

EVALUACION, DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA
(ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P)

ARIEL CAPACHO GUTIERREZ
EDINSON JAVIER URIBE JAIMES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005

EVALUACION, DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA
(ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P)

ARIEL CAPACHO GUTIERREZ
EDINSON JAVIER URIBE JAIMES

Trabajo de Grado presentado como
requisito parcial para obtener el titulo
de Ingeniero Civil.

Director de Proyecto:
Ing. Jorge Eliécer Gómez Sánchez

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2005

DEDICADO....

Al TODO PODEROSO, por darme la fuerza para llegar a cumplir esta meta.

A mis padres, Marco Tulio e Isbelia Maria
Por el amor, el aminor y su dedicación.

A mi familia, por el cariño y la ayuda que me han brindado.

A mis amigos, por estar conmigo en todo momento.

A mi compañero de proyecto Edinson, por haber asumido conmigo el reto

A la familia Acosta Páez, por su apoyo y por acogerme como uno más de su
familia

A Diana Marcela, por su Amor, por estar conmigo en las buenas y en las malas,
por quererme y por estar conmigo siempre.

GRACIAS TOTALES.....

ARIEL CAPACHO GUTIERREZ

DEDICATORIA

A Daniel Felipe, mi Hijo, por ser quien me guía siempre.

A mis padres Carlos y Débora, por su incansable apoyo.

A mis hermanas Yenni y Diana, por estar siempre cuando las necesito.

A mi familia.

A mis amigos, pocos pero sinceros.

A mi compañero de proyecto, Ariel.

A la madre de mi hijo.

Y a todos los que están, estuvieron y estarán en mi camino.

EDINSON JAVIER URIBE JAIMES

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos sinceros a todos aquellos que colaboraron de una u otra forma en la realización de este proyecto, especialmente:

A la Ingeniera Yolanda Arboleda T. por la oportunidad brindada para desarrollar este proyecto.

Al Ingeniero Jhon Barreneche, jefe de la planta, por su orientación y colaboración a lo largo de todo el proceso.

Al personal que labora en la planta de tratamiento.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	3
1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE	4
1.1 GENERALIDADES	4
1.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE APROVECHAMIENTO.	4
1.2.1 Características Generales.....	4
1.2.2 Calidad del agua del Río Frío.....	5
1.2.3 Caudales confiables de la Planta de Potabilización de Floridablanca.....	5
1.3 ELEMENTOS COMPONENTES DEL SISTEMA	5
1.3.1 Captación y Conducción.	7
1.3.2 Estructuras de admisión de agua cruda.	8
1.3.2.1 Localización.....	8
1.3.2.2 Componentes.	10
1.3.2.3 Funcionamiento.	10
1.3.3 Mezcladores rápidos.	11
1.3.3.1 Localización.....	11
1.3.3.2 Componentes.	12
1.3.3.3 Funcionamiento.	12
1.3.4 Floculadores.....	13
1.3.4.1 Localización.....	13
1.3.4.2 Componentes.	14
1.3.4.2.1 Floculador mecánico (Sección Original).....	14
1.3.4.2.2 Floculador hidráulico (Sección de Ampliación).....	15
1.3.4.3 Funcionamiento.	16
1.3.5 Sedimentadores.	17
1.3.5.1 Localización.....	17
1.3.5.2 Componentes.	17
1.3.5.2.1 Sedimentadores Optimizados (Convencional – Placas).....	17
Sección Original.	17
1.3.5.2.2 Sedimentador de Placas (Sección de Ampliación).	19
1.3.5.3 Funcionamiento.	21
1.3.5.3.1 Sedimentador Sección Original.....	21
1.3.5.3.2 Sedimentador Sección Ampliación.....	21

1.3.6 Filtros Rápidos.	22
1.3.6.1 Localización.	22
1.3.6.2 Componentes.	22
1.3.6.2.1 Seis unidades filtrantes.	22
1.3.6.2.2 Sistema de control de entrada de agua a los filtros (afluente). ...	24
1.3.6.2.3 Sistema de control de salida de agua filtrada (efluente).....	24
1.3.6.2.4 Sistema de control de agua para lavado.	24
1.3.6.2.5 Sistemas de control de salida de agua de lavado.	25
1.3.6.2.6 Sistema de control del relavado, en los cuatro filtros de la Sección Original.....	25
1.3.6.2.7 Sistema neumático de accionamiento de las válvulas y regulación de flujos de agua.....	25
1.3.6.2.8 Sistema de medición de pérdida de carga del filtro.....	26
1.3.6.2.9 Consolas (mesas) de control de operación de los filtros.	26
1.3.6.2.10 Canal recolector de agua filtrada.	26
1.3.6.2.11 Válvulas de diámetro de 12" y 20".....	28
1.3.6.2.12 Compresores IHM de 9HP.	28
1.3.6.2.13 Sistema de bombeo de agua para lavado de filtros.	28
1.3.6.3 Funcionamiento	29
1.3.7 Equipos de dosificación.....	30
1.3.7.1 Localización.	31
1.3.7.2 Componentes.	31
1.3.7.3 Funcionamiento.	34
1.3.8 Edificio de operaciones.	35
1.3.8.1 Localización.	35
1.3.8.2 Componentes.	36
1.3.9 Caseta de cloración.....	38
1.3.9.1 Localización.	38
1.3.9.2 Componentes.	38
1.3.9.3 Funcionamiento.	39
1.3.10 Tanque de distribución.	39
1.3.10.1 Localización.	39
1.3.10.2 Componentes.	39
1.3.10.3 Funcionamiento.	40
2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE FUNCIONAMIENTO.....	42
2.1 PROCESO COAGULACIÓN.....	42
2.1.1 Determinación de la Dosis óptima de Coagulante.....	44
2.1.1.1 Características de la muestra de agua cruda.	45
2.1.1.2. Condiciones de los ensayos.	45
2.1.2. Determinación de la Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio.	49
2.1.2.1 Características de la muestra de agua cruda.	49

2.1.2.2	Condiciones de los ensayos.	49
2.1.3.	Determinación del pH óptimo de Pretratamiento para Coagulación.....	51
2.1.3.1	Características de la muestra de agua cruda.	52
2.1.3.2	Condiciones de los ensayos.	52
2.1.4	Determinación del Gradiente y el Tiempo óptimo de mezcla rápida.	54
2.1.4.1	Características de la muestra de agua cruda.	55
2.1.4.2.	Condiciones de los ensayos.	55
2.2	PROCESO DE FLOCULACIÓN.....	58
2.2.1	Gradiente de mezcla lenta y tiempo de retención óptimos.....	61
2.2.1.1	Características de la muestra de agua cruda.	61
2.2.1.2	Condiciones de los ensayos.	61
2.2.1.3	Eficiencia Remocional.	62
2.2.2	Determinación de los parámetros óptimos de Floculación.	63
	Grafico 10. Relación de Velocidades de Agitación optimas con periodos de floculación.....	72
2.3	PROCESO DE SEDIMENTACIÓN	73
2.3.1	Eficiencia de la Sedimentación.....	73
2.3.1.1	Características de la muestra de agua cruda.	73
2.3.1.2	Condiciones de los ensayos.	73
3.	EVALUACION Y DIAGNOSTICO	78
3.1	CARACTERISTICAS DE LA CIUDAD	79
3.1.1	Aspectos generales.....	79
3.1.2	Aspectos demográficos	79
3.1.3	Aspectos económicos	80
3.1.4	Aspectos sociales.....	81
3.1.5	Aspecto vial y servicio de transporte público.....	81
3.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TURBIEDADES.....	83
3.2.1	Diagnóstico.....	87
3.3	ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.....	88
3.3.1	Sulfato de Aluminio:	88
3.3.1.1	Diagnostico	89
3.3.2	Polímero:.....	90
3.3.2.1	Diagnóstico.	90
3.3.3	Cal:.....	91
3.3.3.1	Diagnóstico.	92
3.3.4	Cloro:.....	93

3.3.4.1 Diagnóstico.....	93
3.4 DOSIFICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.....	95
3.4.1 Calibración De Caudales De Arrastre.....	95
3.4.1.1 Caudal de arrastre del Sulfato de Aluminio.....	95
3.4.1.2 Caudal de arrastre de Cal.....	96
3.4.1.3 Caudal de arrastre de polímero.....	97
3.4.1.4 Caudal de arrastre de Cloro.....	98
3.4.2 Dosificación De Sulfato De Aluminio.....	98
3.4.2.1 Dosificador de Sulfato N° 1 – Sección Planta Antigua.....	99
3.4.2.2 Dosificador de Sulfato N° 2. Sección Ampliación.....	101
3.4.2.3 Diagnóstico.....	104
3.4.3 Dosificación de Cal.....	105
3.4.4 Dosificador de Polímero.....	106
3.4.4.1 Dosificador de Polímero Tipo Bomba Prominent de diafragma. Sección Antigua.....	106
3.4.4.2 Dosificador de polímero tipo bomba de Pistón. Sección ampliación.....	108
3.4.5 Diagnóstico.....	111
3.5 ESTRUCTURA DE MEDICIÓN DE CAUDAL CANALETA PARSHALL.....	112
3.5.1 Diagnóstico.....	116
3.6 MEZCLA RÁPIDA.....	117
3.6.1 Sección Antigua.....	117
3.6.1.1 Eficiencia del Proceso.....	117
3.6.1.1.1 Características de la muestra de Agua Cruda.....	118
3.6.1.1.2 Condiciones de los ensayos.....	118
3.6.1.2 Tiempo de Retención de la Unidad de Mezcla Rápida.....	120
3.6.1.3 Intensidad de Mezcla rápida.....	120
3.6.1.4 Diagnostico.....	121
3.6.2 Sección Ampliación.....	122
3.6.2.1 Eficiencia del Proceso.....	122
3.6.2.1.1 Características de la muestra de Agua Cruda.....	122
3.6.2.1.2 Condiciones de los ensayos.....	123
3.6.2.2 Tiempo de Retención de la Unidad de Mezcla Rápida.....	124
3.6.2.3 Intensidad de Mezcla rápida.....	125
3.6.2.4 Diagnostico.....	126
3.7 FLOCULACIÓN.....	129
3.7.1 Sección Antigua.....	129
3.7.1.1 Tiempo de Formación inicial del floc.....	129
3.7.1.2 Tamaño del Floc producido.....	130

3.7.1.3	Eficiencia comparativa del proceso.	130
3.7.1.3.1	Características de la muestra de Agua Cruda.....	131
3.7.1.2	Condiciones de los ensayos	131
3.7.1.4	Intensidad de Floculación.	133
3.7.1.5	Características hidráulicas del floculador.....	135
3.7.1.5.1	Condiciones hidráulicas y tiempos de retención del floculador mecánico:.....	135
3.7.1.5.1.1	Tiempo teórico de retención (t_0):.....	135
3.7.1.5.1.2	Análisis por el método de Wolf – Resnick.....	136
3.7.1.5.1.2.1	Determinación del flujo Pistón (p):	137
3.7.1.5.1.2.2	Determinación de espacios muertos (m):.....	137
3.7.1.5.1.2.3	Determinación del flujo mezclado (M):	137
3.7.1.5.1.3	Análisis siguiendo procedimientos convencionales:	139
3.7.1.5.1.4	Índice de Morrill:	141
3.7.1.6	Diagnostico.	142
3.7.2	Sección Ampliación.	144
3.7.2.1	Tiempo de formación inicial del floc.....	144
3.7.2.2	Tamaño del Floc producido:	145
3.7.2.3	Eficiencia comparativa del proceso.	146
3.7.2.3.1	Características de la muestra de Agua Cruda.....	146
3.7.2.3.2	Condiciones de los ensayos.....	146
3.7.2.4	Intensidad de Floculación	147
3.7.2.5	Características hidráulicas del Floculador Hidráulico.	148
3.7.2.5.1	Condiciones hidráulicas y tiempos de retención del floculador hidráulico.....	148
3.7.2.5.1.1	Tiempo teórico de retención (t_0):.....	149
3.7.2.5.1.2	Análisis por el método de Wolf – Resnick.....	150
3.7.2.5.1.2.1	Determinación del flujo Pistón (p):	150
3.7.2.5.1.2.2	Determinación de espacios muertos (m):.....	150
3.7.2.5.1.2.3	Determinación del flujo mezclado (M):	151
3.7.2.5.1.3	Análisis siguiendo procedimientos convencionales.	152
3.7.2.5.1.4	Índice de Morrill	153
3.7.2.6	Diagnostico.....	155
3.8	SEDIMENTACION.....	158
3.8.1	Sección Antigua.	158
3.8.1.1	Determinación de la Eficiencia.	158
3.8.1.1.1	En Función de la Calidad del Agua Sedimentada.	158
3.8.1.1.2	En Función de la calidad del Agua Cruda.	159
3.8.1.1.3	Determinación de las Condiciones Hidráulicas.	162
3.8.1.1.3.1	Caracterización de la zona de entrada a los sedimentadores	162
3.8.1.1.3.2	Líneas de Flujo.	163

3.8.1.1.3.3	Caudal real de trabajo de los sedimentadores optimizados	164
3.8.1.1.3.4	Tiempo de retención teórico.	171
3.8.1.1.3.5	Análisis por el Método de Wolf – Resnick.	174
3.8.1.1.3.5.1	Determinación del flujo Pistón (p):	174
3.8.1.1.3.5.2	Determinación de espacios muertos (m):	175
3.8.1.1.3.5.3	Determinación del flujo mezclado (M):	175
3.8.1.1.3.6	Análisis siguiendo procedimientos convencionales.	175
3.8.1.1.3.7	Índice de Morrill.	177
3.8.1.1.3.8	Determinación de la carga superficial real.	178
3.8.1.2	Diagnostico.	178
3.8.2	Sección Ampliación	182
3.8.2.1	Determinación de la Eficiencia.	182
3.8.2.1.1	En Función de la Calidad del Agua Sedimentada.	182
3.8.2.1.2	En Función de la calidad del Agua Cruda.	183
3.8.2.2	Determinación de las Condiciones Hidráulicas.	185
3.8.2.2.1	Líneas de Flujo.	185
3.8.2.2.2	Caudal real de trabajo del sedimentador de Alta Rata	188
3.8.2.2.3	Tiempo teórico de retención.	191
3.8.2.2.4	Análisis por el Método de Wolf – Resnick.	191
3.8.2.2.4.1	Determinación del flujo Pistón (p):	191
3.8.2.2.4.2	Determinación de espacios muertos (m):	192
3.8.2.2.4.3	Determinación del flujo mezclado (M):	192
3.8.2.2.5	Análisis Siguiendo Procedimientos Convencionales.	193
3.8.2.2.6	Índice de Morrill.	194
3.8.2.2.7	Determinación De Carga Superficial La Real.	194
3.8.2.3	Diagnostico.	196
3.9	FILTRACION	198
3.9.1.	CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE FILTRACION.	198
3.9.1.1	Velocidad y caudal de filtración.	198
3.9.1.2	Pérdida de Carga.	199
3.9.1.3	Número de Mintz.	204
3.9.1.4	Calidad del filtrado inicial.	207
3.9.2	Eficiencia del proceso.	209
3.9.2.1	Calidad de agua filtrada.	209
3.9.2.2	Correlación Turbiedad de agua sedimentada – turbiedad de agua filtrada.	211
3.9.2	CARACTERISTICAS DEL LECHO FILTRANTE.	212
3.9.2.1	GRANULOMETRIA DEL MEDIO FILTRANTE.	212
3.9.2.2	BOLAS DE BARRO	215
3.9.3	PROCESO DE LAVADO	216
3.9.3.1	Caudal y velocidad de lavado.	216
3.9.3.2	Proceso de Lavado.	217

