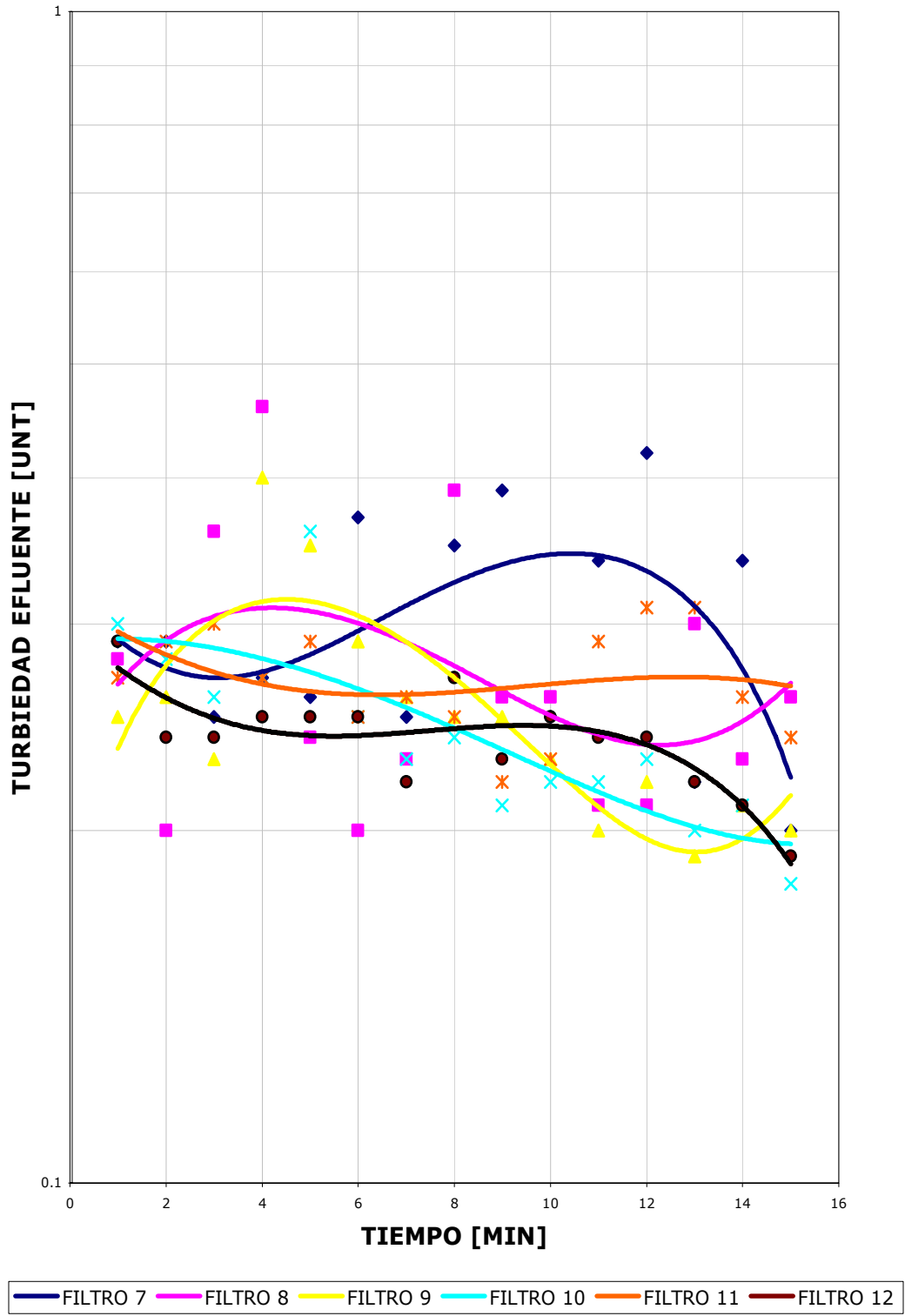
CALIDAD DE AGUA FILTRADA

Filtro No.	TIEMPO DE TOMAS DE MUESTRAS (min)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	TURBIEDAD DE LAS MUESTRAS (UNT)														
1	0.11	0.1	0.1	0.12	0.08	0.11	0.13	0.16	0.13	0.14	0.21	0.15	0.17	0.17	0.15
2	0.2	0.14	0.16	0.11	0.1	0.11	0.14	0.13	0.13	0.13	0.14	0.12	0.11	0.12	0.11
3	0.18	0.16	0.24	0.34	0.21	0.51	0.21	0.17	0.14	0.18	0.8	0.76	0.21	0.24	0.28
4	0.31	0.44	0.47	0.14	0.41	0.34	0.28	1.00	0.34	0.46	0.31	0.15	0.74	0.18	0.28
5	0.13	0.47	0.74	0.26	0.26	0.29	0.21	0.15	0.3	0.47	0.41	0.23	0.22	0.18	0.15
6	0.59	0.58	0.21	0.44	0.26	0.41	0.46	0.23	0.56	0.54	0.37	0.65	0.25	0.84	0.69
7	0.29	0.29	0.25	0.27	0.26	0.37	0.25	0.35	0.39	0.25	0.34	0.42	0.22	0.34	0.2
8	0.28	0.2	0.36	0.46	0.24	0.2	0.23	0.39	0.26	0.26	0.21	0.21	0.3	0.23	0.26
9	0.25	0.26	0.23	0.4	0.35	0.29	0.26	0.25	0.25	0.23	0.2	0.22	0.19	0.21	0.2
10	0.3	0.28	0.26	0.27	0.36	0.25	0.23	0.24	0.21	0.22	0.22	0.23	0.2	0.21	0.18
11	0.27	0.29	0.3	0.27	0.29	0.25	0.26	0.25	0.22	0.23	0.29	0.31	0.31	0.26	0.24
12	0.29	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.22	0.27	0.23	0.25	0.24	0.24	0.22	0.21	0.19

CALIDAD FILTRADA INICIAL BATERÍA 1



CALIDAD FILTRADA INICIAL BATERÍA 2



ANEXO 37

BOLAS DE BARRO.

PORCENTAJE DE BOLAS DE BARRO.

FILTRO No.	VOLUMEN ml		% DE BOLAS DE BARRO	CONDICIONES DEL LECHO
	MUESTRA	BOLAS DE BARRO		
1	2345	11	0.47	BUENO
2	2345	9	0.38	BUENO
3	2345	8.5	0.36	BUENO
4	2345	9.8	0.42	BUENO
5	2345	10.6	0.45	BUENO
6	2345	11	0.47	BUENO
7	2345	10.4	0.44	BUENO
8	2345	11.6	0.49	BUENO
9	2345	8.7	0.37	BUENO
10	2345	9.7	0.41	BUENO
11	2345	10	0.43	BUENO
12	2345	10	0.43	BUENO

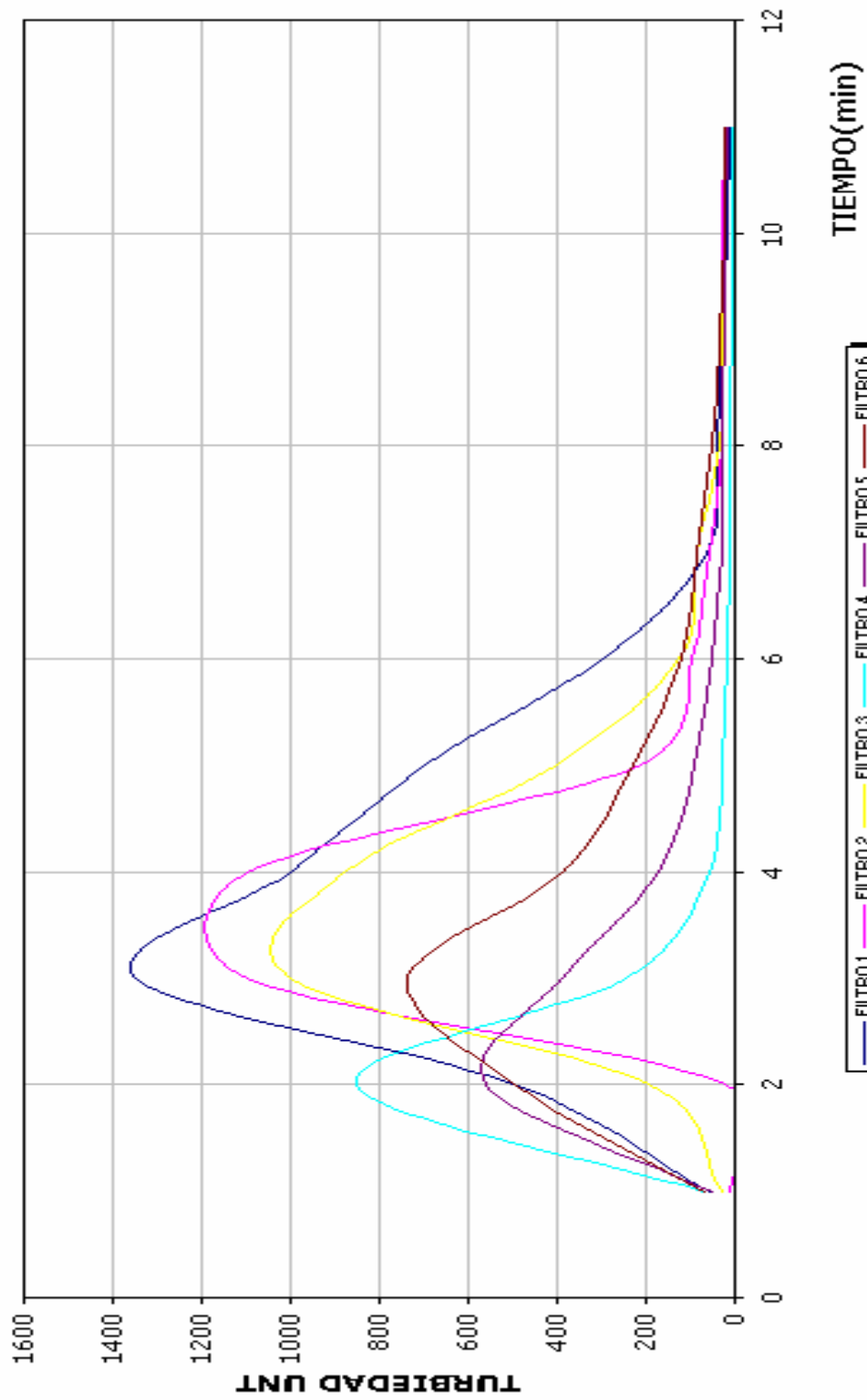
ANEXO 38

DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO EN LOS FILTROS.