3.9.3.3 Expansión del lecho filtrante.....	219
3.9.4 Lecho de grava.....	220
3.10 DESINFECCION.....	223
3.10.1 Cloro Residual.....	223
4. VULNERABILIDAD.....	224
4.1 Definición:.....	224
4.1.1 Las amenazas naturales.....	224
4.1.1.1 Efectos de las amenazas naturales en los sistemas.....	227
4.2 Análisis De Vulnerabilidad Para Los Sistemas De Agua Potable.....	235
4.3 Analisis De Vulnerabilidad.....	238
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	244
5. BIBLIOGRAFIA.....	249

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calidad Del Agua Cruda En El Sistema De Río Frío.	6
Tabla 2. Caudales Registrados En 2004 (Lt/Seg.) Planta De Potabilización De Floridablanca	6
Tabla 3. Resultado De Los Ensayos.- Dosis Óptima De Sulfato De Aluminio Para Turbiedad $T_0 = 14$ U.N.T.	46
Tabla 4. Relación Entre Turbiedades Agua Cruda Y Dosis Óptimas De Coagulante.	47
Tabla 5. Resultado De Los Ensayos. Concentración Óptima De Solución De Sulfato De Aluminio.	50
Tabla 6. Relación Entre Turbiedad Agua Cruda Y Concentración Óptima De Solución De Sulfato De Aluminio.	50
Tabla 7. Resultado De Los Ensayos. Ph Óptimo De Coagulación.....	53
Tabla 9. Resultado De Los Ensayos. Mezcla Rápida	56
Tabla 10. Relación Turbiedad Agua Cruda – Velocidades Y Tiempos Óptimos De Mezcla Rápida.	57
Tabla 11. Resultado De Los Ensayos. Mezcla Lenta.....	62
Tabla 12. Eficiencia Remocional.....	64
Tabla 13. Valores Críticos De Parámetros De Floculación.	65
Tabla 14. Gradientes Óptimos Para Cada Compartimiento Del Floculador. Sección Antigua.....	70
Tabla 15. Gradientes Óptimos Para Cada Compartimiento Del Floculador. Sección Ampliación.	70
Tabla 16. Resultado De Los Ensayos. Sedimentación.	74
Tabla 17. Tarifa Vigente Del Acueducto Metropolitano De Bucaramanga E.S.P. S.A.....	82

Tabla 18. Cuadro De Frecuencia Mensuales Totales.	83
Tabla 19. Cuadro De Frecuencia De Turbiedades – Rango <20 U.N.T.....	84
Tabla 20. Frecuencia Acumulada De Turbiedades. Rango < 20 U.N.T.	84
Tabla 21. Consumo Mensual De Sulfato De Aluminio. Enero 2004 A Diciembre 2004.....	89
Tabla 22. Consumo Mensual De Polímero. Enero 2004 A Diciembre 2004.	91
Tabla 23. Consumo Mensual De Cal. Enero 2004 A Diciembre 2004.	93
Tabla 24. Consumo Mensual De Cloro. Enero 2004 A Diciembre 2004.	94
<i>Tabla 25. Caudal De Arrastre Para El Dosificador N° 1. Sección Planta Antigua.</i>	95
<i>Tabla 26. Caudal De Arrastre Para El Dosificador N° 2. Sección Planta Ampliación.</i>	96
Tabla 27. Caudal De Arrastre De Cal.	96
<i>Tabla 28. Caudal De Arrastre Dosificador De Polímero. Sección Planta Antigua.</i>	97
<i>Tabla 29. Caudal De Arrastre Dosificador De Polímero. Sección Planta Ampliación.</i>	97
Tabla 30. Caudal De Arrastre De Cloro.	98
Tabla 31. Calibración Dosificador De Sulfato N°1 Sección Planta Antigua.....	99
Tabla 32. Grado De Concentración Dosificador N° 1.....	101
Tabla 33. Calibración Dosificador De Sulfato N° 2 – Sección Ampliación.....	102
Tabla 34. Grado De Concentración Dosificador N° 2.....	104
Tabla 35. Calibración De Dosificador De Polímero Bomba Prominent. Sección Antigua.....	107
Tabla 36. Calibración Del Dosificador Tipo Bomba De Pistón. Sección Ampliación.	109
Tabla 37. Relación De Caudales Por Aforo De Molinete – Instrumento Scada. ...	112
Tabla 38. Relación Para La Calibración De La Reglilla De Medición De Caudales En La Canaleta Parshall.	114
Tabla 39. Ensayos De Comparación Para Eficiencia De Mezcla Rápida.	118
To = 35 U.N.T.	118

Tabla 40. Relación De Turbiedad De Agua Cruda – Índice De Eficiencia.	119
Tabla 41. Definición De Eficiencias. Cepis.	121
Tabla 42. Ensayos De Comparación Para Eficiencia De Mezcla Rápida.	123
To = 35 U.N.T.	123
Tabla 43. Relación De Turbiedad De Agua Cruda – Índice De Eficiencia.	124
Tabla 44. Relación De Caudales Y Gradientes De Mezcla Rápida.	126
Tabla 45. Ensayos De Comparación Para Eficiencia De Floculación.	132
Tabla 46. Relación De Turbiedad De Agua Cruda – Índice De Eficiencia.	132
Tabla 47. Gradientes Reales De Operación Del Floculador Mecánico.	134
Tabla 48. Resultado Del Ensayo Con Trazadores Para El Floculador Mecánico.	138
Tabla 49. Resumen De Los Parámetros De Evaluación Del Floculador Mecánico – Método Convencional.	143
Tabla 50. Ensayos De Comparación Para Eficiencia De Floculación.	146
Tabla 51. Relación De Turbiedad De Agua Cruda – Índice De Eficiencia.	147
Tabla 52. Gradientes Reales De Operación Del Floculador Hidráulico.	148
Tabla 53. Resultado Del Ensayo Con Trazadores Para Floculador Hidráulico.	151
Tabla 54. Resumen De Los Resultados De La Evaluación Por El Método Convencional- Floculador Hidráulico.	156
Tabla 55. Frecuencias De Agua Sedimentada- Sección Antigua.	158
Tabla 56. Turbiedades Agua Cruda Y Agua Sedimentada. Sección Antigua.	160
Tabla 56. Topograma De Turbiedades Para La Zona De Decantación Sedimentador N° 2. Turbiedad De Agua Cruda To = 6.2 U.N.T.	165
Tabla 57. Topograma De Turbiedades Placas Paralelas Inclınadas.	166
Tabla 58. Resultados De Concentración Para Revisión De Caudales De Operación Real De Los Sedimentadores.	169
Tabla 59. Relación De Caudales Reales Para Cada Unidad De Sedimentación.	170
Tabla 60. Resultado De Prueba Con Trazadores. Sedimentador Convencional Optimizado.	171

Tabla 60. Resumen De Los Resultados De La Evaluación Por El Método Convencional- Sedimentador N° 2.....	179
Tabla 61. Frecuencias De Agua Sedimentada- Sección Ampliación.	182
Tabla 62. Turbiedades Agua Cruda Y Agua Sedimentada. Sección Ampliación.	184
Tabla 63. Topograma De Turbiedades Para El Sedimentador De Alta Rata. Sección Ampliación.	186
Tabla 64. Resultados De La Prueba De Trazadores. Sedimentador De Alta Rata. Distribución Real De Caudales	188
Tabla 65. Relación De Caudales Reales Para Cada Unidad De Sedimentación.	189
Tabla 66. Resultado De Prueba Con Trazadores. Sedimentador De Alta Rata... ..	189
Tabla 67. Resumen De Los Resultados De La Evaluación Por El Método Convencional- Sedimentador Alta Rata.	196
Tabla 68. Velocidades Y Caudales De Filtrado.....	199
Tabla 69. Relación De Perdida De Carga Y Turbiedad En El Efluente Para El Filtro N° 3.....	200
Tabla 70. Relación De Perdida De Carga Y Turbiedad En El Efluente Para El Filtro N° 6.....	202
Tabla 71. Turbiedad Inicial De La Primera Agua Filtrada.	207
Tabla 72. Datos De Frecuencia Acumulada Para Turbiedad De Agua Filtrada ..	210
Tabla 73. Granulometría Del Lecho Filtrante.	213
Tabla 74. Diámetros Efectivos (D10) Y Coeficientes De Uniformidad (Cu)	215
Tabla 75. Porcentaje De Bolas De Barro.	216
Tabla 76. Caudales Y Velocidades De Lavado.....	217
Tabla 77. Turbiedad De Agua De Lavado Durante El Tiempo De Lavado.....	218
Tabla 78. Expansión Del Lecho Filtrante.	220
Tabla 80. Promedios Mensuales De Cloro Residual. Periodo De Enero 2004 – Mayo 2005.....	223
Tabla 81. Factores De Daño Sismico.	229
Tabla 82. Clasificación De La Amenaza Para La P.T.A.P. De Floridablanca	238

Tabla 83. Clasificación De La Vulnerabilidad.....	239
Tabla 84. Analisis De Vulnerabilidad En Las Personas	240
Tabla 85. Analisis De Vulnerabilidad En Los Recursos	241
Tabla 86. Analisis De Vulnerabilidad En Los Sistemas Y Procesos	242
Tabla 87. Consolidado Del Análisis De Vulnerabilidad	243

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Relación Dosis Óptima De Sulfato Vs Turbiedad Residual	47
To = 14 U.N.T	47
Grafico 2. Relación Turbiedades De Agua Cruda – Dosis Óptima De Sulfato De Aluminio	48
Grafico 3. Relación Concentración De Sulfato De Aluminio – Turbiedad Residual. To: 50 U.N.T	51
Grafico 4. Relación Ph De Pretratamiento Para Coagulación – Turbiedad Residual (U.N.T). To: 50 U.N.T.	54
Grafico 5. Relación Mezcla Rápida – Eficiencia Remocional. To: 50 U.N.T	58
Gráfico 6. Eficiencia Remocional Vs Tiempos Óptimos De Floculación.	67
To= 50 U.N.T	67
Gráfico 7. Eficiencia Remocional Vs Velocidad De Agitación Para Diferentes Periodos De Floculación. Ensayo N°3 – To = 50 U.N.T.....	68
Grafico 8. Relación Logarítmica De Valores Óptimos De Velocidades De Agitación Vs Tiempos De Floculación	69
Gráfico 9. Relación De Velocidades De Agitación Optimas Con Periodos De Floculación. Sección Antigua.....	71
Grafico 10. Relación De Velocidades De Agitación Optimas Con Periodos De Floculación.....	72
Grafico 11. Relación Tf/To Vs Velocidad De Sedimentación	76
Grafico 12. Frecuencia Acumulada De Turbiedades.	85
Gráfico 13. Frecuencia De Turbiedades – Rango < 20 U.N.T	86
Gráfico 14. Curva De Calibración Del Dosificador De Sulfato N° 1. Sección Antigua.....	100
Grafico 15. Curva De Calibración Del Dosificador N° 2. Seccion De Ampliación.....	103
Grafico 16. Curva De Calibración Dosificador De Polímero. Sección Planta Antigua.....	108

Gráfico 17. Curva De Calibración De Polímero Tipo Pistón. Sección Ampliación.	110
Gráfico 18. Relación De Caudales Scada Vs Caudales Por Molinete. Calibración De Canaleta Parshall.....	113
Gráfico 19. Calibración De Canaleta Parshall.....	115
Grafico 20. Diagrama De La Canaleta Parshall.	128
Grafico 21. Diagrama De Paletas Del Floculador Mecánico.	133
Grafico 22. Método De Wolf-Resnick. Floculador Mecánico. Sección Antigua. ...	139
Grafico 23. Procedimiento Convencional. Floculador Mecánico. Sección Antigua.	140
Grafico 24. Índice De Morrill. Floculador Mecánico. Sección Antigua.....	141
Grafico 25. Método De Wolf – Resnick. Floculador Hidráulico. Sección Ampliación.	153
Grafico 26. Variación De La Conductividad Del Trazador. Floculador Hidráulico. Sección Ampliación.	154
Grafico 27. Índice De Morrill. Floculador Hidráulico. Sección Ampliación.....	154
Grafico 28. Turbiedad De Agua Sedimentada. Sección Antigua.....	159
Grafico 29. Correlación De Agua Cruda – Agua Sedimentada. Sección Antigua	161
Grafico 30. Diagrama Del Canal De Conducción Entre Floculación Y Sedimentación.	163
Grafico 31. Topogramas De Turbiedades-Decantador. Sedimentador N° 2.	167
Grafica 32. Topogramas De Turbiedades. Placas Paralelas–Sedimentador N° 2	168
Grafico 33. Método De Wolf – Resnick. Floculador N° 2. Sección Antigua.....	174
Grafico 34. Variación De La Conductividad Del Trazador. Sedimentador N° 2. Sección Antigua.....	176
Gráfico 35. Índice De Morrill. Sedimentador N° 2. Sección Antigua.....	177
Grafico 36. Frecuencia De Turbiedad De Agua Sedimentada.	183
Sección Ampliación.....	183
Grafico37. Correlación Agua Cruda- Agua Sedimentada. Sección Ampliación. .	185

Grafico 37. Topograma De Turbiedades – Sedimentador De Alta Rata.	187
Grafico 38. Método De Wolf – Resnick. Sección Ampliación.....	192
Grafico 39. Variación De La Conductividad Del Trazador. Sección Ampliación.	193
Grafico 40. Índice De Morrill. Sección Ampliación.....	195
Grafico 41. Relación Entre Perdida De Carga Y Tiempo De Carrera De Filtración. Filtro N° 4.....	201
Grafico 42. Relación Entre Perdida De Carga Y Tiempo De Carrera De Filtración. Filtro N° 6.....	204
Gráfico 43. Determinación Del Número De Mintz. Filtro N° 4.	206
Gráfico 44. Determinación Del Número De Mintz. Filtro N° 6.	206
Grafico 45. Calidad Del Filtrado Inicial.....	208
Gráfico 47. Curva De Frecuencia Acumulada De Turbiedad Para El Agua Filtrada	210
Gráfico 48. Criterio De Eficiencia De Filtros Rápidos En Condiciones Normales.	211
Gráfico 49. Granulometría Del Lecho Filtrante.	213
Grafico 50. Proceso De Lavado De Los Filtros.....	218
Grafico 5. Curvas De Nivel Del Lecho De Grava.	221

RESUMEN

TITULO: EVALUACION, DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA (ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P)^{*}

AUTORES: Ariel Capacho Gutiérrez, Edinson Javier Uribe Jaimes.[†]

PALABRAS CLAVES.

Medición de caudal, Mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, optimización, evaluación, diagnostico, vulnerabilidad, recomendaciones.

RESUMEN.

El agua al ser uno de los principales recursos para el sostenimiento humano requiere de un excelente tratamiento para su apto consumo. La planta de tratamiento, al encontrarse en un nivel de eficiencia regular requiere variaciones en sus procesos más importantes de tratamiento, los cuales son: Captación, conducción, medición de caudal, mezcla rápida, floculación, sedimentación filtración, ajuste de pH, cloración, almacenamiento y distribución.

La optimización se realiza buscando los parámetros óptimos de cada procesos por medio de pruebas de laboratorio que revisan cada parámetros físico-químicos para obtener las condiciones más favorables aplicables al tratamiento.

Los procedimientos empleados para el análisis e identificación de los problemas presentes en el tratamiento son los desarrollados por el CEPIS y otros presentados por el ACODAL.

^{*} Proyecto de Grado

[†] Facultad de ingenierías Físico mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Director: Ing. Jorge Eliécer Gómez Sánchez.

La evaluación de los procesos se desarrolla por métodos experimentales de campo dando como resultado una gama de parámetros para relacionarlos con los optimizados.