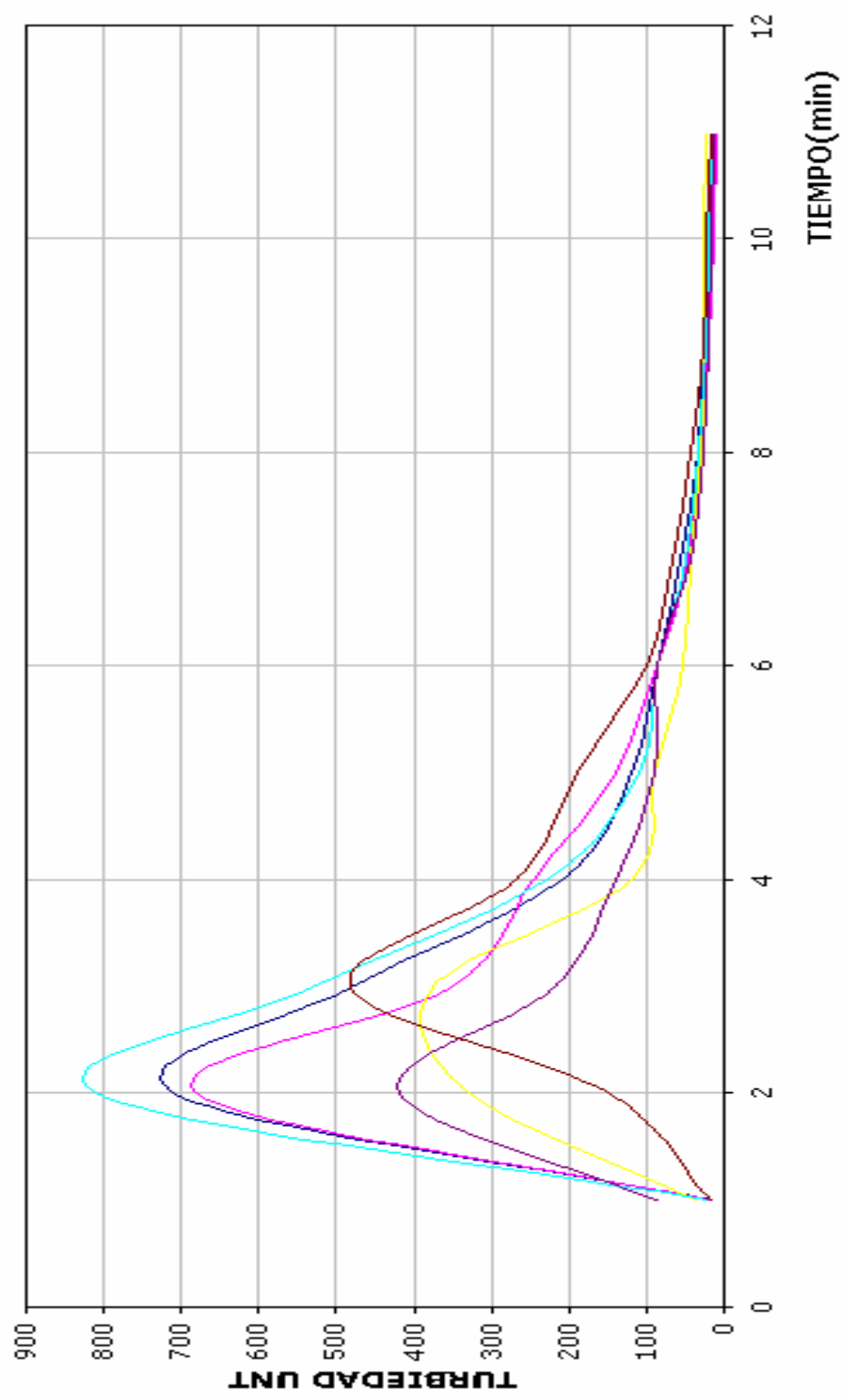
DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

TIEMPO DE MUESTREO(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	TURBIEDAD DE LAS MUESTRAS UNT										
FILTRO No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	57	500	1350	1000	700	300	63	41	26	20	14
2	10	24	1100	1100	210	95	55	28	30	26	21
3	28	192	1000	880	400	125	88	33	27	23	18
4	68	852	246	55	29	15	11	9.8	8.5	8	8
5	49	560	390	170	93	52	30	26	23	23	20
6	71	500	740	390	230	120	83	49	33	25	21
7	16	710	480	210	120	88	56	33	27	24	17
8	20	680	352	245	140	87	45	29	20	13	11
9	35	328	375	120	90	54	42	30	26	25	22
10	23	810	530	228	110	88	51	32	24	20	18
11	88	420	220	141	90	85	43	27	20	16	14
12	15	150	480	270	190	100	67	44	26	22	17

TIEMPO OPTIMO DE LAVADO FILTROS 1 - 6



TIEMPO DE LAVADO OPTIMO DE LOS FILTROS 6-12



ANEXO 39

ENSAYO DE TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 1, CAUDAL DE TRABAJO.

**PRUEBA DE TRAZADORES MEZCLA RÁPIDA-
ENTRADA AL PRESEDIMENTADOR 1**

N. muestra	Tiempo (min)	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co
1	1	147	1	0
2	1.5	148	2	2
3	2	148	2	4
4	2.25	150	4	8
5	2.5	156	10	18
6	2.75	255	109	127
7	3	340	194	321
8	3.25	420	274	595
9	3.5	646	500	1095
10	3.75	732	586	1681
11	4	853	707	2388
12	4.25	870	724	3112
13	4.5	900	754	3866
14	4.75	905	759	4625
15	5	908	762	5387
16	5.25	920	774	6161
17	5.5	920	774	6935
18	5.75	948	802	7737
19	6	992	846	8583
20	6.25	875	729	9312
21	6.5	820	674	9986
22	6.75	774	628	10614
23	7	770	624	11238
24	7.25	703	557	11795
25	7.5	612	466	12261
26	7.75	457	311	12572
27	8	395	249	12821
28	9	341	195	13016
29	10	327	181	13197
30	11	303	157	13354
31	12	283	137	13491
32	13	269	123	13614
33	14	257	111	13725
34	15	223	77	13802
35	16	211	65	13867
36	17	199	53	13920
37	18	195	49	13969
38	19	188	42	14011
39	20	173	27	14038
40	21	165	19	14057
41	22	153	7	14064
42	23	146	0	14064
43	24	146	0	14064
44	25	146	0	14064

ANEXO 40

ENSAYO CON TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 2, CAUDAL DE TRABAJO.