El diagnóstico y las recomendaciones se obtuvieron luego de comparar los datos de la evaluación con los parámetros optimizados y de diseño de cada reactor.

La vulnerabilidad busca determinar cuáles son las amenazas que se presentan en el sistema y determinar el nivel de riesgo en el que se encuentra el mismo.

KEY WORDS

Flow mensuration, Mixes quick, flocculation, sedimentation, filtration, optimization, evaluation, diagnose, vulnerability, recommendations.

ABSTRACT.

The water to be one of the main resources for the human maintenance requires of an excellent treatment for their capable consumption. The treatment plant, when being in a level of regular efficiency requires variations in its most important processes of treatment, which are: Reception, conduction, flow mensuration, mixes quick, flocculation, sedimentation, filtration, pH adjustment, chlorination, storage and distribution.

The optimization is carried out looking for the good parameters of each process by means of laboratory tests that revise each physical-chemical parameters to obtain the more favorable conditions applicable to the treatment.

The procedures used for the analysis and identification of the present problems in the treatment are the developed ones for the CEPIS and others presented by the ACODAL.

The evaluation of the processes is developed by experimental methods of field giving a range of parameters as a result to relate them with those optimized.

Diagnoses and recommendations were obtained after comparing the data of the evaluation with the optimized parameters and of design of each reactor.

The vulnerability looks for to determine which are the threats that are presented in the system and to determine the level of risk in which one.

INTRODUCCION

Uno de los principales objetivos del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga es el de brindar agua de buena calidad, que cumpla con los requisitos de calidad establecidos en el Decreto 475 de 1998 que reglamenta la calidad del agua en Colombia, o sea ser incapaz de transmitir al consumidor cualquier enfermedad de origen hídrico, estar libre de sustancias tóxicas, no contener cantidades excesivas de sustancias minerales u orgánicas y dar una grata sensación a los sentidos por su claridad (estando libre de turbidez y color) y por la ausencia de sabores y olores desagradables; y de cantidad suficiente para suplir las necesidades básicas en las diferentes áreas de atención de la compañía.

Floridablanca es una de las ciudades de Santander que a tenido mayor desarrollo, incrementado considerablemente su población en un tiempo relativamente corto, generando una mayor demanda de servicios públicos, es por esto que el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga se vio en la necesidad de ampliar su planta de tratamiento de agua potable ubicada en Floridablanca teniendo en cuenta que era necesario para mantener la calidad de vida. En el tratamiento del agua, la calidad, el costo, la continuidad y la cantidad, tienen que ser considerados como elementos básicos de suma importancia, para la administración, operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento y para la toma de decisiones que conduzcan a cumplir la función de tratamiento con eficiencia y economía.

Por esto la Planta de Tratamiento debe funcionar con la preocupación de dar óptimo rendimiento para así conseguir un comportamiento armónico y resultados efectivos en la prestación del servicio.

Teniendo en cuenta lo anterior, mediante este trabajo pretendemos presentar al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga el estado actual de la P.T.A.P ³que surte de agua potable al municipio de Floridablanca y, aprovechando nuestro conocimiento potencial, presentar alternativas para la optimización y mejor funcionamiento de la misma.

³ Planta de Tratamiento de Agua Potable.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar la evaluación y diagnóstico de la P.T.A.P de Floridablanca (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P), y proponer las soluciones para la optimización de las operaciones en la P.T.A.P.

Objetivos Específicos

- Actualizar los planos de topografía general de la P.T.A.P de Floridablanca (levantamientos topográficos, hidráulico y arquitectónico).
- Revisar el comportamiento hidráulico de las diferentes etapas de tratamiento de la P.T.A.P.
- Realizar la evaluación de los diferentes procesos de tratamiento en la P.T.A.P de Floridablanca para:
 - Establecer la capacidad instalada en la planta de tratamiento
 - Determinar su nivel de funcionamiento actual.
- Desarrollar el diagnóstico de la P.T.A.P tomando como base los parámetros de diseño específicos para cada proceso y los resultados de la evaluación, cumpliendo con la normatividad establecida, y determinar cuál o cuáles procesos retardan el funcionamiento óptimo de la planta.
- Realizar un análisis de vulnerabilidad de la planta de tratamiento.
- Aportar soluciones a los posibles problemas de funcionamiento de la planta, teniendo en cuenta los parámetros óptimos de funcionamiento.
- Buscar otras alternativas de tratamiento posibles a implementar en la planta para mejorar su funcionamiento.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE

1.1 GENERALIDADES

La planta de Floridablanca se localiza en la zona Sur-oriental del Área Metropolitana de Bucaramanga, en la parte alta del Barrio Caracolí del municipio de Floridablanca, a una altura media de 1042 msnm.

Su construcción se inicio alrededor de los años 1970 – 1971; y se optimizó para aumentar la capacidad de agua tratada en los años de 1976 -1977 y ampliada para tratar todo el caudal aprovechable del Río Frío, en los años de 1982 – 1983.

La planta de tratamiento de Floridablanca fue diseñada para tratar aguas provenientes de la hoya del Río Frío, para abastecer la zona sur del Área Metropolitana y una parte de Girón. Funciona simultáneamente con las plantas de Morro Rico y la Flora del sistema del Río Tona y la planta de Bosconia del sistema del Río Surata, para formar entre todas el Sistema de Tratamiento de Aguas del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

1.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE APROVECHAMIENTO.

1.2.1 Características Generales.

El Río Frío es captado aguas arriba de la antigua Cervecería Clausen y con una corta conducción entregada a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Floridablanca. El Río Frío nace 3 Km. al oeste del Alto Picacho a una elevación cercana a los 2850 msnm, su curso es originalmente N y en la Corcova se

convierte en S-W. Su capacidad de arrastre es alta, especialmente causada por el alto grado de meteorización de los suelos y por la alta pendiente de su cauce.

1.2.2 Calidad del agua del Río Frío.

Para efectos de control de calidad del agua se realizan análisis Físico-químicos y bacteriológicos diariamente en la planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca. La tabla 1 muestra algunos resultados durante un periodo de un mes. Analizando los resultados de la tabla 1 se puede concluir que el agua es apta para ser potabilizada.

1.2.3 Caudales confiables de la Planta de Potabilización de Floridablanca.

Tomando como referencia los caudales registrados en 2004 de la tabla 2 se puede concluir que la Planta de Potabilización de Floridablanca, por lo general, mantiene el caudal por debajo del caudal de diseño de la planta que es de $0,620 \text{ m}^3/\text{seg}$, lo que indica que la capacidad máxima de trabajo de la planta no ha sido aun superada.

1.3 ELEMENTOS COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema de tratamiento se compone de dos secciones:

Sección 1: Sección Original optimizada de tipo convencional con capacidad nominal de tratamiento de 400 Lps.

Sección 2: Sección de Ampliación de tipo convencional pero con sedimentación de alta rata, con una capacidad nominal de tratamiento de 220 Lps.

Tabla 1. Calidad del agua cruda en el sistema de río Frío.

Determinación	Componente	Promedio mg / L
<i>Temperatura</i>	°C	20
<i>Turbiedad</i>	NTU.	12.7
<i>Color</i>	UPC.	42.8
<i>Olor</i>	-----	Sin
<i>Calcio</i>	Ca	3.7
<i>Magnesio</i>	Mg	1.22
<i>Hierro</i>	Fe	0.10
<i>Cloruros</i>	Cl	7.8
<i>Fosfatos</i>	PO ₄	1.0
<i>Nitritos</i>	N	0.02
<i>Nitratos</i>	N	0.88
<i>Sulfatos</i>	SO ₄	3.2
<i>Amonio</i>	N	0.35
<i>Sílice</i>	SiO ₂	22
<i>Alcalinidad total</i>	CaCO ₃	29.7
<i>Dureza total</i>	CaCO ₃	22
<i>pH</i>		7.8
<i>Bióxido de carbono</i>	CO ₂	0
<i>Sólidos disueltos</i>	NaCl	0
<i>Oxígeno disuelto</i>	O ₂	7.7
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/100ml	9006
<i>Coliformes Fecales</i>	UFC/100ml	2250

Tabla 2. Caudales registrados en 2004 (L/seg.) Planta de Potabilización de Floridablanca

Mes	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct	Dic
<i>Medio</i>	571	571	569	570	519	536	544	547	539	542	536
<i>Máximo</i>	621	594	606	599	589	568	563	573	582	576	575
<i>Mínimo</i>	456	497	499	520	533	419	502	525	483	452	468

La capacidad nominal total de tratamiento de la Planta de Potabilización de Floridablanca es de 620 Lps.

La planta consta de los siguientes elementos componentes:

- Captación y conducción.
- Estructura de admisión de agua cruda.
- Mezcladores rápidos.
- Floculadores.
- Sedimentadores.
- Filtros rápidos.
- Dosificadores.
- Sistema de telemetría.
- Edificio de operación.
- Tanque de distribución.
- Controles de salidas a las redes.

1.3.1 Captación y Conducción.

El agua es captada por medio de una bocatoma de fondo construida a principios del año 2002 y aprovechando la antigua bocatoma lateral que la Cervecería Clausen instaló en el Río Frío, las que se comunican con un primer desarenador y se unen por un canal abierto de concreto y piedra, que se conservan en buenas condiciones. A lo largo de la conducción del canal abierto encontramos dos desarenadores más que ayudan separar el material de arrastre del agua cruda.

El agua del último desarenador es transportada por gravedad, a través de 3 tuberías paralelas de asbesto-cemento. Dos de estas de 14" de diámetro y una longitud de 965 metros, que alimentan la Sección Original con un caudal de 400

Lps y una tercera tubería de 16" de diámetro, que alimenta la Sección de Ampliación con un caudal de 220 Lps.

Fotografía 1. Bocatoma Lateral y de Fondo.



El flujo a presión en estas tuberías tiene velocidades del orden de 2 m/seg y 1.93 m/seg respectivamente, las cuales evitan problemas de abrasión y sedimentación en la tuberías.

1.3.2 Estructuras de admisión de agua cruda.

Estas estructuras están destinadas a recibir el caudal de agua cruda, proveniente de la conducción y llevarlas a los dispositivos de medición y de ingreso a las instalaciones de tratamiento.

1.3.2.1 Localización. Las estructuras de admisión están localizadas:

- Sección Original: entre el punto terminal de las dos líneas de la conducción de agua, desde la captación (tuberías de 14") y la cámara de mezcla rápida.

Fotografía 2. Cámara de Llegada. Sección Original.



- Sección de Ampliación: entre el punto terminal de la línea de conducción para la ampliación (tubería de 16") y la canaleta Parshall.

Fotografía 3. Canal de Aquietamiento. Sección Ampliación.



1.3.2.2 Componentes.

- Aforadores tipo **Lo-loss**, con transmisor diferencial **d/p cell** y registrador e indicador de caudales, por medio de un sistema neumático localizados en el laboratorio para la sección original. Además, actualmente la planta esta realizando estos aforos por medio de unos medidores de caudal (**Endress and Hoser**) electrónicos que se encuentran a prueba.
- Aforador tipo canaleta Parshall de 12" en la garganta, provisto de paso de medición y reglilla graduada en lps, así como un sensor ultrasónico y registrador localizado en el laboratorio para la sección de ampliación.
- Cámaras de llegada y quietamiento: Una situada antes de la mezcla rápida en la Sección Original; otra cerca de la canaleta Parshall en la Sección de Ampliación.
- Conducto de excesos en tubería de 12" conectada a una de las líneas de 14", para arrojar agua al sistema de desagüe de la planta.
- **By-pass** o paso directo en tubería de 14" entre la línea de 14" y la de ampliación de 16". Permite el paso de agua de una a otra estructura de admisión de agua cruda.
- Canal de aforo, formado por un tramo de canal rectangular de un metro de ancho, entre la canaleta Parshall; y otro tramo de 0,9 m de ancho, entre esta y el Floculador hidráulico de la Sección de Ampliación.
- Válvulas (**F'13 – F'14 – F'15 – F'16**) de 14" de diámetro y válvulas (**F'17 – F'18**) de 16" de diámetro, para control de los flujos de entrada a cada una de las secciones y para el **By-pass**.

1.3.2.3 Funcionamiento.

El caudal que llega por las líneas de conducción se distribuye entre las dos

secciones de tratamiento mediante la regulación de las válvulas y aforo en los dispositivos respectivos.

En las cámaras de llegada y aquietamiento se produce la pérdida de presión y de velocidad del agua que llega por las tuberías de conducción. De estas el agua pasa a la cámara de mezcla rápida (Sección Original) y a la canaleta Parshall (en la Sección de Ampliación)

1.3.3 Mezcladores rápidos.

Los mezcladores cumplen la función de dispersar los coagulantes en toda la masa de agua a tratar lo mas homogéneamente posible, mediante la agitación turbulenta por la energía cinética disipada en el resalto hidráulico (mezclador hidráulico) de la canaleta Parshall o por la acción mecánica de paletas rotatorias (mezclador mecánico), con el objeto de desestabilizar las partículas presentes en el agua, y optimizar el proceso de coagulación que se lleva acabo en estas unidades. En la actualidad el mezclador mecánico se encuentra fuera de servicio y la agitación es producida por la energía cinética disipada en el resalto hidráulico, generada por los tabiques ubicados entre la cámara de llegada y los mezcladores mecánicos.

1.3.3.1 Localización.

En la Sección de Ampliación, la mezcla de los coagulantes con el agua se efectúa en la canaleta Parshall y en la Sección Original la mezcla de coagulantes se efectúa en un vertedero entre la cámara de llegada y los mezcladores mecánicos.

1.3.3.2 Componentes.

- Cámara de mezcla compuesta por tres secciones: una de agitación hidráulica de tabiques de 2.75 m de longitud y 1.55 m de ancho y dos cámaras de 1.45 x 1.55 m de superficie y 1.5 de profundidad para la Sección Original.
- Canaleta Parshall para la Sección de Ampliación.

1.3.3.3 Funcionamiento.

El caudal de agua que va ser tratado recibe las soluciones de coagulantes dosificadas en los correspondientes equipos de dosificación y es agitada por los mezcladores, para que se efectúe la dispersión y mezcla homogénea de los coagulantes y se produzca la coagulación.

De las cámaras de mezcla el agua pasa a los Floculadores, por vertedero en la Sección Original y por canal en la Sección de Ampliación.

Fotografía 4. Cámaras de Mezcla Rápida. Sección Original.



Fotografía 5. Canaleta Parshall. Sección Ampliación.



1.3.4 Floculadores.

Su finalidad es formar flocs o grupos suficientemente pesados para su posterior decantación, mediante la agitación lenta del agua que pasa a través de ellos, después de la coagulación producida con la adición de alumbre y polímeros (o sin él).

1.3.4.1 Localización.

La planta dispone de dos unidades de floculación, localizada de la siguiente manera:

- Sección Original: al lado de la cámara de llegada y de la cámara de mezcla rápida y contigua al Sedimentador No. 4.

- Sección de Ampliación: en el extremo oriental de la planta al lado del canal de aforo, la cámara de llegada y el Sedimentador de placas.

1.3.4.2 Componentes.

1.3.4.2.1 Floculador mecánico (Sección Original)

Canal de entrada de 0,6 m de ancho y 0,7 m de altura y de una longitud de 6m provisto de 9 orificios de sección variable por los cuales pasa el agua al Floculador.

- Tanque de floculación, de 16.5 m de longitud por 6 m de ancho y por 3.33 m de altura útil. Esta dividido longitudinalmente en 4 compartimientos separados por tabiques verticales de madera.

Fotografía 6.Floculadores Mecánicos. Sección Original.