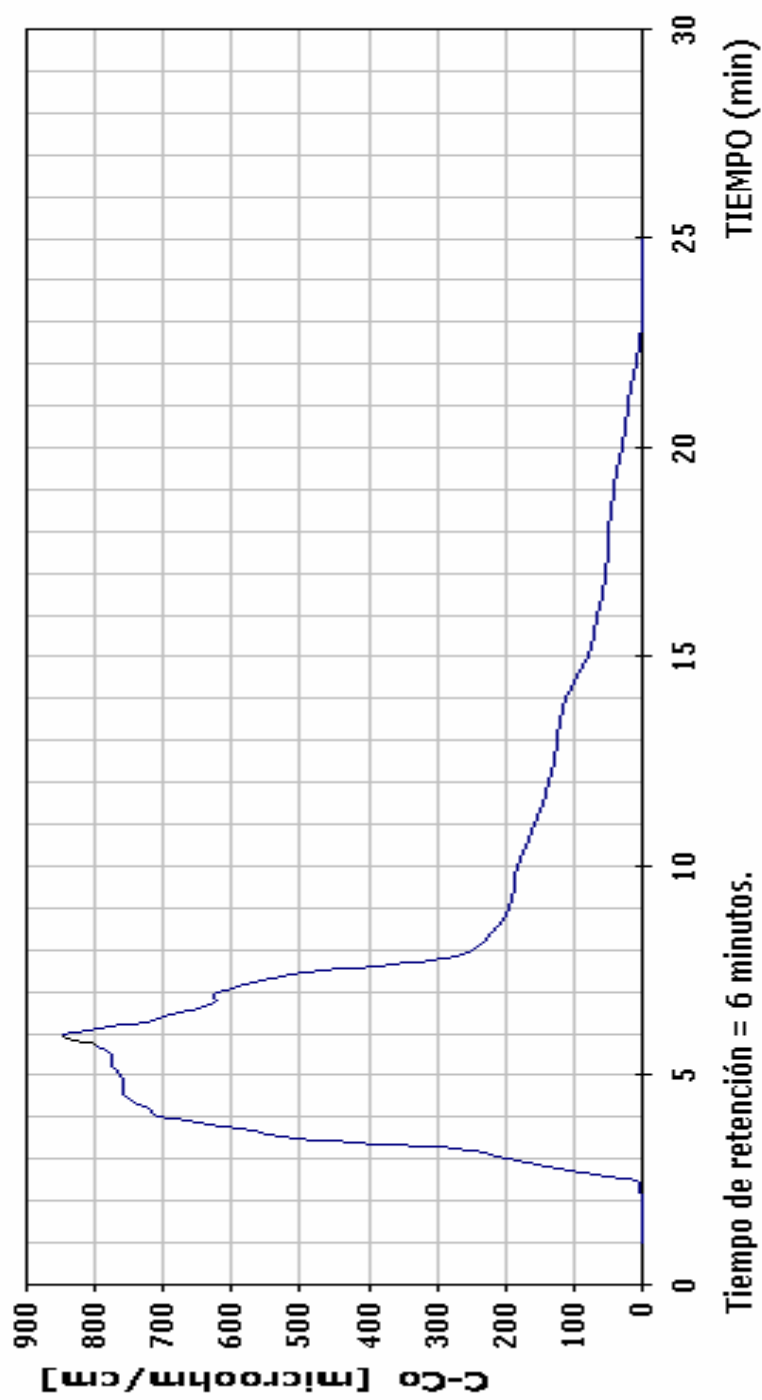
**PRUEBA DE TRAZADORES MEZCLA RÁPIDA-
ENTRADA AL PRESEDIMENTADOR 2**

N. muestra	Tiempo (min)	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co
1	1	147	1	0
2	1.5	148	2	2
3	2	148	2	4
4	2.25	148	2	6
5	2.5	154	8	14
6	2.75	320	174	188
7	3	440	294	482
8	3.25	570	424	906
9	3.5	725	579	1485
10	3.75	910	764	2249
11	4	950	804	3053
12	4.25	951	805	3858
13	4.5	955	809	4667
14	4.75	957	811	5478
15	5	980	834	6312
16	5.25	1060	914	7226
17	5.5	1000	854	8080
18	5.75	1095	949	9029
19	6	1008	862	9891
20	6.25	948	802	10693
21	6.5	900	754	11447
22	6.75	880	734	12181
23	7	815	669	12850
24	7.25	696	550	13400
25	7.5	624	478	13878
26	7.75	530	384	14262
27	8	491	345	14607
28	9	422	276	14883
29	10	384	238	15121
30	11	326	180	15301
31	12	305	159	15460
32	13	302	156	15616
33	14	297	151	15767
34	15	292	146	15913
35	16	284	138	16051
36	17	273	127	16178
37	18	245	99	16277
38	19	221	75	16352
39	20	202	56	16408
40	21	191	45	16453
41	22	183	37	16490
42	23	172	26	16516
43	24	169	23	16539
44	25	167	21	16560
45	26	156	10	16570
46	27	150	4	16574
47	28	146	0	16574
48	29	146	0	16574
49	30	146	0	16574

ANEXO 41

TIEMPO DE RETENCIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA AL PRESEDIMENTADOR 1.

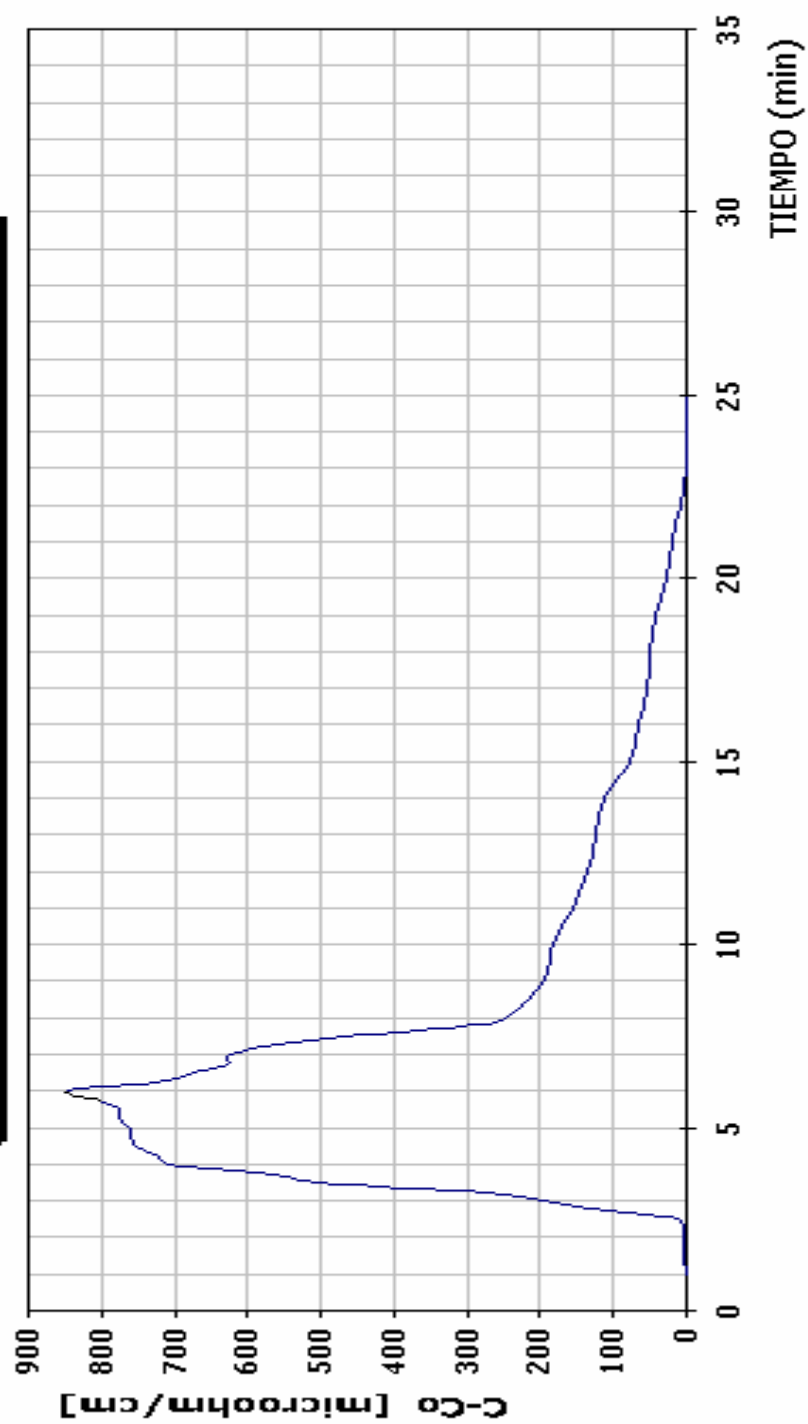
TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA AL
PRESEDIMENTADOR 1



ANEXO 42

TIEMPO DE RETENCIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA AL PRESEDIMENTADOR 2.

**TIEMPO DE RETENCIÓN MEZCLA RÁPIDA-ENTRADA AL
PRESEDIMENTADOR 2**



Tiempo de retención = 5.75 minutos.

ANEXO 43

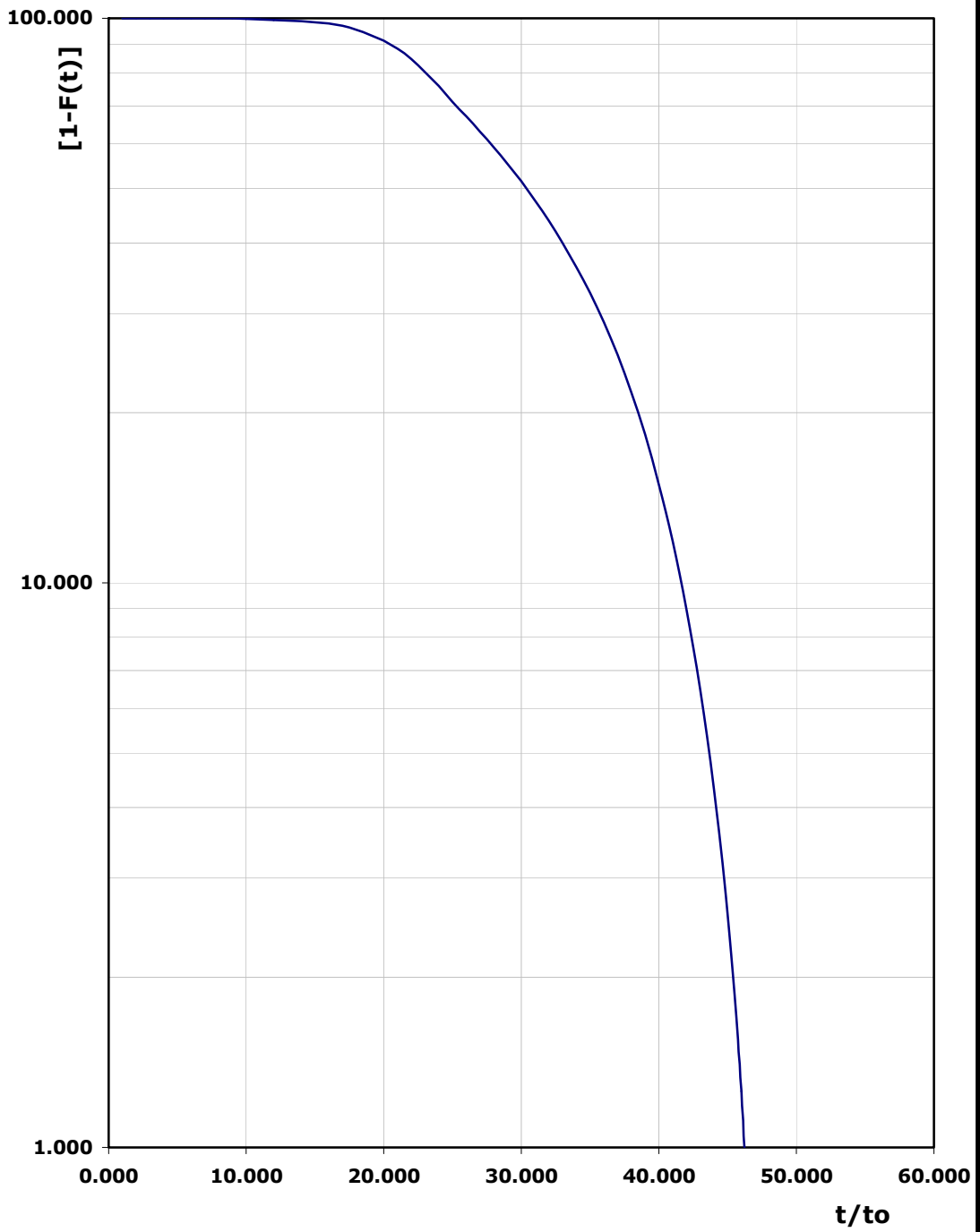
ENSAYO CON TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 1.