- Cuatro conjuntos de agitadores de paletas y eje horizontal, cada uno con dos juegos de paletas metálicas.
- Una cámara seca, en la cual se encuentran los equipos de accionamiento de los agitadores, consistentes en 4 motores de 3 HP marca **D'ALSAR**, adecuados para producir las velocidades de rotación de los agitadores (rpm de 1800), uno para cada compartimiento. Cada uno de los motores es accionado por un interruptor colocado en la columna de soporte del motor-reductor.
- Pantalla difusora de caudal de salida del Floculador, con orificio para paso de agua.
- Desagüe por válvula (**F´ 35**) de fondo de diámetro de 12”.

1.3.4.2.2 Floculador hidráulico (Sección de Ampliación)

- Tanque de floculación hidráulica de flujo horizontal, dividido en tres zonas, la primera de velocidad relativamente alta, de 6,6 m de ancho total y canales de 0,71 m de ancho promedio y 1.65 m de profundidad; la segunda de velocidad media, de 8,20 m de ancho total y canales de 0,83 m de ancho promedio y 1.65 m de profundidad; la tercera de baja velocidad, de 5,83 m de ancho total y canales de 0,98 m de ancho promedio y 1,65 m de profundidad. Hay un total de 36 canales separados por tabiques de concreto de 9 cms promedio por los cuales pasa el agua en forma de ida y vuelta.
- Canal de paso directo entre el canal de aforo y el canal de entrada al Sedimentador, de 0,7 m de ancho promedio.
- Compuerta deslizante (**C-2**) para control de agua de entrada al Floculador y compuerta deslizante (**C-1**) para control de entrada de agua al canal de paso directo.

Fotografía 7. S Floculador hidráulico. Sección de Ampliación.



- Sistema de desagüe del tanque, ubicado en le medio y a la salida del Floculador, controlado por las compuertas (**F´ 61 - F´ 62**) de 12" x 12".

1.3.4.3 Funcionamiento.

El caudal de agua que va a ser floculada, luego de la aplicación de los coagulantes en los mezcladores rápidos pasa a los tanques de floculación.

En su paso por los compartimientos del Floculador mecánico va siendo agitado suavemente por los agitadores de paletas; igualmente en su recorrido por los canales del Floculador hidráulico es agitada suavemente. En ambos casos con la agitación se produce la floculación de las partículas causantes de la turbidez, o sea la formación de flocs de buen peso y velocidad de asentamiento.

Al final de su recorrido por el Floculador el agua sale por el canal de conexión del Floculador a los Sedimentadores.

1.3.5 Sedimentadores.

Los Sedimentadores cumplen la función de separar las partículas o flocs suspendidas en el agua mediante la decantación de éstas, depositándose en el fondo de los Sedimentadores.

1.3.5.1 Localización.

- Sección Original: En esta sección existen cuatro unidades de sedimentación, localizadas al lado del Floclador mecánico y con su extremo final dando frente a la batería de filtros.
- Sección de Ampliación: En esta sección existe una unidad de sedimentación, con dos compartimientos localizadas entre el Floclador hidráulico, la galería de operación de los filtros en el edificio de operaciones y el filtro No 5.

1.3.5.2 Componentes.

1.3.5.2.1 Sedimentadores Optimizados (Convencional – Placas).

Sección Original.

- Canal de conducción del agua floculada de forma variable, se extiende desde la salida del Floclador hasta el ancho total de las cuatro unidades de sedimentación.
- Compuertas de control de ingreso del agua a los Sedimentadores. Son juegos de tres compuertas de 24” de diámetro para cada unidad sedimentadora, accionadas por volantes de manejo manual.

**Fotografía 8. Sedimentadores Optimizados (Convencional – Placas).
Sección Original.**



- Canal de entrada (por orificios sumergidos) y tabique difusor (con orificios rectangulares) en cada unidad para distribuir el caudal de agua a todo lo ancho del Sedimentador.
- Cuatro tanques de sedimentación, cada uno compuesto por dos secciones:
 - Primera sección: Sedimentador convencional, de 22 m de longitud, 5,49 m de ancho, una profundidad útil de 3,36 m.
 - Segunda sección: Sedimentador de placas paralelas (decantador de alta rata), de 8 m de longitud, 5,49 m de ancho y una profundidad útil de 3,36 m, provisto de tres canaletas longitudinales y tres transversales para la recolección del agua sedimentada, además cuenta con placas planas de asbesto cemento, inclinadas a 60° y espacios entre ellas de 5 cm y soportadas en una estructura de madera.
- Compuertas de control para el paso de agua de los Sedimentadores al canal de entrada a los filtros, se distribuyen en los Sedimentadores de la siguiente forma:

- Una compuerta de 18" de diámetro (**F' 37 – F' 40 – F' 43 – F' 46**) en los Sedimentadores No 1, 2, 3 y 4.
- Dos compuertas de 12" de diámetro (**F' 36 – F'38 – F'39 – F'41 – F' 42 – F' 44**) en los Sedimentadores No. 1, 2 y 3.
- Una compuerta de 12" de diámetro (**F' 45**) en el Sedimentador No. 4.
- Canal de doble fondo: el canal superior es para la recolección del agua sedimentada para los filtros. Este canal final tiene tabiques transversales para separar a los filtros, los tabiques tienen orificios y compuertas de 8" de diámetro (**F' 47 – F' 48 – F' 49 – F' 50 – F' 51 – F' 52**) que permiten el paso de agua de uno a otro; y el canal inferior tiene como función el de desagüe del agua de lavado de los Sedimentadores.
- Válvulas de fondo de 12" de diámetro (**F' 31 – F' 32 – F' 33 – F' 34**), para desagüe de los tanques, una en cada Sedimentador.

1.3.5.2.2 Sedimentador de Placas (Sección de Ampliación).

Fotografía 9. Sedimentador de Alta Rata (Placas).Sección de Ampliación.



- Canal de agua floculada, de 0,8 m de ancho, que conduce el agua a los canales de entrada al Sedimentador.
- Decantador de alta rata (sedimentación acelerada), con un área de placas de 13,73 m longitud y 9,60 m de ancho dividido por dos compartimientos, cada uno con dos filas de 172 placas planas, inclinadas 60°, con espacios de 6 cm entre una y otra.

Cada modulo tiene:

- Canal longitudinal de doble fondo, de 0,45 m de ancho el de arriba y 0,41 m de ancho el de abajo. El canal de inferior, para el ingreso del agua floculada al Sedimentador por debajo de las placas; y el canal superior, para la recolección del agua sedimentada provenientes de las canaletas recolectoras transversales (14 por cada modulo).
 - Canal de secciones rectangulares variables, que corre longitudinalmente por el fondo, para recoger los lodos que salen de las tolvas de cada modulo por entre tubos de 3" de diámetro.
 - Compuerta cuadrada de 0,36 m x 0,36 m de sección (**F'17 – F'18**) de accionamiento neumático, para el control de de desagüe hacia el pozo de inspección y válvula mariposa (**F' 63**) de 32" de accionamiento manual ubicada para controlar las fugas en las válvulas anteriores.
 - Canal transversal al final de los canales de recolección del agua sedimentada, para la conducción del agua sedimentada hacia los filtros.
- Sistema de desagüe del Sedimentador por medio de una tubería de 16" de diámetro ubicada en el pozo de inspección.

1.3.5.3 Funcionamiento.

1.3.5.3.1 Sedimentador Sección Original.

El caudal de agua que llega por el canal de agua floculada, entra a cada una de las cuatro unidades, pasando por el canal y el tabique difusor, continuando su recorrido a lo largo del primer sector produciendo una primera decantación de las partículas mas pesadas y de mayor velocidad de asentamiento por gravedad. Luego el agua hace su recorrido por debajo de las placas del segundo sector, asciende a través de los espacios entre las placas, recogida en las canaletas de recolección y llevada a los canales recolectores, y de esté pasa al canal de agua sedimentada para ser llevada a la zona de filtración.

1.3.5.3.2 Sedimentador Sección Ampliación.

El caudal de agua floculada entra por el canal inferior de cada módulo, distribuyéndose uniformemente por los orificios de 24 cm de diámetro que el canal tiene, pasando el fluido a la sección de placas por la parte inferior de éstas y luego ascendiendo entre los espacios de las placas con un flujo laminar, siendo recogido por las canaletas de recolección y dirigido a los canales recolectores donde estos llevan el fluido al canal de agua sedimentada.

En el ascenso del agua por entre las placas se efectúa la separación de los flóculos, que se decantan, por gravedad, en las tolvas del fondo del Sedimentador.

1.3.6 Filtros Rápidos.

Los filtros cumplen la función de remover del agua sedimentada el floc que por su densidad no ha sido retenido en el proceso de sedimentación.

1.3.6.1 Localización.

El sistema de filtración esta compuesto por una batería de seis filtros rápidos, localizados en la galería de filtración, entre las dos secciones de sedimentación.

1.3.6.2 Componentes.

1.3.6.2.1 Seis unidades filtrantes.

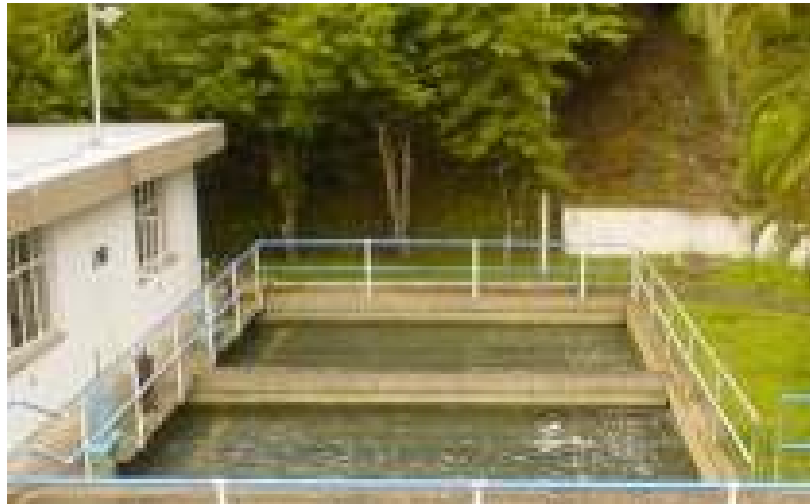
En la Sección Original encontramos cuatro filtros de sección cuadrada de 5,49 m por 5,49 m cada uno y un área filtrante de 30,14 m².

Fotografía 10. Unidades de filtración. Sección Original.



Para la sección de ampliación se haya dos filtros de 6,3 m de longitud y 5,4 m de ancho cada uno y un área filtrante de 34,02 m².

Fotografía 11. Unidades de filtración. Sección Ampliación.



El lecho filtrante esta formado por dos capas, la capa superior de 0,5 m de antracita y la capa inferior de 0,2 m de arena, colocadas sobre una capa de 0,3 m de grava, que le sirven de lecho de sostén.

El agua filtrada atraviesa el lecho combinado de antracita – arena, drenándose por un falso fondo formado por una losa y boquillas difusoras de plástico. La losa va apoyada sobre columnas, dejando un espacio entre está y el fondo del filtro por el cual corre el agua hacia el conducto efluente. Cada unidad tiene tres canaletas en sentido longitudinal para la recolección del agua de lavado.

1.3.6.2.2 Sistema de control de entrada de agua a los filtros (afluente).

- Compuertas de 18" de diámetro (**F' 37 – F' 40 – F' 43**) y de 12" de diámetro (**F' 36 – F' 38 – F' 39 – F' 41 – F' 42 – F' 44 – F' 45 – F' 46**), de accionamiento manual, en la Sección Original.
- Compuertas de 16" x 16" de sección (**F'13 – F'15**), de accionamiento por cilindro neumático, una en cada unidad de la Sección de Ampliación.

1.3.6.2.3 Sistema de control de salida de agua filtrada (efluente).

- Válvulas de 8" de diámetro (**F"1 – F"3 – F"5 – F"7**), de accionamiento por cilindro neumático desde la consola de control, y válvulas de 8" de diámetro (**F' 83 – F' 84 – F' 85 – F' 86**), de accionamiento manual, para la Sección Original (una en cada unidad). (Tubería del efluente de 8" de diámetro).
- Válvulas de 12" de diámetro (**F"9 – F"11**), de accionamiento neumático desde la consola de control, para los filtros de la Sección de Ampliación (una en cada unidad). (Tubería efluente \varnothing 12").

1.3.6.2.4 Sistema de control de agua para lavado.

- Válvulas de 14" de diámetro (**F"2 – F"4 – F"6 – F"8**), de accionamiento por cilindro neumático desde la consola de control, en los filtros de la Sección Original (una en cada unidad).
- Válvulas de 16" de diámetro (**F"10 – F"12**), de accionamiento por cilindro neumático desde la consola de control, en los filtros de la Sección de Ampliación (una en cada unidad).

1.3.6.2.5 Sistemas de control de salida de agua de lavado.

- Válvulas de fondo de 16" de diámetro (**F' 53 – F' 54 – F' 55 – F' 56 – F' 57 – F' 58 – F' 59 – F' 61**), de accionamiento manual, en la Sección Original (dos en cada unidad).
- Compuertas de 20 x 20 de sección (**F"14 – F"16**), de accionamiento por cilindro neumático, en la Sección de Ampliación (una en cada unidad).

1.3.6.2.6 Sistema de control del relavado, en los cuatro filtros de la Sección Original.

- Válvulas de 6" de diámetro (**F' 87 – F' 88 – F' 89 – F' 90**), de accionamiento manual (una en cada filtro).

1.3.6.2.7 Sistema neumático de accionamiento de las válvulas y regulación de flujos de agua.

El sistema neumático de accionamiento de las válvulas y regulación de flujos de agua (Marca FOXBORO). Consiste en:

- Placa de orificio en las tuberías efluentes de 8" de diámetro, en la sección de ampliación, como dispositivo primario de medición de caudal; transmisor del diferencial de presión tipo d/p cell; controlador-indicador de la rata de filtración instalado en la consola de control. Estos elementos forman el circuito controlador de la rata de filtración.
- Placa de orificio en las tuberías de agua para lavado de diámetro de 14" en la Sección Original y de diámetro de 16" en la Sección de Ampliación;

transmisor d/p cell; controlador de la rata de agua para lavado, situado en la consola de control.

1.3.6.2.8 Sistema de medición de pérdida de carga del filtro.

El sistema de medición de pérdida de carga del filtro consiste en:

- Tuberías para toma de altura piezométrica dentro del filtro y en la salida del efluente.
- Transmisor diferencial de presión tipo d/p cell.
- Indicador de pérdida de carga, localizado en la consola de control.

1.3.6.2.9 Consolas (mesas) de control de operación de los filtros.

Localizadas en la galería de operación, una para los filtros de la Sección Original y otra para los filtros de la Sección de Ampliación.

1.3.6.2.10 Canal recolector de agua filtrada.

Corre longitudinalmente por debajo del piso de la galería de conducción hasta la cámara de transición localizada fuera de la galería, en el andén del edificio de operación, a tuberías de diámetro de 12" y 20" que conducen el agua filtrada hasta la cámara de cloración.

Fotografía 12. Consolas de Control de Operación de Unidades de Filtración.



Fotografía 13. Tuberías de Recolección y Transporte de Agua Filtrada.



1.3.6.2.11 Válvulas de diámetro de 12" y 20".

Para control de paso del agua filtrada del canal a la cámara de cloración (**F´ 69 – F´ 70**) respectivamente.

1.3.6.2.12 Compresores IHM de 9HP.

En número de dos, para suministro de aire a presión para accionamiento de los equipos de control (válvulas y controladores de rata). El sistema de aire está provisto de un dehumificador y de trampas para purga de agua de condensación en las tuberías conductoras de aire.

1.3.6.2.13 Sistema de bombeo de agua para lavado de filtros.

- Tres motobombas con sus accesorios, uno de 30HP 4"x6" y dos de 15HP 3"x3", localizadas en la sala de bombas (primer piso), contigua a la cámara de cloración, para elevación de agua tomada del pozo de succión al tanque de agua de lavado y accionadas automáticamente con un medidor de nivel electrónico.
- Tuberías de impulsión de 4" de diámetro y 6" de diámetro hasta la conexión con la tubería que entra a la galería de conductos y de 14" de diámetro de este punto hasta el tanque de agua para lavado.
- Tanque de agua para lavado, de 10,5 m por 10,5 m de sección y 2,4m de altura útil, con capacidad para 265 m³, localizada en la parte alta de la planta. Tiene medidas de altura de agua, con indicador localizado en la galería de control.

1.3.6.3 Funcionamiento

El caudal de agua que ha pasado por el proceso de sedimentación, entra a los filtros desde los canales de agua sedimentada, controlado por las compuertas de 18" de diámetro (**F´ 37 – F´ 40 – F´ 43**) y de 12" de diámetro (**F´ 36 – F´ 38 – F´ 39 – F´ 41 – F´ 42 – F´ 44 – F´ 45 – F´ 46**) en la sección original y por las compuertas (**F´13 – F´15**), de 16" x 16" para la sección de ampliación; desciende por entre cada filtro, pasando por el lecho filtrante y el falso fondo de boquillas difusoras, para ser recogido en el espacio del fondo del filtro y salir por los conductos efluentes (tubería de 18" de diámetro en la Sección Original y de 12" de diámetro en la Sección de Ampliación) hacia el canal recolector de agua filtrada.

La rata de filtración se fija en el posicionador de la consola de control. El sistema de control de la rata de filtración "FOXBORO" acciona automáticamente las válvulas mariposa (**F"1 – F"3 – F"5 – F"7**), y (**F"9 – F"11**), del efluente, para que salga permanente el caudal prefijado.

A medida que el agua pasa por cada filtro, va causando una colmatación del lecho filtrante y en consecuencia el aumento en la pérdida de la carga (diferencia de altura piezométrica entre los niveles de agua dentro del filtro y en el efluente). Cuando la pérdida de carga llega a un valor aproximadamente a 1.5 m o también cuando la rata de filtración comienza a disminuir en la sección de ampliación, para la sección original el lavado se realiza por el tiempo de trabajo de los filtros (un tiempo de 30 horas), hay que lavar el lecho para restituirle su capacidad de filtración.

La entrada de agua al filtro para el lavado, se regula por medio de las válvulas de 14" de diámetro (**F"2 – F"4 – F"6 – F"8**), en la Sección Original y de 16" de diámetro (**F"10 – F"12**), en la Sección de Ampliación, de accionamiento en la consola de control; la salida del agua de lavado se controla por las válvulas de fondo de 16" de diámetro (**F´53 – F´54 – F´55 – F´56 – F´57 – F´58 – F´59 – F´61**),

en la Sección Original y las compuertas de 20" x 20" (**F"14 – F"16**), en la Sección de Ampliación de accionamiento neumático.

El agua para lavado, se bombea desde la cámara de succión de las bombas al tanque de agua para lavado, desde donde baja a los filtros por la tubería de 14" de diámetro.

A fin de evitar que el agua para lavado entre a los filtros cuando no se están lavando, además de tener cerradas las válvulas correspondientes (**F"2 – F"4 – F"6 – F"8**), y (**F"10 – F"12**), se cierra la válvula de 14" de diámetro (**F´ 65**) sobre la tubería de agua para lavado (localizada en el andén frontal del edificio de operación).

Esta operación será necesaria mientras exista la falla de cierre hermético de las válvulas de paso de agua para lavado de los filtros.

En los filtros de la Sección Original puede hacerse un relavado, botando el agua del filtrado inicial después del lavado, por el conducto de 6" de diámetro de desagüe de lavado.

1.3.7 Equipos de dosificación.

Los dosificadores son utilizados para aplicar al agua las dosis de las sustancias químicas o naturales requeridas para su tratamiento (sulfato de aluminio, polímeros, cal, cloro).

1.3.7.1 Localización.

La planta cuenta con equipos de dosificación de coagulante (alumbre), polímero, cal, localizados en el segundo piso en la sala de dosificación y en el tercer piso en el depósito de carga, en el extremo occidental del edificio de operaciones; y con dosificadores de cloro localizados en la caseta de cloración situada en la zona de entrada de la planta junto a los tanques de almacenamiento del agua tratada.

1.3.7.2 Componentes.

- Cuatro dosificadores de coagulante en polvo:
Tres de tipo tornillo sinfín, dos de marcas **Wallace & Tiernan**, con capacidad máxima de dosificación de 3500 – 4000 gr/min. y uno marca Jorge Triana con capacidad máxima de dosificación de 3500 gr/min. Uno de tipo cuchara con capacidad máxima de dosificación de 1870 gr/min.

Fotografía 14. Dosificador de Sulfato de Aluminio. Sección Antigua.



- Equipo Streaming Current para el control de los dosificadores, marca **Cremtrac SCC 3500XRD**.

Fotografía 15. Equipo de Medición de Diferencia de Potencial Streaming Current. Sección Antigua.



- Dos equipos de dosificación de poli-electrolito líquido de una bomba dosificadora marca **Blue – White** y otra marca **Chem & Feed**, con capacidad para aplicar 290 cm³/min. y 80 cm³/min.
- Un dosificador de cal, con capacidad para aplicar 1.4 lt/min
- Un mezclador de solución (lechada) de cal, localizado en el tercer piso del edificio, encima de la sala de dosificación.
- Equipo de dosificación de cloro, compuesto por: Dos cloradores marca **Wallace & Tiernan**, tipo A – 741 V – Notch con rotámetro para aplicar 200 y 300 libras de cloro en 24 horas, cada uno. (Post-cloración).

Fotografía 16. Equipo de dosificación de poli-electrolito líquido y Bomba Dosificadota. Sección Antigua



Fotografía 17. Dosificador de cal. Sección Antigua.



Fotografía 18 y 19. Mezclador de Solución (lechada) de Cal.



Un clorador marca **Wallace & Tiernan**, tipo A – 761 – Notch con rotámetro para aplicar 500 libras en 24 horas. (Pre-cloración).

Un distribuidor de solución conectado a los cloradores, para las líneas de pre y post cloración.

Ocho contenedores, de 900 Kg.

1.3.7.3 Funcionamiento.

En el tercer piso se encuentran localizados los dosificadores de alumbre el No. 3 tipo tornillo sinfín, y el dosificador No. 4 tipo cuchara que dosifican para la sección de ampliación. Se usan de forma alternada para su mantenimiento.

En el segundo piso en la sala de dosificación se encuentran localizados los dosificadores de alumbre, el No. 1 tipo tornillo sinfín de accionamiento manual el cual dosifica alumbre en la sección original; y el No. 2 tipo tornillo sinfín de accionamiento semiautomático el cual dosifica alumbre en la sección original.

También se encuentra ubicado el controlador de streaming current para el control de los dosificadores.

En el tercer piso se encuentra una bomba dosificadora de polímero líquido, marca **Chem & Feed**, el polímero está contenido en tambores de 220 kg, de los cuales es succionado por la bomba y dirigido al punto de aplicación en la salida de canaleta Parshall para la sección de ampliación.

En el segundo piso se encuentra bomba dosificadora de polímero líquido, marca **Blue & White**, el polímero es dirigido al punto de aplicación en la cámara de los mezcladores mecánicos en la sección original.

La lechada de cal es preparada en el tercer piso en el mezclador de cal, bajando por una tubería al dosificador de cal ubicado en el segundo piso, suministrando la dosis requerida de cal y la envía al punto de aplicación antes de la entrada al tanque de almacenamiento.

El cloro es suministrado por contenedores, dosificado por los cloradores y mezclado con agua, para ser enviado en forma de solución a los puntos de pre-cloración y post-cloración.

1.3.8 Edificio de operaciones.

1.3.8.1 Localización.

El edificio de operaciones se encuentra ubicado entre las dos secciones de tratamiento (original y ampliación).

Consta de tres pisos:

Primer piso: encontramos la sala de bombas, la planta eléctrica de emergencia, el depósito de cal y el monta cargas, la galería de conductos de los filtros, la sala de compresores, vestier y baño para los empleados, habitación del operario y su ayudante y la cocina.

Segundo piso: encontramos la sala de dosificación, la oficina del jefe de planta, el laboratorio y equipos de medición de caudal y alturas de los tanques de distribución de agua, baño, sala de operación de los filtros.

Tercer piso: se tiene el depósito del alumbre y cal a dosificar, mezclador de cal, dos dosificadores de alumbre y un dosificador de polímero.

1.3.8.2 Componentes.

- Sala de bombas, donde están las 3 motobombas (1 de 30 HP – 4” x 6” y 2 de 15 HP – 3” x 4”) que bombean agua filtrada al tanque de agua para lavado de filtros.
- Planta eléctrica de emergencia, marca Cummins, acoplada al generador eléctrico de marca IES (**Industrial Energy Sistema**) de 120 KW.
- Deposito de alumbre y cal.
- Montacargas para la elevación de materiales, sustancias al tercer piso con una de capacidad de 300 kg.
- Dos compresores (uno marca **Puska** y el otro **Ingersoll**), para el sistema neumático de accionamiento de válvulas y control de filtración.
- Sala de dosificación con los siguientes equipos:
 1. Dos dosificadores de alumbre.
 2. Un dosificador de solución de cal.
 3. Equipo de dosificación de polímero.
 4. Equipo automático de la dosis de alumbre.
 5. Balanza para pesada de alumbre.

6. Escritorio para operadores.
7. Equipo para emergencia.

Fotografía 20. Vista de los tres Pisos del Edificio de la Planta.



- Oficina jefe de planta y equipos de telecomunicación.
- Laboratorio para análisis físico-químicos, y además equipos de telemetría para el control continuo de caudales de afluente y altura de los tanques de almacenamiento y turbiedad del agua tratada.
- Mezclador de solución de cal, localizado en el tercer piso.
- Dos dosificadores de alumbre y uno de polímero, localizados en el tercer piso.
- Deposito de carga de alumbre, localizado en el tercer piso.

1.3.9 Caseta de cloración.

1.3.9.1 Localización.

La caseta de cloración se encuentra ubicada en la parte inferior de la planta, separada del edificio de operaciones por los tanques de distribución y junto a la vía de acceso a la planta.

Fotografía 21. Caseta de Cloración



1.3.9.2 Componentes.

- Dos cloradores *W & T* tipo A – 741.
- Un clorador *W & T* tipo A – 761.
- Un distribuidor de solución.
- Ocho contenedores de cloro, conectados a los cloradores.

1.3.9.3 Funcionamiento.

La caseta de cloración cumple funciones de almacenamiento y protección de los equipos de dosificación y de los contenedores de cloro. En ella se dosifica el cloro por los dos cloradores y se conduce a la cámara de cloración.

1.3.10 Tanque de distribución.

1.3.10.1 Localización.

El tanque de distribución está localizado en el nivel inferior de la planta, enterrado en la zona de patio entre los Floculadores mecánicos y la caseta de cloración.

1.3.10.2 Componentes.

- Cámara de cloración, de 1,5 m por 4,0 m de sección y 2,0 m de altura útil, situada entre la sala de bombas y el tanque de distribución.
- Pozo de succión para las bombas que suministra el agua para lavado de los filtros, localizado debajo de la sala de bombas y conectado por tubería a la cámara de cloración.
- Tanque de almacenamiento del agua filtrada, con 4220 m³ de capacidad, esta compuesto por tres compartimientos intercomunicados por orificios, dos compartimientos de 10 m por 28 m de sección cada uno y uno de 13,5 m por 25 m de sección, y los tres compartimientos con una altura útil de 4,4 m.

Los tres compartimientos tienen salida hacia las tuberías de las redes de distribución, controladas por las válvulas **(F´ 76 – F´ 77 – F´ 81)**.

- Paso directo de 16" de diámetro, del agua tratada de la cámara de cloración a la tubería de salida al sistema de distribución, controlada por la válvula **(F´ 74)** de 16" de diámetro, de paso a la conducción de La Cumbre.
- Caseta de válvulas, localizada al lado sur del tanque sobre la vía de acceso a la planta, en donde se encuentra el conjunto de válvulas que regulan el suministro de agua a las redes:
 - Salida de 10" de diámetro del tanque 1 (válvula **F´ 77**).
 - Salida de 10" de diámetro del tanque 2 (válvula **F´ 81**).
 - Salida de 10" de diámetro del tanque 3 (válvula **F´ 76**).
 - Salida de 10" de diámetro a Red de Bucarica (válvula **F´ 80**).
 - Salida de 10" de diámetro a Red de Girón (válvula **F´ 79**) fuera de servicio.
 - Salida de 10" de diámetro a Red de Florida (válvula **F´ 78**).
 - Desagüe conducción de 12" de diámetro (válvula **F´ 75**).
 - Salida de 12" de diámetro a Red de Panorama (válvula **F´ 74**) fuera de la caseta.
 - Salida de 12" de diámetro a Red de El Carmen (válvula **F´ 73**) fuera de la caseta.
 - Salida de 10" de diámetro a red de Malpaso (válvula **F´ 82**) fuera de la caseta.
 - Salida de 10" de diámetro a red de Malpaso (válvula **F´ 72**) fuera de la caseta.
- Medidor de altura del agua en el tanque, con indicador en el tablero del laboratorio.
- Conducto de desagüe, por la válvula **(F´91)** de 12" de diámetro para el compartimiento 3.

1.3.10.3 Funcionamiento.

El tanque de distribución cumple funciones de:

- Recibir y almacenar el agua filtrada proveniente de la batería de filtros.
- Permitir un período adecuado de contacto entre el cloro y el agua.
- Regular el suministro de agua en las redes de distribución.

El agua filtrada es conducida desde los filtros por el canal recolector y las tuberías de 12" y 20" de diámetro, a la cámara de cloración (en donde se aplica la solución de cloro), y de ahí pasa al tanque de distribución.

Del tanque, el agua sale hacia las redes de distribución, regulando los respectivos caudales por medio de las válvulas ubicadas en la caseta de válvulas.

Puede pasarse agua filtrada directamente desde la cámara de cloración, por el paso directo de 16" de diámetro. Cuando sea necesario vaciar el tanque, se emplea el desagüe de 12" de diámetro, controlada por la válvula **(F´ 91)**.

2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE FUNCIONAMIENTO

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las técnicas dadas en el módulo 2.7 PROCESOS UNITARIOS – ENSAYOS DE LABORATORIO del manual de instrucción del ciclo de ciencias básicas de tratamiento de agua para consumo humano OPS/EHP/CEPIS.

2.1 PROCESO COAGULACIÓN.

El proceso de coagulación se puede tomar como un proceso de pretratamiento, ya que de su efectividad depende la eficiencia de los siguientes procesos de tratamiento (floculación, sedimentación, filtración).

Algunos de los principales contaminantes de las fuente de agua son: partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos en general los cuales presentan carga negativa, factor que no permite la aproximación de unas con otras, por esto es necesaria la aplicación de un agente químico que permita juntarlas y crear una partícula mayor para facilitar su remoción.

La coagulación incluye la adición de productos químicos en el agua para desestabilizar los contaminantes y mejorar su remoción lo cual se logra generalmente por dos factores: la reducción de las fuerzas que mantienen separadas las partículas o fuerzas repulsivas y la acción de mecanismos de transporte que permitan la reacción entre ellas.