PRUEBA CON TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 1							
N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co	F(t)	1-F(t)
1	1	0.012	146	0	0	0.000	100.000
2	2	0.023	146	0	0	0.000	100.000
3	3	0.035	146	0	0	0.000	100.000
4	4	0.046	146	0	0	0.000	100.000
5	5	0.058	146	0	0	0.000	100.000
6	6	0.070	146	0	0	0.000	100.000
7	7	0.081	146	0	0	0.000	100.000
8	8	0.093	146	0	0	0.000	100.000
9	9	0.104	146	0	0	0.000	100.000
10	10	0.116	149	3	3	0.180	99.820
11	11	0.128	149	3	6	0.359	99.641
12	12	0.139	150	4	10	0.599	99.401
13	13	0.151	150	4	14	0.838	99.162
14	14	0.162	151	5	19	1.138	98.862
15	15	0.174	153	7	26	1.557	98.443
16	16	0.186	154	8	34	2.036	97.964
17	17	0.197	162	16	50	2.994	97.006
18	18	0.209	172	26	76	4.551	95.449
19	19	0.220	178	32	108	6.467	93.533
20	20	0.232	185	39	147	8.802	91.198
21	21	0.244	194	48	195	11.677	88.323
22	22	0.255	208	62	257	15.389	84.611
23	23	0.267	217	71	328	19.641	80.359
24	24	0.278	220	74	402	24.072	75.928
25	25	0.290	226	80	482	28.862	71.138
26	26	0.302	215	69	551	32.994	67.006
27	27	0.313	214	68	619	37.066	62.934
28	28	0.325	210	64	683	40.898	59.102
29	29	0.336	210	64	747	44.731	55.269
30	30	0.348	210	64	811	48.563	51.437
31	31	0.359	210	64	875	52.395	47.605
32	32	0.371	210	64	939	56.228	43.772
33	33	0.383	209	63	1002	60.000	40.000
34	34	0.394	208	62	1064	63.713	36.287
35	35	0.406	207	61	1125	67.365	32.635
36	36	0.417	207	61	1186	71.018	28.982
37	37	0.429	207	61	1247	74.671	25.329
38	42	0.487	206	60	1307	78.263	21.737
39	47	0.545	203	57	1364	81.677	18.323
40	52	0.603	203	57	1421	85.090	14.910
41	57	0.661	197	51	1472	88.144	11.856
42	62	0.719	194	48	1520	91.018	8.982
43	67	0.777	188	42	1562	93.533	6.467
44	72	0.835	182	36	1598	95.689	4.311
45	77	0.893	175	29	1627	97.425	2.575
46	82	0.951	168	22	1649	98.743	1.257
47	87	1.009	160	14	1663	99.581	0.419
48	92	1.067	153	7	1670	100.000	0.000

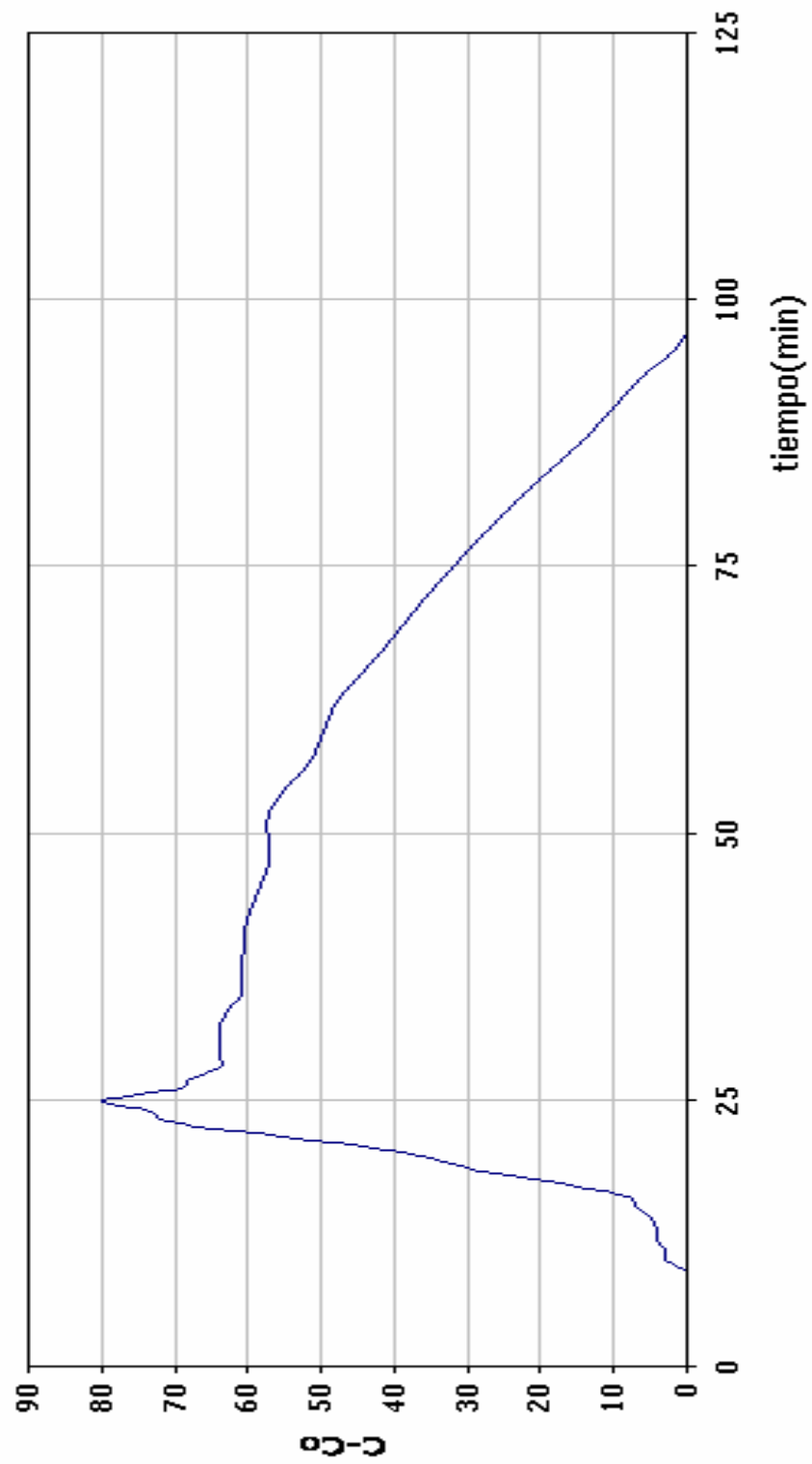
...CONTINUACIÓN.

PRUEBA CON TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 1							
N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co	F(t)	1-F(t)
50	97	1.125	146	0	1670	100.00	0.000
51	102	1.183	146	0	1670	100.00	0.000
52	107	1.241	146	0	1670	100.00	0.000

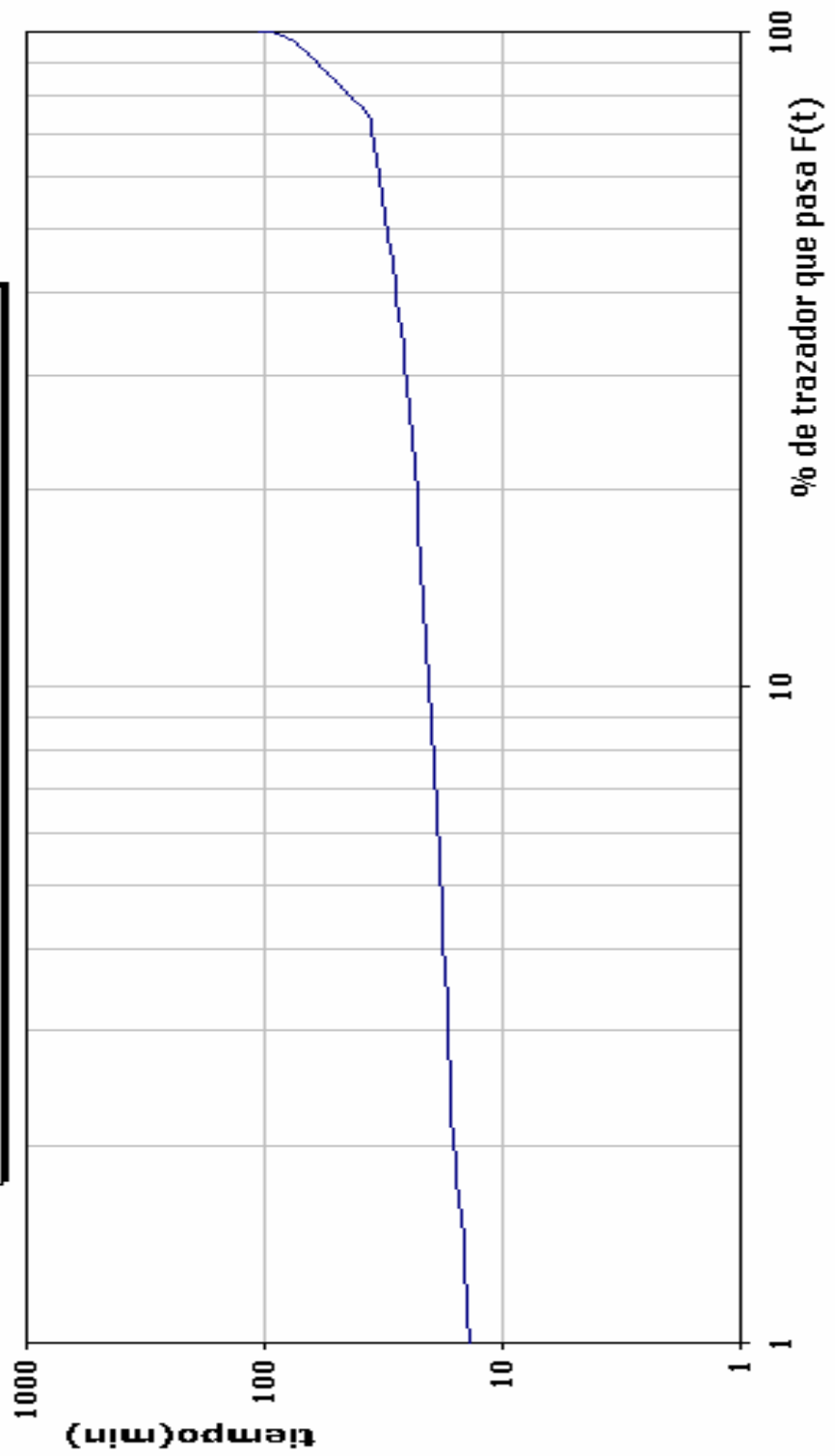
**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS
HIDRÁULICAS PRESEDIMENTADOR No.1 MÉTODO
WOLF-RESNICK**