Este proceso es complejo, pues es afectado por diversos factores que influyen directamente en él, tales como: Características del agua cruda, Dosis de

coagulante, pH de pretratamiento para coagulación, Concentración de coagulante, Temperatura y Condiciones de mezcla.

Las características del agua cruda y las impurezas presentes en ella se pueden determinar a través de parámetros como pH, alcalinidad, Turbiedad, Color, etc.

El pH de pretratamiento de agua cruda para la coagulación juega uno de los papeles más importantes en el proceso de coagulación. Para el sulfato de aluminio a valores de pH menores de 6,0 aparecen especies de Aluminio cargadas positivamente permaneciendo el tiempo suficiente en solución para interactuar con las partículas y causar la desestabilización por neutralización de carga. A un pH mayor de 6,0 se forma un precipitado de aluminio que realiza el proceso de barrido de partículas.

La concentración de coagulante, dependiendo de la calidad del agua, influye en la eficiencia de la remoción del floc principalmente en el mecanismo de barrido cuando se trabajan velocidades de sedimentación bajas. En el caso de neutralización parece no influir demasiado.

La mezcla del coagulante con el agua se logra por la disipación de energía, dependiente de la intensidad de agitación o gradiente de velocidad (G) y de la duración de la agitación o Tiempo (T).

La selección de los gradientes y tiempos depende del tipo de coagulante, del mecanismo de desestabilización y de las características del agua cruda, aunque es aconsejable que el tiempo de mezcla rápida sea el menor posible debido a la rapidez de polimerización del coagulante y de su rápida absorción por las partículas.

- Mecanismos de coagulación:

Se presentan cuatro mecanismos de desestabilización de partículas: compresión de la doble capa, absorción y neutralización de carga, absorción y formación de puentes y barrido o inmersión en un precipitado.

En el caso de tratamiento de agua con sulfato de aluminio se presentan los mecanismos de absorción de especies insolubles hidrolizadas del coagulante sobre el coloide y su posterior desestabilización (absorción - desestabilización) e inmersión del coloide en un precipitado de hidróxido (barrido).

La neutralización de cargas incluye la interacción electrostática entre el coagulante químico y la partícula contaminante y ocurre cuando especies hidrolizadas de aluminio catiónicos son adsorbidos por la superficie del coloide al interactuar el coagulante con la partícula.

La coagulación por barrido se presenta con la formación de un precipitado sólido, que se presenta cuando la cantidad de coagulante aplicada es tan alta que se excede el límite de solubilidad de este compuesto. Al reaccionar el coagulante con la alcalinidad y el agua se produce una masa esponjosa llamada floc de barrido, que atrapa en su descenso a las partículas coloidales que se decantan atrapadas en el precipitado que desciende. Este mecanismo es altamente empleado en plantas de tipo convencional por producir un floc de gran tamaño.

2.1.1 Determinación de la Dosis óptima de Coagulante

OBJETIVO: Determinar la dosis de coagulante que produce la mejor desestabilización de las partículas coloidales y genere un floc pesado y compacto que facilite su remoción.

METODOLOGIA: Se realizaron pruebas de jarras, variando las dosis de Sulfato de Aluminio en muestras de agua cruda representativas manteniendo constantes los parámetros de mezcla rápida, floculación (o mezcla lenta) y sedimentación. Para la muestra de Turbiedad 14 U.N.T, se realizaron dos ensayos de jarras; el primero en un rango mayor y el segundo ensayo para refinar el rango y observar el valor más efectivo.

2.1.1.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad = 14 U.N.T.

Color = 60 U.P.C

pH = 7.55

Temperatura = 23.5 °C

2.1.1.2. Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida = 60 segundos a 100 rpm.

Floculación = 15 minutos a 40 rpm.

Sedimentación = 10 minutos.

Coagulante = Sulfato de aluminio.

Concentración de Coagulante = 1.5 %

En la tabla 3 se consignan los resultados de las pruebas de optimización para el mismo valor de Turbiedad de agua Cruda. Con estos resultados se obtiene la dosis óptima de coagulante para esa Turbiedad. Estos resultados se presentan en el grafico 1.

Tabla 3. Resultado de los ensayos.- Dosis óptima de Sulfato de Aluminio para turbiedad To = 14 U.N.T.

Ensayo Nº 1. Determinación dosis optima – prueba inicial. To = 14 U.N.T.						
Jarra Nº	Dosis de Sulfato de Aluminio (mg/L)	Turbiedad remanente U.N.T.	Color remanente U.P.C	pH	Formación de floc(Seg)	Tamaño de floc índices de Willcomb
1	10	13	53	6.84	40	B (0.5-0.75mm)
2	14	12	45	6.77	40	B (0.5-0.75mm)
3	18	9	11	6.74	40	B (0.5-0.75mm)
4	22	3.9	5	6.65	40	B (0.5-0.75mm)
5	26	3.4	2	6.48	40	B (0.5-0.75mm)
6	30	3.8	6	6.50	40	B (0.5-0.75mm)
Ensayo Nº 2. Revisión de Dosis optima para To = 14 U.N.T.						
Jarra Nº	Dosis de Sulfato de Aluminio (mg/L)	Turbiedad remanente U.N.T.	Color remanente U.P.C	pH	Formación de floc(Seg)	Tamaño de floc índices de Willcomb
1	22	3.9	10	6.65	40	B (0.5-0.75mm)
2	24	3.4	7	6.5	40	B (0.5-0.75mm)
3	26	3	0	6.45	40	B (0.5-0.75mm)
4	28	3.4	0	6.49	40	B (0.5-0.75mm)
5	30	3.9	0	6.5	40	B (0.5-0.75mm)
6	32	4	0	6.7	40	B (0.5-0.75mm)

Para la tabla 4 se realizaron un total de **26** ensayos, de los cuales se tomaron los valores más representativos luego de realizar una depuración de la información obtenida.

De los datos presentados en la tabla 4, se obtiene una ecuación que relaciona la dosis óptima de Sulfato de Aluminio y la Turbiedad del agua cruda, con la que se obtiene la grafica 2.

Grafico 1. Relación Dosis Óptima de Sulfato vs. Turbiedad Residual $T_o = 14$ U.N.T

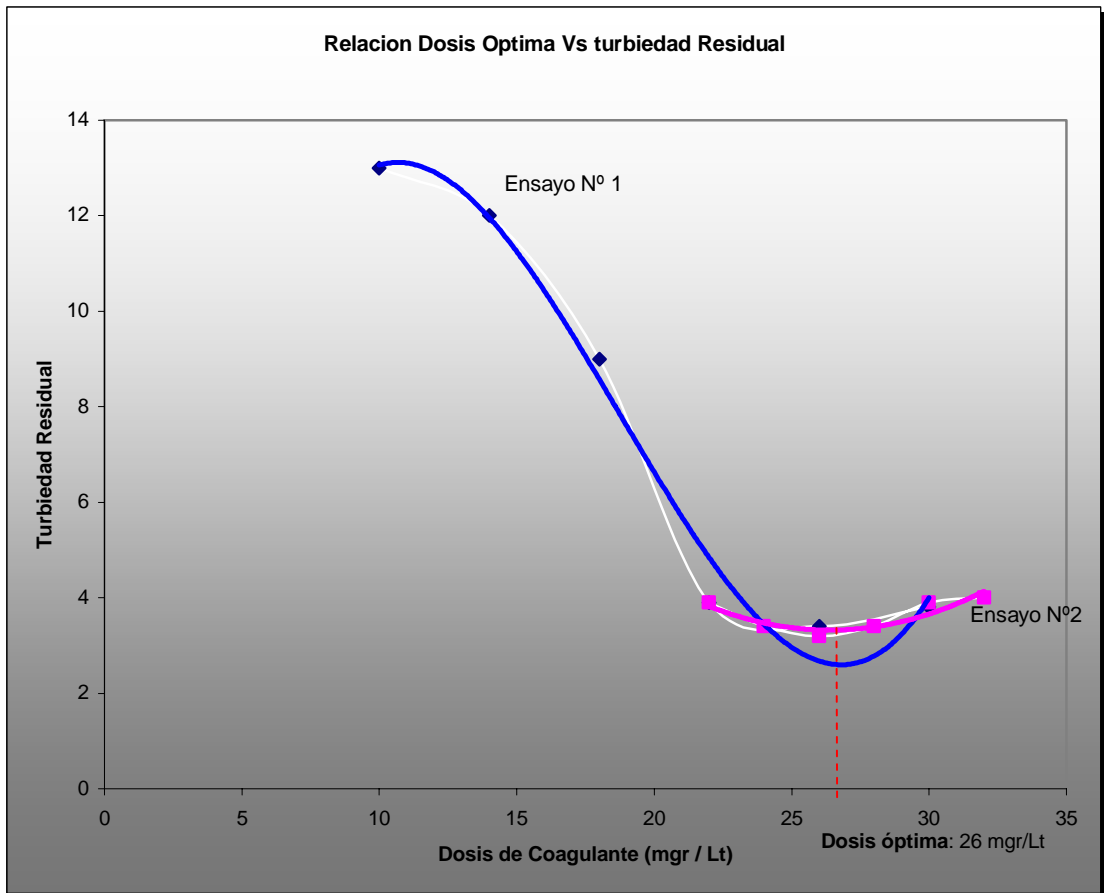
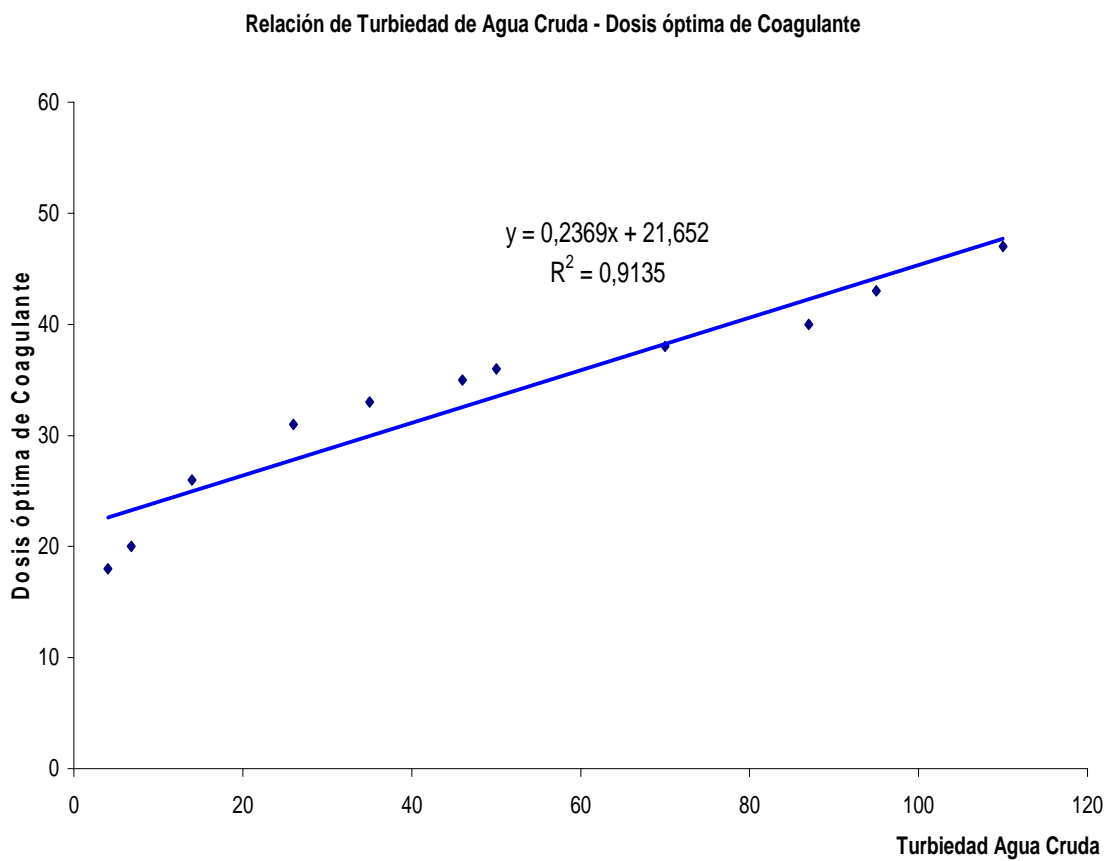


Tabla 4. Relación entre Turbiedades agua cruda y dosis optimas de coagulante.

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TURBIED. U.N.T.	4	6.8	14	26	35	46	50	70	87	95	110
DOSIS OPTIMA SULFATO DE ALUMINIO (mg / L).	18	20	26	31	33	35	36	38	40	43	47

Grafico 2. Relación Turbiedades de Agua Cruda – Dosis óptima de Sulfato de Aluminio.



La ecuación resultante por regresión lineal es:

$$\text{Dosis} = 0,2369 * \text{Turb} + 21,652 \quad (1)$$

Con un coeficiente de dispersión de: $R^2 = 0,9135$.

Esta ecuación será empleada para la determinación de la dosis óptima de sulfato de Aluminio para cualquier condición de agua cruda, basados en el parámetro de turbiedad.

2.1.2. Determinación de la Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio.

OBJETIVO: Determinar la concentración de la solución de Sulfato de Aluminio que genere los mejores valores en el proceso de tratamiento en la planta.

METODOLOGIA: Se realizan pruebas de Jarras variando las concentraciones de coagulante entre valores de 0.5% y 10%, empleando el valor de dosis óptima obtenida pero en las concentraciones indicadas para cada jarra y manteniendo los otros parámetros constantes. Para esta prueba se realizaron dos ensayos para revisar de mejor manera los resultados.

2.1.2.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad = 50 U.N.T.

Color = 193 U.P.C.

pH = 7.71

Temperatura = 22.7 °C

2.1.2.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida = 60 segundos a 100 rpm.

Floculación = 15 minutos a 40 rpm.

Sedimentación = 10 minutos.

Coagulante = Sulfato de aluminio.

Dosis Optima de Coagulante 34 mg / L.

Tabla 5. Resultado de los ensayos. Concentración óptima de Solución de Sulfato de Aluminio.