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS
PRESIDENTADOR No.1
MÉTODO CONVENCIONAL



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS
PRESEDIMENTADOR No. 1
ÍNDICE DE MORRIL



ANEXO 44

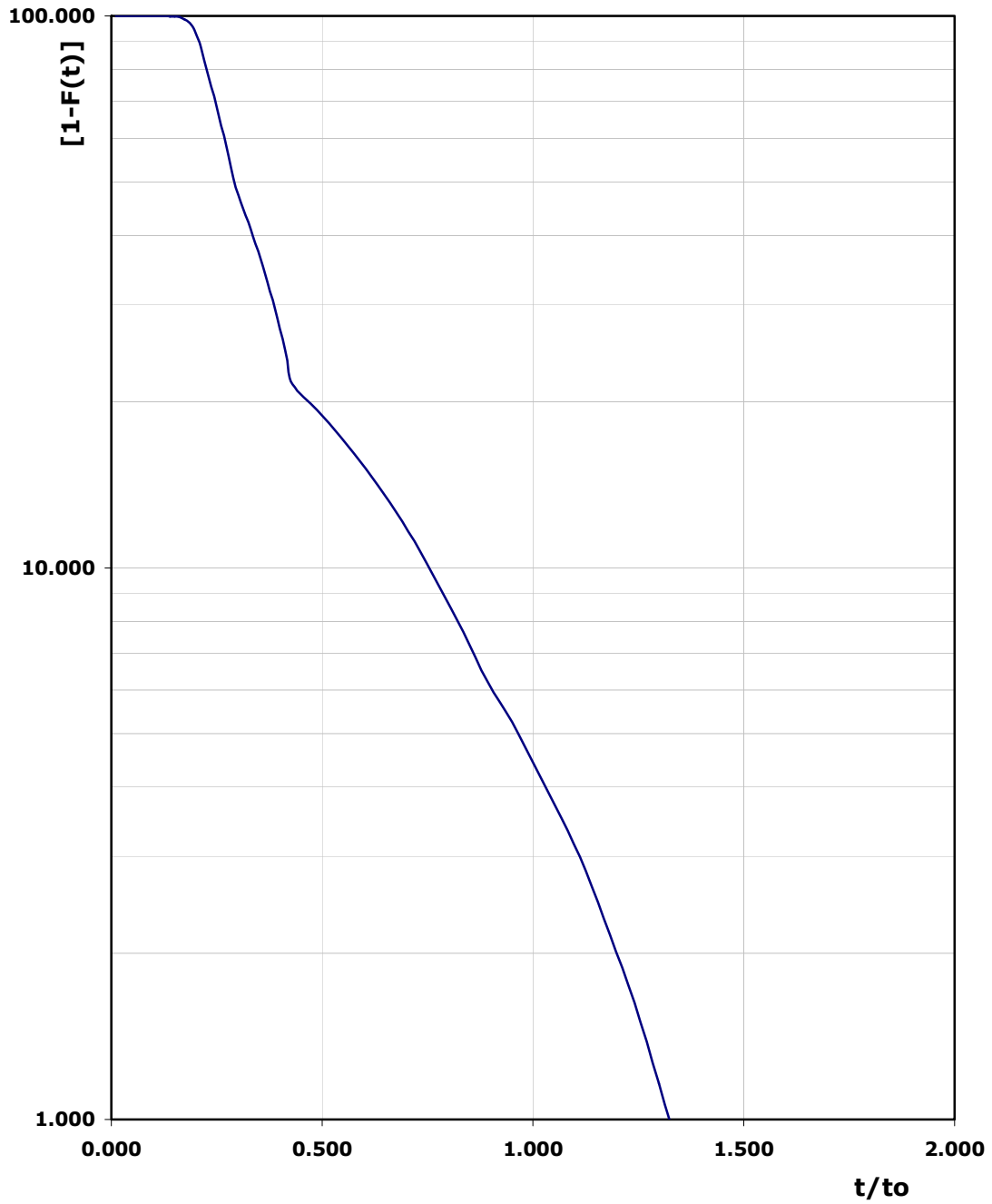
ENSAYO CON TRAZADORES PRESEDIMENTADOR 2.

PRUEBA CON TRASADORES PRESEDIMENTADOR 2							
N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co	F(t)	1-F(t)
1	1	0.012	146	0	0	0.000	100.000
2	2	0.023	146	0	0	0.000	100.000
3	3	0.035	146	0	0	0.000	100.000
4	4	0.046	146	0	0	0.000	100.000
5	5	0.058	146	0	0	0.000	100.000
6	6	0.070	146	0	0	0.000	100.000
7	7	0.081	146	0	0	0.000	100.000
8	8	0.093	146	0	0	0.000	100.000
9	9	0.104	146	0	0	0.000	100.000
10	10	0.116	146	0	0	0.000	100.000
11	11	0.128	148	2	2	0.066	99.934
12	12	0.139	149	3	5	0.166	99.834
13	13	0.151	150	4	9	0.299	99.701
14	14	0.162	151	5	14	0.465	99.535
15	15	0.174	174	28	42	1.395	98.605
16	16	0.186	190	44	86	2.857	97.143
17	17	0.197	230	84	170	5.648	94.352
18	18	0.209	296	150	320	10.631	89.369
19	19	0.220	340	194	514	17.076	82.924
20	20	0.232	320	174	688	22.857	77.143
21	21	0.244	315	169	857	28.472	71.528
22	22	0.255	315	169	1026	34.086	65.914
23	23	0.267	303	157	1183	39.302	60.698
24	24	0.278	300	154	1337	44.419	55.581
25	25	0.290	290	144	1481	49.203	50.797
26	26	0.302	253	107	1588	52.757	47.243
27	27	0.313	222	76	1664	55.282	44.718
28	28	0.325	220	74	1738	57.741	42.259
29	29	0.336	219	73	1811	60.166	39.834
30	30	0.348	217	71	1882	62.525	37.475
31	31	0.359	216	70	1952	64.850	35.150
32	32	0.371	215	69	2021	67.143	32.857
33	33	0.383	215	69	2090	69.435	30.565
34	34	0.394	215	69	2159	71.728	28.272
35	35	0.406	215	69	2228	74.020	25.980
36	36	0.417	214	68	2296	76.279	23.721
37	37	0.429	213	67	2363	78.505	21.495
38	42	0.487	212	66	2429	80.698	19.302
39	47	0.545	210	64	2493	82.824	17.176
40	52	0.603	208	62	2555	84.884	15.116
41	57	0.661	207	61	2616	86.910	13.090
42	62	0.719	204	58	2674	88.837	11.163
43	67	0.777	203	57	2731	90.731	9.269
44	72	0.835	195	49	2780	92.359	7.641
45	77	0.893	189	43	2823	93.787	6.213
46	82	0.951	175	29	2852	94.751	5.249
47	87	1.009	174	28	2880	95.681	4.319
48	92	1.067	170	24	2904	96.478	3.522

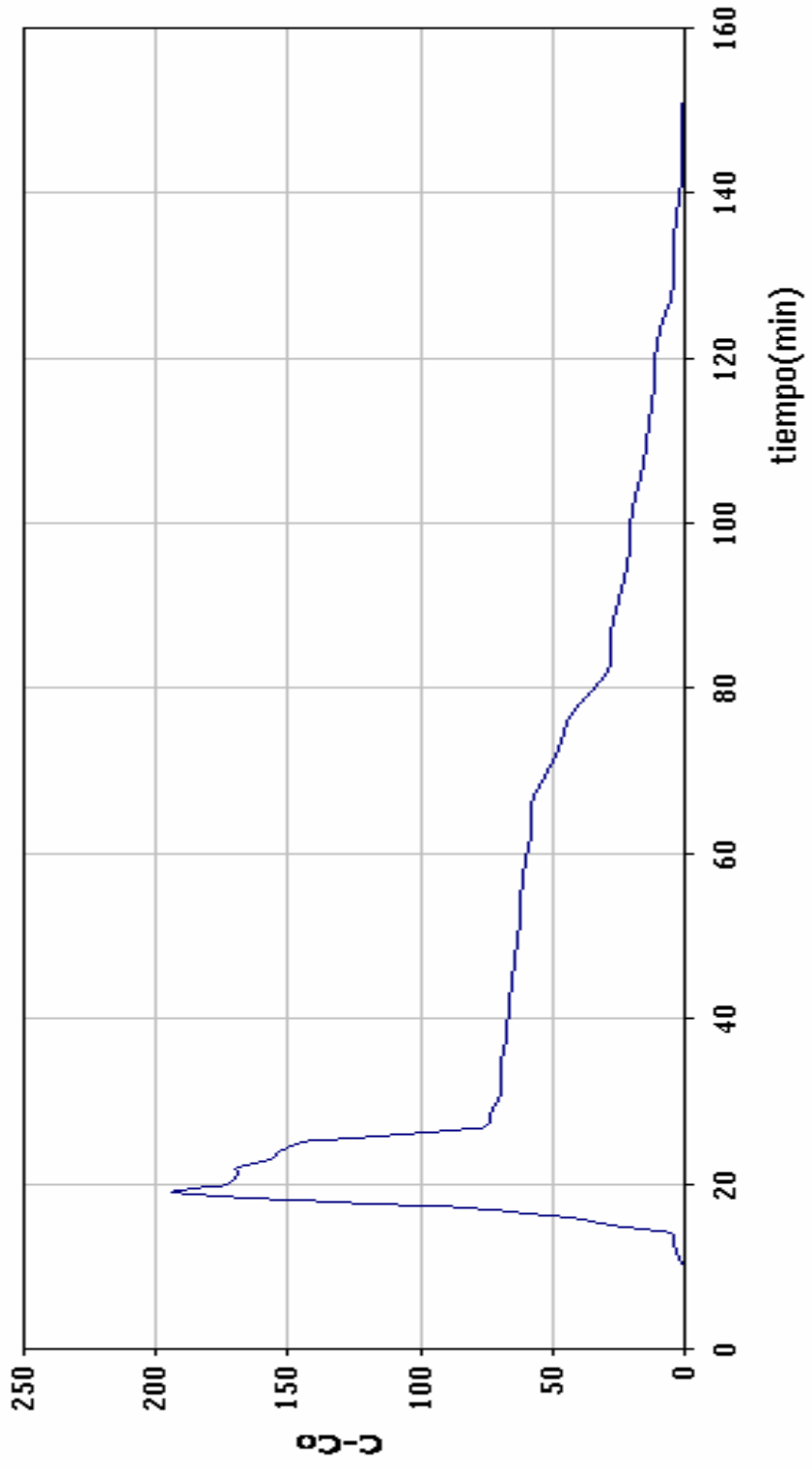
PRUEBA CON TRASADORES PRESEDIMENTADOR 2

N. Muestra	Tiempo (min)	T/To	C(microohm /cm)	C-Co	?C-Co	F(t)	1-F(t)
49	97	1.125	167	21	2925	97.176	2.824
50	102	1.183	166	20	2945	97.841	2.159
51	107	1.241	162	16	2961	98.372	1.628
52	112	1.299	160	14	2975	98.837	1.163
53	117	1.357	157	11	2986	99.203	0.797
54	122	1.415	156	10	2996	99.535	0.465
55	127	1.473	151	5	3001	99.701	0.299
56	132	1.531	150	4	3005	99.834	0.166
57	137	1.589	149	3	3008	99.934	0.066
58	142	1.647	147	1	3009	99.967	0.033
59	147	1.705	147	1	3010	100.00	0.000
60	152	1.763	146	0	3010	100.00	0.000
61	157	1.821	146	0	3010	100.00	0.000
62	162	1.879	146	0	3010	100.00	0.000

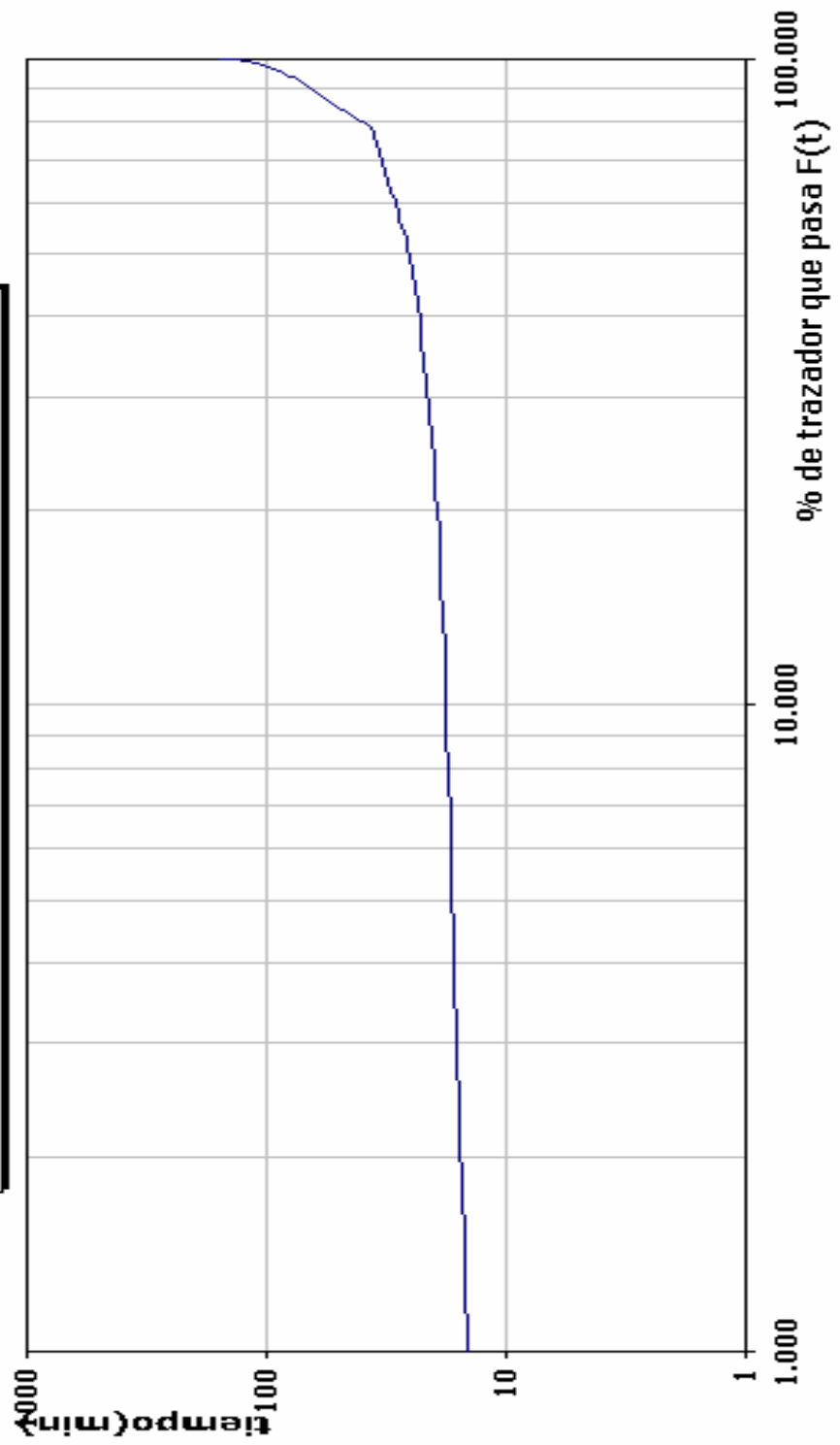
**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS
HIDRÁULICAS PRESEDIMENTADOR No.2 MÉTODO
WOLF-RESNICK**



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS
PRESEDIMENTADOR No.2
MÉTODO CONVENCIONAL



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS
PRESEDIMENTADOR No. 2
ÍNDICE DE MORRIL



ANEXO 45

AFORO CANALETA PARSHALL No.1.

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.900							0.801	0.900	0.250	0.225	0.180
0.250	0.900	0.360	159	50	3.180	0.801	0.801	0.816	0.900	0.450	0.405	0.331
0.700	0.900	0.360	165	50	3.300	0.831	0.831					
	0.900			50	0.000			0.851	0.900	0.450	0.405	0.345
1.150	0.900	0.360	173	50	3.460	0.871	0.871					
	0.900			50	0.000			0.826	0.900	0.450	0.405	0.335
1.600	0.900	0.360	155	50	3.100	0.781	0.781					
	0.900			50	0.000			0.824	0.900	0.450	0.405	0.334
2.050	0.900	0.360	172	50	3.440	0.866	0.866					
	0.900			50	0.000			0.866	0.900	0.250	0.225	0.195
									TOTAL	2.300 m	2.070 m ²	1.718 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.860							0.689	0.860	0.250	0.215	0.148
0.250	0.860	0.340	144	50	2.880	0.726	0.689		0.860	0.450	0.387	0.273
	0.860	0.680	129	50	2.580	0.652		0.705				
0.700	0.860	0.340	148	50	2.960	0.746	0.721					
	0.860	0.680	138	50	2.760	0.697		0.720	0.860	0.450	0.387	0.279
1.150	0.860	0.340	130	50	2.600	0.657	0.719					
	0.860	0.680	155	50	3.100	0.781		0.751	0.860	0.450	0.387	0.291
1.600	0.860	0.340	162	50	3.240	0.816	0.784					
	0.860	0.680	149	50	2.980	0.751		0.759	0.860	0.450	0.387	0.294
2.050	0.860	0.340	145	50	2.900	0.731	0.734					
	0.860	0.680	146	50	2.920	0.736		0.906	0.860	0.250	0.215	0.195
									TOTAL	2.300 m	1.978 m ²	1.479 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.810							0.654	0.810	0.250	0.203	0.132
0.250	0.810	0.320	132	50	2.640	0.667	0.654					
	0.810	0.640	127	50	2.540	0.642		0.689	0.810	0.450	0.365	0.251
0.700	0.810	0.320	149	50	2.980	0.751	0.724					
	0.810	0.640	138	50	2.760	0.697		0.690	0.810	0.450	0.365	0.252
1.150	0.810	0.320	115	50	2.300	0.582	0.657					
	0.810	0.640	145	50	2.900	0.731		0.740	0.810	0.450	0.365	0.270
1.600	0.810	0.320	159	50	3.180	0.801	0.824					
	0.810	0.640	168	50	3.360	0.846		0.826	0.810	0.450	0.365	0.301
2.050	0.810	0.320	158	50	3.160	0.796	0.829					
	0.810	0.640	171	50	3.420	0.861		0.829	0.810	0.250	0.203	0.168
									TOTAL	2.300 m	1.863 m ²	1.374 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.650							0.487	0.650	0.250	0.163	0.079
0.250	0.650	0.250	101	50	2.020	0.512	0.487					
	0.650	0.500	91	50	1.820	0.462		0.495	0.650	0.450	0.293	0.145
0.700	0.650	0.250	108	50	2.160	0.547	0.502					
	0.650	0.500	90	50	1.800	0.457		0.511	0.650	0.450	0.293	0.149
1.150	0.650	0.250	105	50	2.100	0.532	0.520					
	0.650	0.500	100	50	2.000	0.507		0.522	0.650	0.450	0.293	0.153
1.600	0.650	0.250	104	50	2.080	0.527	0.525					
	0.650	0.500	103	50	2.060	0.522		0.502	0.650	0.450	0.293	0.147
2.050	0.650	0.250	102	50	2.040	0.517	0.480					
	0.650	0.500	87	50	1.740	0.442		0.480	0.650	0.250	0.163	0.078
									TOTAL	2.300 m	1.495 m ²	0.751 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.640							0.510	0.640	0.250	0.160	0.082
0.250	0.640	0.250	102	50	2.040	0.517	0.510					
	0.640	0.500	99	50	1.980	0.502		0.503	0.640	0.450	0.288	0.145
0.700	0.640	0.250	96	50	1.920	0.487	0.497					
	0.640	0.500	100	50	2.000	0.507		0.507	0.640	0.450	0.288	0.146
1.150	0.640	0.250	97	50	1.940	0.492	0.517					
	0.640	0.500	107	50	2.140	0.542		0.515	0.640	0.450	0.288	0.148
1.600	0.640	0.250	95	50	1.900	0.482	0.512					
	0.640	0.500	107	50	2.140	0.542		0.496	0.640	0.450	0.288	0.143
2.050	0.640	0.250	89	50	1.780	0.452	0.480					
	0.640	0.500	100	50	2.000	0.507		0.480	0.640	0.250	0.160	0.077
									TOTAL	2.300 m	1.472 m ²	0.740 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.690							0.542	0.690	0.250	0.173	0.094
0.250	0.690	0.280	112	50	2.240	0.567	0.542					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.546	0.690	0.450	0.311	0.169
0.700	0.690	0.280	115	50	2.300	0.582	0.550					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.550	0.690	0.450	0.311	0.171
1.150	0.690	0.280	110	50	2.200	0.557	0.550					
	0.690	0.560	107	50	2.140	0.542		0.547	0.690	0.450	0.311	0.170
1.600	0.690	0.280	113	50	2.260	0.572	0.545					
	0.690	0.560	102	50	2.040	0.517		0.548	0.690	0.450	0.311	0.170
2.050	0.690	0.280	112	50	2.240	0.567	0.552					
	0.690	0.560	106	50	2.120	0.537		0.552	0.690	0.250	0.173	0.095
									TOTAL	2.300 m	1.587 m ²	0.869 (m ³ /seg)