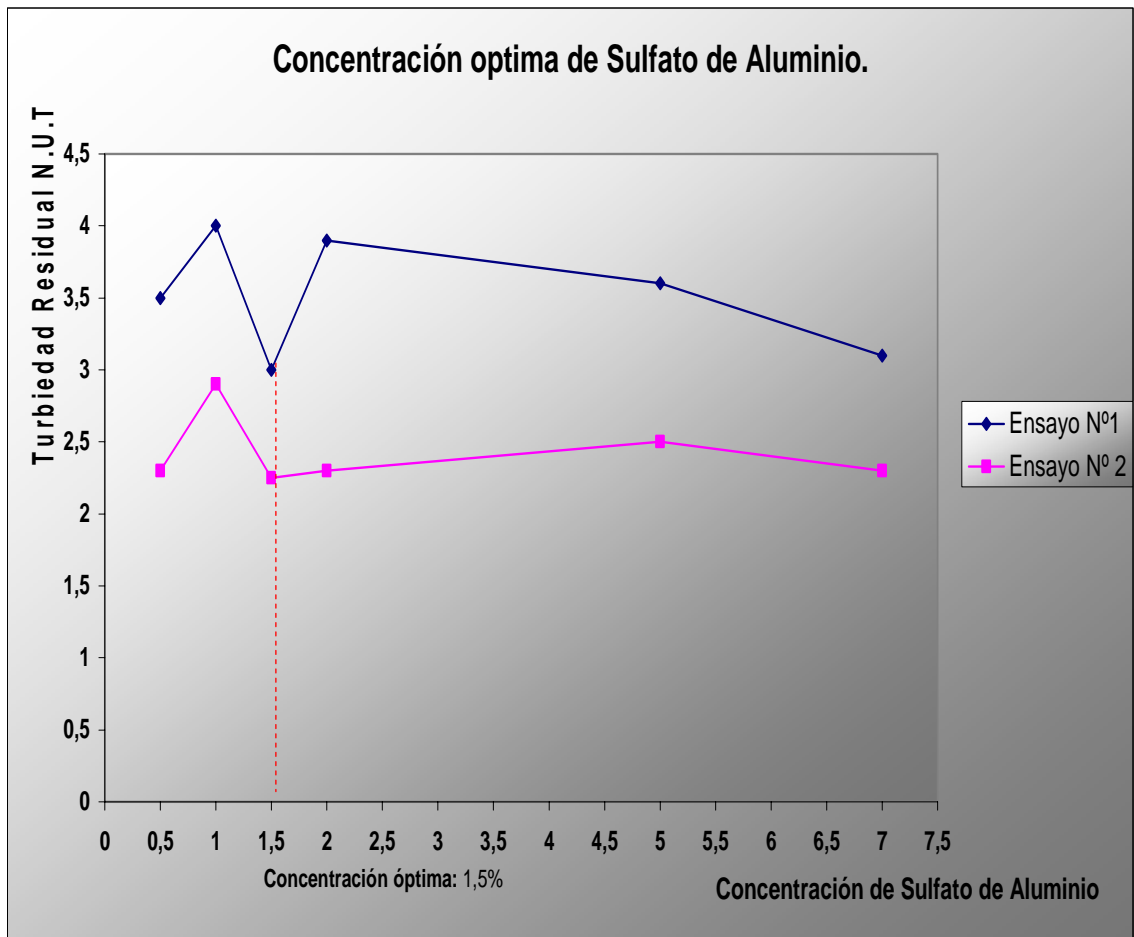
Ensayo Nº 1. Primer ensayo para la muestra de Agua Cruda. To = 50 U.N.T.						
Jarra Nº	Dosis Sulfato de Aluminio (mg/L)	Concent. (%)	Turbiedad remanente U.N.T.	Color remanente U.P.C.	pH	Eficiencia Remocional Tf/To * 100
1	34	0,5	3,5	7	6,78	7
2	34	1	4	7	6,77	8
3	34	1,5	3	2	6,77	6
4	34	2	3,9	3	6,76	7,8
5	34	5	3,6	2	6,73	7,2
6	34	7	3,1	4	6,74	6,2
Ensayo Nº 2. Revisión para la muestra de Agua Cruda. To = 50 U.N.T.						
Jarra Nº	Dosis Sulfato de Aluminio (mg/L)	Concent. (%)	Turbiedad remanente U.N.T.	Color remanente U.P.C.	pH	Eficiencia Remocional Tf/To * 100
1	34	0,5	2.3	8	6.41	4.6
2	34	1	2.9	5	6.37	5.8
3	34	1,5	2.25	6	6.48	4.5
4	34	2	2.3	8	6.46	4.6
5	34	5	2.5	10	6.36	5
6	34	7	2.7	7	6.4	5.4

De los ensayos realizados se obtiene la relación Turbiedad inicial agua cruda – Concentración óptima de Sulfato de Aluminio, representada en la tabla 6, de donde se obtiene que la concentración óptima de Sulfato de Aluminio es de 1,5%.

Tabla 6. Relación entre Turbiedad Agua Cruda y concentración óptima de Solución de Sulfato de Aluminio.

ENSAYO	1	2	3	4	5
Turbiedad U.N.T	2.4	4.0	6.8	34	50
Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio (%)	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Grafico 3. Relación Concentración de Sulfato de Aluminio – Turbiedad Residual.
To: 50 U.N.T.



2.1.3. Determinación del pH óptimo de Pretratamiento para Coagulación.

OBJETIVO: Determinar el pH de la muestra de agua cruda para el cual se obtengan los mejores resultados en el tratamiento.

METODOLOGIA: Se realizan pruebas de jarras con las muestras de agua cruda variando el pH de cada jarra en un rango de pH adecuado al rango empleado en la

planta. Esta variación se realiza aplicando ácido sulfúrico ó cal diluidas al 0,1 N. Para ello se realizan dos pruebas para la misma turbiedad inicial.

2.1.3.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad = 50 U.N.T

Color = 193 U.P.C

pH = 7.71 H+

Temperatura = 22.7°C

2.1.3.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida = 60 segundos a 100 rpm.

Floculación = 15 minutos a 40 rpm.

Sedimentación = 10 minutos.

Dosis y Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio 36 mg/L. al 1,5 %.

Los resultados obtenidos para el ensayo se consignan en la tabla 7, donde también se determina el porcentaje de eficiencia remocional para cada medición.

De los ensayos realizados se obtiene la tabla 8, donde se relacionan algunos de los valores de Turbiedad de Agua cruda probados con el pH óptimo para pretratamiento, para hacer que el pH óptimo de pretratamiento para coagulación tenga un valor promedio de **8,5 pH**, valor para el cual se realiza la coagulación por el sistema de barrido.

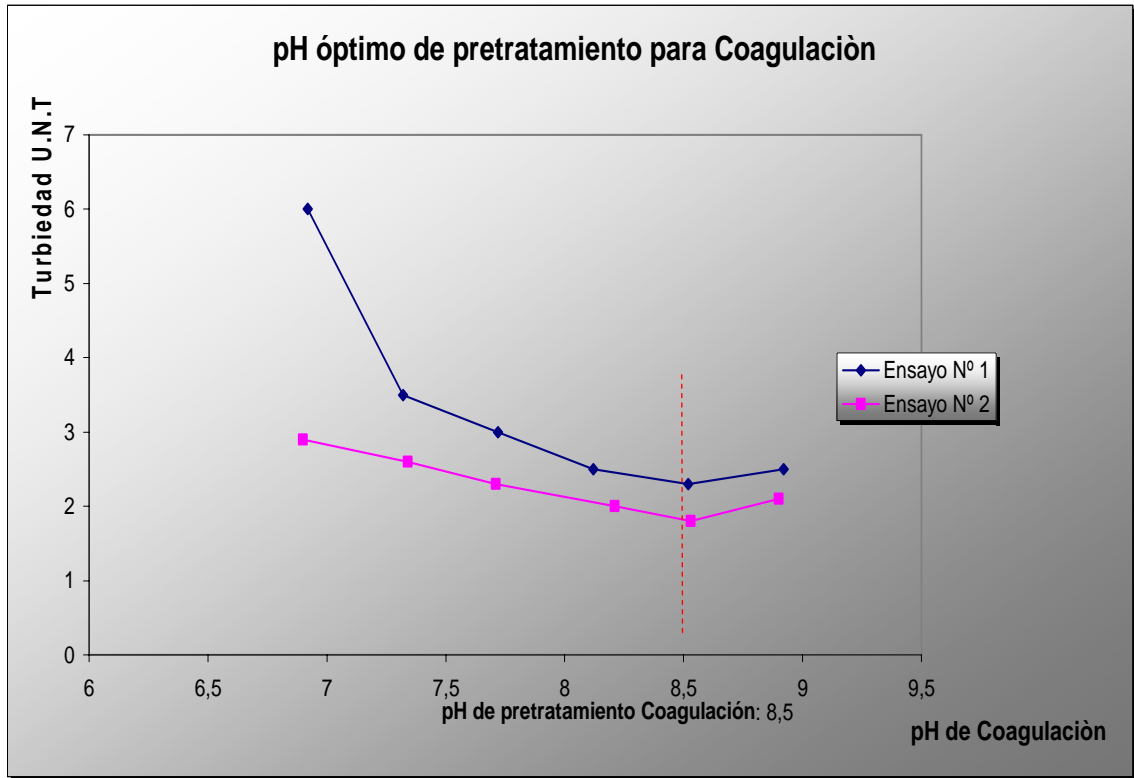
Tabla 7. Resultado de los ensayos. pH Óptimo de Coagulación.

Ensayo N° 1					
Jarra N°	pH inicial preparado	Turbiedad Remanente U.N.T	Color remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To*100
1	6,9	6	15	6.16	12
2	7.34	3.5	3	6.28	7
3	7.71	3	5	6.4	6
4	8.21	2.5	5	6.49	5
5	8.53	2.3	1	6.51	4.6
6	8.9	2.5	1	6.48	5
Ensayo N° 2					
Jarra N°	pH inicial preparado	Turbiedad Remanente U.N.T	Color remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To*100
1	6.92	2.9	0	6.25	5.8
2	7.32	2.6	0	6.47	5.2
3	7.72	2,3	0	6.6	4.6
4	8.12	2	0	6.66	4.0
5	8.52	1.8	0	6.77	3.6
6	6.92	2.9	0	6.25	5.8

Tabla 8. Relación entre Turbiedad Agua Cruda y pH óptimo de pretratamiento para coagulación.

Turbiedad Agua Cruda U.N.T	2.4	4	6.8	34	50
pH óptimo de pretratamiento	7.72	8.52	8.46	8.45	8.53

Grafico 4. Relación pH de pretratamiento para Coagulación – Turbiedad Residual (U.N.T). To: 50 U.N.T.



2.1.4 Determinación del Gradiente y el Tiempo óptimo de mezcla rápida.

OBJETIVO: Determinar el gradiente y el tiempo de mezcla rápida que produzca la mejor dispersión del coagulante en la muestra de agua cruda y genere una mejor y más rápida desestabilización de las partículas coloidales para obtener una buena formación de floc.

METODOLOGÍA: Se realizan pruebas de jarras en las que se varían los gradientes de mezcla y en cada gradiente se varía también el tiempo de mezcla rápida.

2.1.4.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad = 50 U.N.T.

Color = 193 U.P.C.

pH = 7.71

Temperatura = 22.7 °C

2.1.4.2. Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida = tiempos variables (15, 30, 60, 90, 120, 150 Segundos) con gradientes variables (100, 150, 200, 250, 300 rpm.), respectivamente.

Floculación = 15 minutos a 40 rpm.

Sedimentación = 10 minutos.

pH Optimo de pretratamiento para Coagulación = 8,5

Dosis Optima de Sulfato de Aluminio = 36 mg/L al 1.5% de Concentración.

En la tabla 9 se consignan los resultados del ensayo.

De los ensayos realizados se obtuvo que la mejor condición de mezcla rápida se presentó en el ensayo N° 6, para una velocidad de agitación de 100 rpm a en un tiempo de 120 segundos. Lo anterior se observa en la grafica 5, donde se obtiene la mayor remoción de turbiedad de todas las pruebas en el punto mas bajo de la curva de Velocidad de agitación **120 Segundos a 100 rpm.**

Tabla 9. Resultado de los ensayos. Mezcla rápida.

Ensayo N° 1 Velocidad de Agitación: 300 rpm.					
Jarra N°	Tiempo (seg)	Turb. Remanente U.N.T	Color Remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To *100
1	15	2,2	0	6.52	4.4
2	30	2,6	0	6.61	5.2
3	60	4,6	0	6.66	9.2
4	90	5,2	0	6.71	10.4
5	120	5,8	0	6.72	11.6
6	150	5,2	0	6.75	10.4
Ensayo N° 2 Velocidad de Agitación: 250 rpm.					
Jarra N°	Tiempo (seg)	Turb. Remanente U.N.T	Color Remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To *100
1	15	2,9	9	6,73	5,8
2	30	3	5	6,79	6
3	60	3,4	12	6,82	6,8
4	90	3,3	9	6,89	6,6
5	120	3,8	5	6,88	7,6
6	150	3,5	10	6,87	7
Ensayo N° 3 Velocidad de Agitación: 200 rpm.					
Jarra N°	Tiempo (seg)	Turb. Remanente U.N.T	Color Remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To *100
1	15	3	10	6.77	6
2	30	3.7	8	6.78	7.4
3	60	3.5	9	6.79	7
4	90	3.2	7	6.8	6.4
5	120	3.4	7	6.81	6.8
6	150	3.6	5	6.8	7.2
				Continua...	

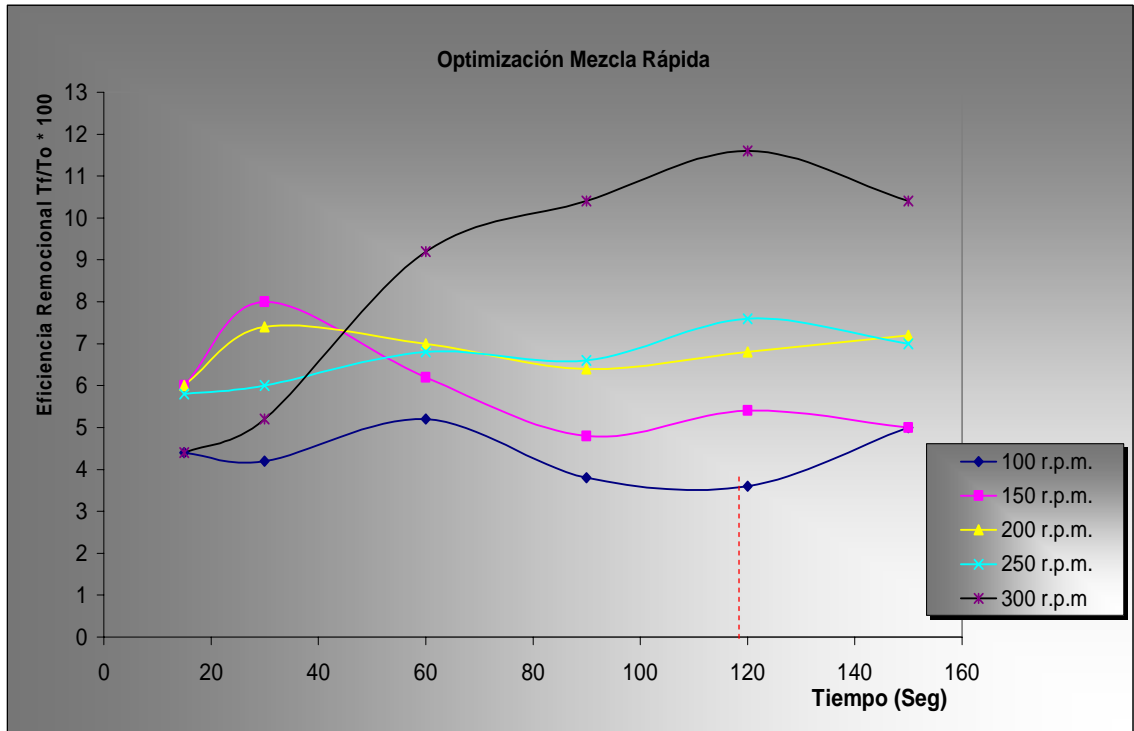
...Viene					
Ensayo N° 4 Velocidad de Agitación: 150 rpm.					
Jarra N°	Tiempo (seg)	Turb. Remanente U.N.T	Color Remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To *100
1	15	3	4	6.7	6
2	30	4	6	6.71	8
3	60	3.1	6	6.72	6.2
4	90	2.4	8	6.73	4.8
5	120	2.7	11	6.64	5.4
6	150	2.5	10	6.7	5
Ensayo N° 5 Velocidad de Agitación: 100 rpm.					
Jarra N°	Tiempo (seg)	Turb. Remanente U.N.T	Color Remanente U.P.C.	pH Final	Eficiencia remocional Tf/To *100
1	15	2.2	3	6.6	4.4
2	30	2.1	3	6.64	4.2
3	60	2.6	3	6.65	5.2
4	90	1.9	3	6.65	3.8
5	120	1.8	0	6.67	3.6
6	150	2.5	0	6.64	5

Los resultados de los ensayos realizados para diferentes turbiedades de agua cruda se presentan en la tabla 10, de donde se obtiene que la Velocidad de Agitación y el tiempo óptimo de mezcla rápida es de 120 segundos a 100 rpm.