AFORO Y CALCULO DEL CAUDAL

Ecuación de la tabla de calibración: $V_p = N/T * 0.2491 + 0.009$

Sitio de muestreo: canal de acceso a la canaleta Parshall.

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.620							0.415	0.620	0.250	0.155	0.064
0.250	0.620	0.220	80	50	1.600	0.408	0.415					
	0.620	0.440	83	50	1.660	0.423		0.424	0.620	0.450	0.279	0.118
0.700	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447	0.432					
	0.620	0.440	82	50	1.640	0.418		0.435	0.620	0.450	0.279	0.121
1.150	0.620	0.220	87	50	1.740	0.442	0.437					
	0.620	0.440	85	50	1.700	0.432		0.444	0.620	0.450	0.279	0.124
1.600	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447	0.450					
	0.620	0.440	89	50	1.780	0.452		0.437	0.620	0.450	0.279	0.122
2.050	0.620	0.220	88	50	1.760	0.447	0.425					
	0.620	0.440	79	50	1.580	0.403		0.425	0.620	0.250	0.155	0.066
									TOTAL	2.300 m	1.426 m ²	0.616 (m ³ /seg)

AFORO CANALETA PARSHALL No. 2												
DISTANCIA DESDE PR (m)	PROFUNDIDADES					VELOCIDADES			SECCIÓN			CAUDAL PARCIAL (m ³ /seg)
	PT (m)	PA (m)	N	T (s)	N/T rev/seg	VP	VMV	VM	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	
						m/seg						
0.000	0.510							0.328	0.510	0.250	0.128	0.042
0.250	0.510	0.200	64	50	1.280	0.328	0.328					
								0.343	0.510	0.450	0.230	0.079
0.700	0.510	0.200	70	50	1.400	0.358	0.358					
								0.375	0.510	0.450	0.230	0.086
1.150	0.510	0.200	77	50	1.540	0.393	0.393					
								0.380	0.510	0.450	0.230	0.087
1.600	0.510	0.200	72	50	1.440	0.368	0.368					
								0.363	0.510	0.450	0.230	0.083
2.050	0.510	0.200	70	50	1.400	0.358	0.358					
								0.358	0.510	0.250	0.128	0.046
									TOTAL	2.300 m	1.173 m ²	0.423 (m ³ /seg)

ANEXO 46

RESULTADO DE LA PRUEBA EN PLANTA CON SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.

PRUEBA EN PLANTA CON SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO

FECHA	HORA	CAUDAL (l/s)	DOSIS DE SULFATO LIQ (ppm)	TURBIEDADES (UNT)						
				AGUA CRUDA	AGUA SEDIMENTADA				AGUA FILTRADA	AGUA TRATADA
					1	2	3	4		
30-10-03	09:00	780	45	280	3.3	2.1	3.1	2.8	0.13	0.2
30-10-03	11:00	772	40	210	1.3	2.5	1.8	0.7	0.17	0.16
30-10-03	13:00	754	34	140	1.3	2.2	1.5	1	0.15	0.18
30-10-03	14:00	740	27	130	1.9	3	1.9	1.1	0.16	0.18
30-10-03	15:00	736	23	120	2.6	3.1	2.5	2.3	0.2	0.22
30-10-03	16:00	720	29	90	3.1	3.1	3.5	3.3	0.14	0.18
31-10-03	11:00	850	40	750	1.9	2.1	-	1.7	0.33	0.3
31-10-03	12:00	825	38	600	1.9	1.9	-	1.6	0.3	0.25
31-10-03	13:00	770	36	420	2.1	1.9	2.6	1.1	0.2	0.25
31-10-03	15:00	681	35	160	2.7	2.4	1.9	1.6	0.12	0.14
31-10-03	16:00	516	25	110	2.7	1.2	1.2	2.2	0.12	0.12
31-10-03	17:00	842	22	120	2.6	3.2	1.8	2.3	0.14	0.14
31-10-03	18:00	718	25	100	2.6	4.6	2.9	2	0.14	0.16
31-10-03	19:00	723	22	75	4	2.7	2	1.4	0.18	0.14
31-10-03	20:00	749	23	90	3	1.7	1.2	1.1	0.18	0.16
31-10-03	21:00	742	28	100	3	1.5	1	1	0.2	0.18

PRUEBA EN PLANTA CON SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO

FECHA	HORA	CAUDAL (l/s)	DOSIS DE SULFATO LIQ (ppm)	pH							
				AGUA CRUDA	AGUA SEDIMENTADA				AGUA FILTRADA	AGUA TRATADA	
					1	2	3	4			
30-10-03	09:00	780	45	8.09	6.69	6.56	6.62	6.67	6.86	7.93	
30-10-03	11:00	772	40	8.08	6.4	6.39	6.52	6.63	6.78	6.72	
30-10-03	13:00	754	34	8.09	6.62	6.72	6.77	6.8	6.72	6.95	
30-10-03	14:00	740	27	8.08	6.69	6.82	6.79	6.77	6.79	6.81	
30-10-03	15:00	736	23	8.08	6.81	6.85	6.89	6.88	6.82	6.84	
30-10-03	16:00	720	29	8.06	6.85	6.88	6.93	6.94	6.77	6.84	
31-10-03	11:00	850	40	8.12	6.81	6.78	6.9	6.92	7.01	7.01	
31-10-03	12:00	825	38	8.08	6.74	6.71	6.8	6.79	6.97	6.97	
31-10-03	13:00	770	36	8.07	6.8	6.78	6.9	6.92	6.96	6.95	
31-10-03	15:00	681	35	8.12	6.78	6.8	6.84	6.9	6.91	6.92	
31-10-03	16:00	516	25	7.94	6.8	6.84	6.9	6.75	6.75	6.92	
31-10-03	17:00	842	22	7.87	6.7	6.68	6.75	6.77	6.77	6.93	
31-10-03	18:00	718	25	7.85	6.78	6.75	6.83	6.81	6.81	6.86	
31-10-03	19:00	723	22	7.96	6.75	6.74	6.84	6.83	6.83	6.86	
31-10-03	20:00	749	23	8.05	6.89	6.9	6.95	6.97	6.97	6.87	
31-10-03	21:00	742	28	7.98	6.8	6.81	6.92	6.91	6.91	6.79	

PRUEBA EN PLANTA CON SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO

FECHA	HORA	CAUDAL (l/s)	DOSIS DE SULFATO LIQ (ppm)	COLOR (UPC)						
				AGUA CRUDA	AGUA SEDIMENTADA				AGUA FILTRADA	AGUA TRATADA
					1	2	3	4		
30-10-03	09:00	780	45	750	9	7	10	10	1	0
30-10-03	11:00	772	40	584	3	4	3	0	1	0
30-10-03	13:00	754	34	420	3	5	3	2	0	0
30-10-03	14:00	740	27	397	5	6	5	2	0	0
30-10-03	15:00	736	23	390	4	6	5	4	1	0
30-10-03	16:00	720	29	292	7	6	9	7	0	0
31-10-03	11:00	850	40	750	5	7	3	8	0	0
31-10-03	12:00	825	38	600	5	5	1	7	0	0
31-10-03	13:00	770	36	490	6	4	8	3	1	0
31-10-03	15:00	681	35	362	8	7	8	5	0	0
31-10-03	16:00	516	25	326	8	4	5	5	0	0
31-10-03	17:00	842	22	340	3	4	5	5	0	0
31-10-03	18:00	718	25	298	4	8	6	3	0	0
31-10-03	19:00	723	22	209	9	8	6	3	1	0
31-10-03	20:00	749	23	262	9	4	3	4	0	0
31-10-03	21:00	742	28	302	8	3	3	2	1	0

ANEXO 47

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS PARA EL DISEÑO DEL TANQUE.



CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

FECHA 21 de Octubre de 2003
PROYECTO Diseño de dosificador de Sulfato de Aluminio Líquido
LOCALIZACION PTAP de Boscoria

TERZAGHI

$$q_{ult} = 57.41 \text{ Ton/m}^2$$

ϕ	32°
ϕ_1	21.3°
C	1.4 T/m ²
N_c	16.16
N_q	7.31
N_γ	5.22

q_{scb}	1.26 T/m ²
γ	1.8 T/m ³
B	4m

para el diseño se utilizara la capacidad portante admisible

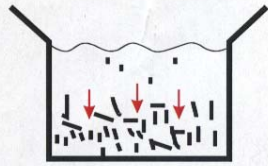
$$q_{adm} = 28.70 \text{ Ton/m}^2$$

Nota:

para el calculo de la capacidad portante se utilizaron los valores mas bajos de angulo de friccion y cohesion, para poder estar sobre el valor minimo.

ANEXO 48

FICHA TÉCNICA Y CERTIFICACIÓN DE LA NSF PARA EL USO DE EXRO 621 AYUDANTE DE FLOCULACIÓN.



EXRO 621 Clarificación

FLOCULANTE - ACONDICIONADOR DE LODOS

DESCRIPCION GENERAL

EXRO 621 es un floculante orgánico derivado de la acrilamida, de alto peso molecular y carácter levemente aniónico, utilizado eficientemente en los procesos de espesamiento y aguas residuales, procesos mineros, como floculante en clarificación en aguas de pozo. Aprobado para ser usado en aguas potables por la NSF de USA y GB de Londres para uso hasta 1 mg/l.

PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

Carácter Iónico	Levemente Aniónico
pH (sol. 0.5%)	4 - 9

MANEJO Y APLICACION

EXRO 621 tiene una vida útil de 2 años en el saco, mientras esté seco; 2 semanas para la solución madre del 0.5 al 1% en agua fresca y de 3 días para la solución del 0.1% al 0.05% que esté lista para usar.

Para disolver el producto en agua se debe agitar uniformemente aproximadamente por 60 minutos a una temperatura $\geq 15^{\circ}\text{C}$.

PRECAUCIONES

EXRO 621 debe ser manejado con prendas de protección. En caso de contacto con los ojos, lave con abundantemente con agua y busque atención médica. No establezca contacto prolongado con el producto. Las prendas contaminadas deben ser lavadas antes de ser reutilizada. No ingiera. En combinación con el agua o humedad, forma un residuo muy resbaloso. Debe ser almacenado en lugares frescos. Mantenga el saco bien cerrado cuando no se encuentre en uso.

PRESENTACION

EXRO 621 se distribuye en sacos de 25 kilos.

Fecha Act.: Mar/03.



BOGOTÁ: Cra. 41 No. 167-27 PBX: 669 6941 - Fax: 672 3408
BARRANQUILLA: Calle 55 No. 44-112 Tels.: 340 9815 - 41 9125 - 796 412 Fax: 341 9231
CALI: Cra. 85B No. 104-117 Barrio El Limonar II Etapa. Tels.: 339 2715 - 315 2611 Fax: 315 2833
MEDELLIN: Cra. 48B No. 15 Sur-85 Piso 2 Tels.: 313 2635 - 313 2487 Fax: 313 1663
IBAGUE: Cra. 4B Bis No. 32B-60 Barrio La Francia Telefax: 700 486
PEREIRA: Calle 20 No. 19-58 La Pradera - Dosquebradas Telefax: 30 1793 - 30 5597
CARTAGENA: Calle Chancleta No. 10B-17 Tel. 660 1886 Fax: 660 1814
BUCARAMANGA: Centro Comercial Chicamocha Local 217 Tel.: 635 8611 Fax: 645 9565
VILLAVICENCIO: Centro Comercial Villacentro Local 45 Telefax: 663 2321



Bogotá D.C., 21 de agosto de 2003
DT-2185

Ingeniero
ISIDRO ARDILA
Jefe de Planta
Acueducto Planta Bosconia
Bosconia, Cesar

Ref.: Exro 621

Por solicitud del Ing. Rodney Bernal, certificamos a usted que la materia prima usada en nuestro producto Exro 621 es la AN910PWG. Este polímero de floculación está aprobado para tratamientos de aguas potables por la norma ANSI/NSF Standard 60.

Adjunto encontrará copia del listado en que aparece esta materia prima.

Para cualquier información adicional estaremos gustosos de poderla atender.

Cordialmente,

Carmen L. Escobar
QCA. CARMEN LUCIA ESCOBAR
Directora de Investigación y Desarrollo

Copia: -Ing. William Abreu - Gerente División Polímeros - Exro Ltda.
-Ing. Rodney Bernal - División Polímeros - Exro Ltda.
Araceli A.

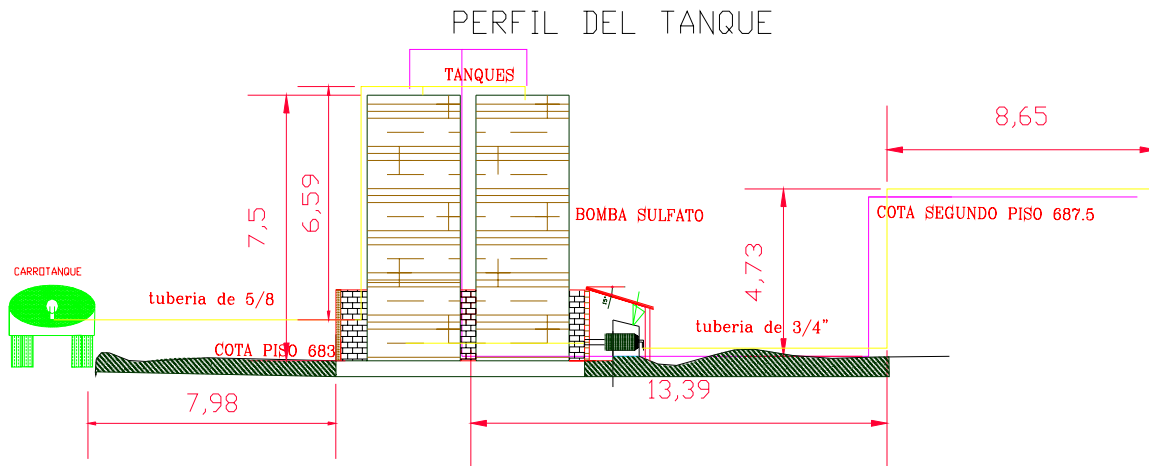
Clarifloc [®] N-6310	Coagulation & Flocculation	3 mg/L
Clarifloc [®] S-402	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AH 912 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AN 905 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AN 910 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AN 923 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AN 934 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] AN 945 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 1145 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 140 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 230 PWG	Coagulation & Flocculation	3 mg/L
Floerger [®] EM 235 PWG	Coagulation & Flocculation	3 mg/L
Floerger [®] EM 240 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 430 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 440 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 533 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 533B30 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 630 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 640 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] EM 840 PWG	Coagulation & Flocculation	2 mg/L
Floerger [®] EMA 20 PWG	Coagulation & Flocculation	.9 mg/L
Floerger [®] FA 920 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FA 920 VHM PWG	Coagulation & Flocculation	1mg/L
Floerger [®] FO 4115 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4125 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4190 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4240 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4290 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4350 PWG	Coagulation & Flocculation	1mg/L
Floerger [®] FO 4440 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Floerger [®] FO 4650 PWG	Coagulation & Flocculation	1 mg/L
Secodyne [®] 1420	Coagulation & Flocculation	.9 mg/L

[PC] Polyacrylamide Products Certified by NSF International comply with 40 CFR 14. requirements for percent monomer and dose.

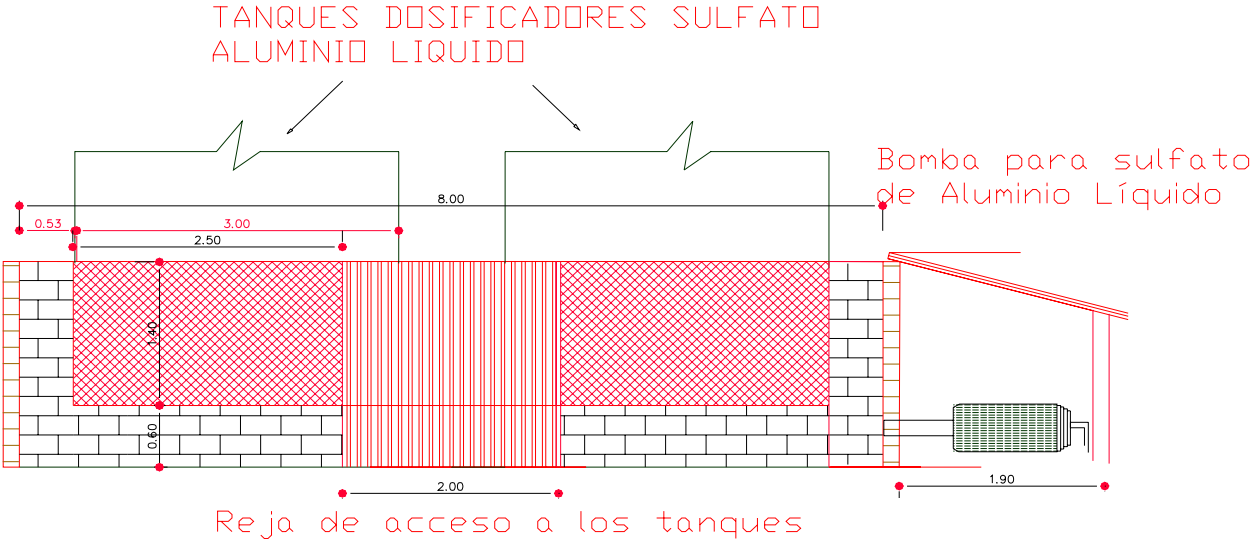
ANEXO 48

DETALLES DEL TANQUE DE SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.

PLANO DE PERFIL



DETALLES DE LA ESTRUCTURA QUE BORDEA EL TANQUE



DETALLES DEL REFUERZO PLACA DE SOPORTE DE LOS TANQUES.