Tabla 10. Relación Turbiedad Agua Cruda – Velocidades y Tiempos Óptimos de Mezcla Rápida.

Turbiedad U.N.T		2,4	4	6,8	34	50
Mezcla rápida	Velocidad de Agitación (rpm.)	250	100	100	100	100
	Tiempo (Seg)	90	115	120	117	120

Grafico 5. Relación Mezcla Rápida – Eficiencia Remocional. To: 50 U.N.T.



2.2 PROCESO DE FLOCULACIÓN.

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

Esta se presenta como un proceso de colisión entre partículas en la que intervienen en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

1. *Floculación peri cinética o browniana.* Debido a la energía térmica del fluido; esta es necesaria luego de la desestabilización de las partículas coloidales

para que las partículas con un tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse, formando el micro fóculo inicial.

2. *Floculación ortocinética o gradiente de velocidad.* Se produce en la masa de fluido en movimiento, cuando las partículas aglomeradas han alcanzado el tamaño de un micrómetro promoviendo un mayor desarrollo del micro fóculo.
3. *Sedimentación diferencial.* Se debe a las partículas grandes que al precipitarse, colisionan con las pequeñas que descienden más lentamente y ambas se aglomeran.

Los principales factores que influyen en el proceso de floculación son:

- *La naturaleza del agua:* Este proceso es extremadamente sensible a las características fisicoquímicas de la muestra de agua cruda como el pH y turbiedad, la conductividad, el color.

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

Estos aspectos teóricos son generalmente confirmados en la práctica: por regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas.

- *Tiempo de floculación:* En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos.

- Gradiente de velocidad: Para la velocidad de aglomeración de las partículas en la floculación, aparece el parámetro de gradiente de velocidad como un factor de proporcionalidad. Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores. La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:
 - De su tamaño, forma y compactación;
 - Del tamaño, forma y naturaleza de las micro partículas; y
 - Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s⁻¹. Naturalmente, conviene realizar una distribución de compartimientos con gradientes escalonados en forma decreciente.

Después de formados los flóculos en la última cámara de floculación, debe tenerse gran cuidado en la conducción del agua floculada hasta los decantadores. Los gradientes de velocidad en los canales, compuertas o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no deben ser mayores de 20 s⁻¹, debido a que valores mayores producirían la ruptura de los flocs formados.

- Variación del caudal: Al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los reactores.

2.2.1 Gradiente de mezcla lenta y tiempo de retención óptimos.

OBJETIVO: Determinar los parámetros óptimos de floculación.

METODOLOGÍA: Para la muestra de agua cruda, se aplican la dosis óptima de coagulante, se varía el pH para obtener el valor óptimo añadiendo cal en solución al 0.1 N y se realiza la mezcla rápida óptima. Se varían los gradientes de floculación para cada ensayo, luego de 5 minutos se retira el primer vaso y se deja sedimentar. Las otras jarras se retiran cada 5 minutos y se toman las muestras en el tiempo de sedimentación empleado.

2.2.1.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad: 50 U.N.T.

Temperatura: 22 °C

Color 183 U.P.C

pH: 7.56

2.2.1.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 120 segundos a 100 rpm.

Floculación: Tiempos variables (5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos) a Velocidades de Agitación variables (20, 40, 60, 80 rpm), respectivamente.

Sedimentación = 10 minutos.

pH Óptimo de pretratamiento para Coagulación = 8,5 pH.

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio = 36 mg/L al 1.5% de Concentración.

La tabla 11 contiene los resultados de la prueba realizada para un valor de turbiedad específico, con sus respectivas eficiencias remocionales (T_f/T_o) para los gradientes y tiempos de floculación preestablecidos.

2.2.1.3 Eficiencia Remocional.

La tabla 12 se obtiene de los ensayos realizados para diferentes valores de turbiedad de agua cruda, y en esta se relacionan los valores de velocidad de agitación, tiempo de mezcla y eficiencia remocional.

Tabla 11. Resultado de los ensayos. Mezcla Lenta.

Ensayo N° 1			V = 20 rpm.	
Jarra N°	Tiempo de Floculación (Minutos)	Turbiedad residual U.N.T	Color Residual U.P.C	pH Final
1	5	5	7	6,41
2	10	6	0	6,45
3	15	6	0	6,48
4	20	6,7	5	6,5
5	25	7,5	6	6,47
6	30	8	9	6,46
Ensayo N° 2			V = 40 rpm.	
Jarra N°	Tiempo de Floculación (Minutos)	Turbiedad residual U.N.T	Color Residual U.P.C	pH Final
1	5	1,8	1	6,43
2	10	1,4	0	6,48
3	15	1,1	0	6,52
4	20	0,7	0	6,41
5	25	0,8	0	6,5
6	30	0,8	0	6,52
Ensayo N° 3			V = 60 rpm.	
Jarra N°	Tiempo de Floculación (Minutos)	Turbiedad residual U.N.T	Color Residual U.P.C	pH Final
1	5	5,4	3	6,36
2	10	3,4	1	6,49
3	15	3,9	0	6,44
4	20	2,9	0	6,53
5	25	3,9	0	6,55
6	30	5,1	2	6,57
				Contunua...

....Viene				
Ensayo N° 4		V = 80 rpm.		
Jarra N°	Tiempo de Floculación (Minutos)	Turbiedad residual U.N.T	Color Residual U.P.C	pH Final
1	5	13	20	6,59
2	10	7,5	10	6,53
3	15	5,5	0	6,54
4	20	4,2	0	6,59
5	25	3,4	3	6,5
6	30	3	0	6,47

Para determinar los parámetros óptimos de floculación se utilizara el **ensayo N° 3**, con el cual se obtuvo la mayor eficiencia remocional de todos los ensayos, como puede observarse en la tabla 12.

2.2.2 Determinación de los parámetros óptimos de Floculación.

- *Tiempo óptimo de Mezcla Lenta.*

El tiempo óptimo de Floculación se obtiene de la Grafica 6, donde, para una relación mínima de Tf/To se tiene un valor de tiempo de floculación óptimo de **25 minutos.**

- *Valores críticos de Gradientes de Floculación.*

La Grafica N° 7 relaciona los valores de eficiencia remocional Vs velocidades de agitación para los diferentes tiempos de mezcla lenta. En ella se pueden observar los valores críticos para cada tiempo de mezcla lenta, tomados como el valor de velocidad de agitación para cada tiempo de mezcla donde se obtuvo la mayor remoción de Turbiedad

Tabla 12. Eficiencia remocional

Ensayo N° 1 Turbiedad inicial (To) = 6,8 U.N.T.																				
		5			10			15			20			25			30			
Vel (rpm)	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100		
80	6	88.23	7	102.9	7	102.9	7.2	105.8	7	102.9	7	102.9	6.5	95.5	6	88.2	6	88.2	6	88.2
60	6	88.23	5.1	75	4.8	70.5	4.6	67.6	4.6	67.6	4.6	67.6	6	88.2	6	88.2	6	88.2	6	88.2
40	5.5	80.88	4.1	60.29	3.4	50	3	44.1	3	44.1	2.9	42.6	3	44.1	3	44.1	3	44.1	3	44.1
20	8.1	119.1	5.5	80.88	3.5	51.47	2.5	36.76	2.5	36.76	2	29.4	1.8	26.47	2	29.4	1.8	26.47	1.8	26.47
Ensayo N° 2 Turbiedad inicial (To) = 34 U.N.T.																				
		5			10			15			20			25			30			
Vel (rpm)	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100
80	8	23.5	9.9	29.11	9.5	27.9	7.5	22.05	7.5	22.05	7	20.58	7.5	22.05	7	20.58	7.5	22.05	7.5	22.05
60	6	17.6	7.9	23.23	7.5	22.05	5.5	16.17	5.5	16.17	6.6	19.41	6.5	19.11	6.6	19.41	6.5	19.11	6.5	19.11
40	2.6	7.6	2.3	6.76	2.1	6.17	2.1	6.17	2.1	6.17	1.5	4.41	1.9	5.58	1.5	4.41	1.9	5.58	1.9	5.58
20	2.2	6.4	2.3	6.76	1.3	3.82	1.4	4.11	1.4	4.11	1.6	4.07	1.8	5.29	1.6	4.07	1.8	5.29	1.8	5.29
Ensayo N° 3 - Turbiedad inicial (To) = 50 U.N.T.																				
		5			10			15			20			25			30			
Vel (rpm)	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100	TF	Efc. Rem. TF/To*100
80	5	10	6	12	6	12	6,7	13,4	6	12	6,7	13,4	7,5	15	8	16	7,5	15	8	16
60	5,4	10,8	3,4	6,8	3,9	7,8	2,9	5,8	3,9	7,8	2,9	5,8	3,9	7,8	2,5	5	3,9	7,8	2,5	5
40	1,8	3,6	1,4	2,8	1,1	2,2	0,7	1,4	1,1	2,2	0,7	1,4	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6
20	13	26	7,5	15	5,5	11	4,2	8,4	5,5	11	4,2	8,4	3,4	6,8	3	6	3,4	6,8	3	6

Con estos valores críticos se construye la tabla 13 y la gráfico 8, que representan los valores críticos de floculación.

Tabla 13. Valores críticos de Parámetros de Floculación.

<i>Punto</i>	1	2	3	4	5	6
<i>Tiempo (min)</i>	5	10	15	20	25	30
<i>Velocidad de agitación crítica (rpm.)</i>	57,5	51	47,5	45	40	41

Con los anteriores datos se grafica la línea de tendencia principal de relación entre los tiempos de floculación y las velocidades críticas.

Con el grafico N° 8 se obtiene la regresión lineal con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Log (Vag) = 1.9065 - 0.2024 * Log T} \quad (2)$$

Con un valor de $r^2 = 0.9604$

Desarrollando la ecuación (2), se obtiene la ecuación final de diseño de unidades de agitación lenta o floculadores, que relaciona la Velocidad de Agitación (Vag) y el tiempo de mezcla (T).

$$\frac{Log(Vag)}{0.2024} + Log(T) = \frac{1.9065}{0.2024}$$

$$4.94 * Log(Vag) + Log(T) = 9.42$$

$$Log(Vag^{4.94}) * Log(T) = 9.42$$

$$10^{Log(Vag^{4.94}) * Log(T)} = 10^{9.42}$$

Ecuación de diseño de unidades de floculación.

$$V_{ag}^{4.94} * T = 10^{9.42} \quad (3)$$

Para la optimización de los parámetros de floculación en cada compartimiento de los floculadores en la planta se realizaron dos consideraciones dependiendo de la distribución de compartimientos en cada sección:

- *Sección Antigua:* Se optimizan las velocidades de agitación para los 4 compartimientos existentes en esta sección, con un tiempo óptimo de retención por compartimiento de **6 minutos, 15 segundos**, calculados de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Tiempo óptimo de Floculación}}{\text{Número de compartimientos}} = \frac{25 \text{ Min}}{4} = 6,25 \text{ Min} = 6\text{Min } 15 \text{ Seg.}$$

- *sección de Ampliación:* Se optimizan las velocidades de agitación para los 3 compartimientos existentes en esta sección, con un tiempo optimo de retención por compartimiento de **8 minutos 20 segundos**, calculados de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Tiempo óptimo de Floculación}}{\text{Número de compartimientos}} = \frac{25 \text{ Min}}{3} = 8,333 \text{ Min} = 8\text{Min } 20 \text{ Seg.}$$

Con los tiempos anteriores se obtienen los tiempos de retención totales para cada compartimiento, y empleando la ecuación **(3)**, se obtienen sus respectivas velocidades de agitación tanto de la sección antigua como de la sección de ampliación. Estos valores se consignan en las tablas 14 y 15 respectivamente.

Gráfico 6. Eficiencia remocional Vs Tiempos óptimos de Floculación.
 To= 50 U.N.T

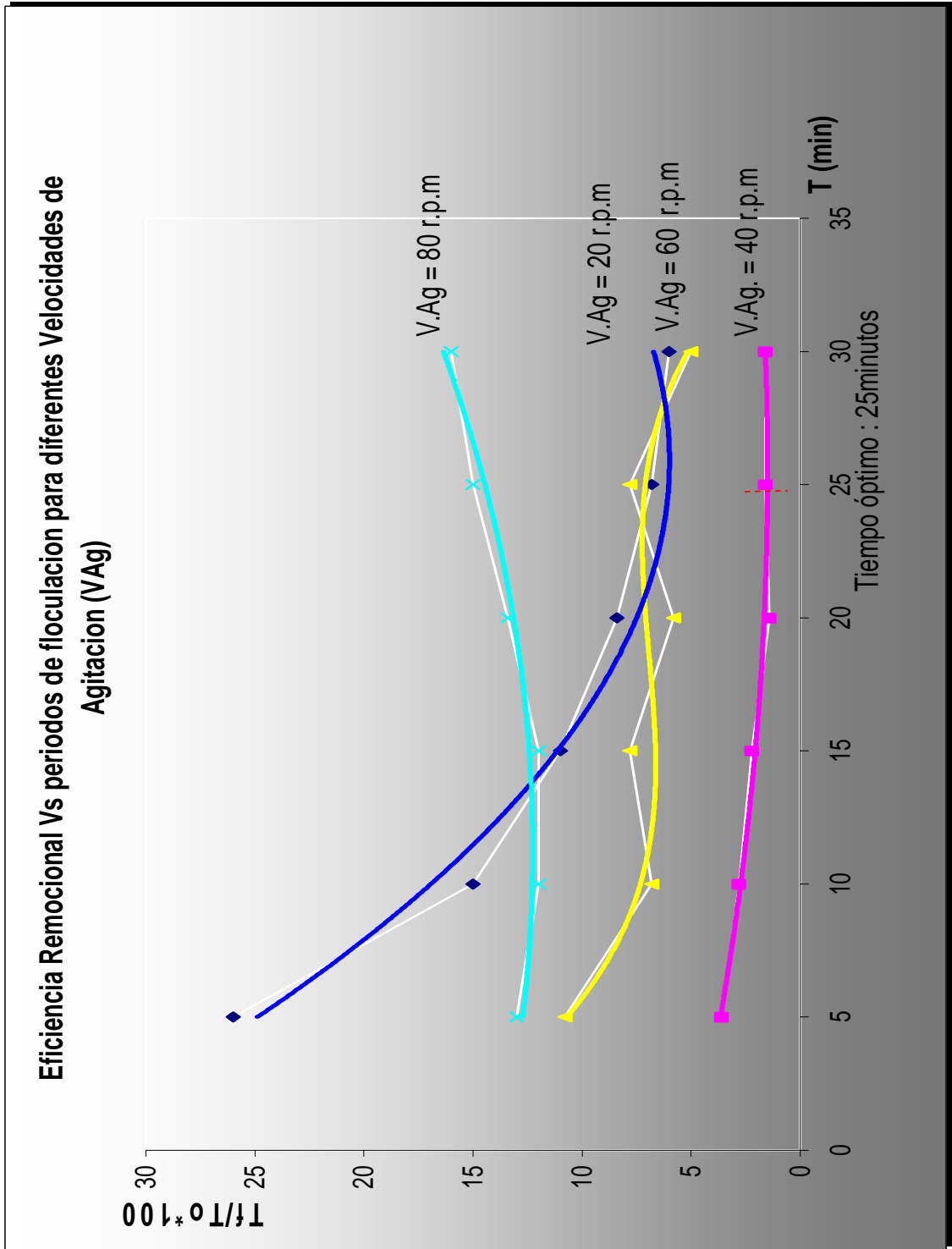


Gráfico 7. Eficiencia Remocional Vs Velocidad de Agitación para Diferentes periodos de Floculación. Ensayo N°3 – To = 50 U.N.T.

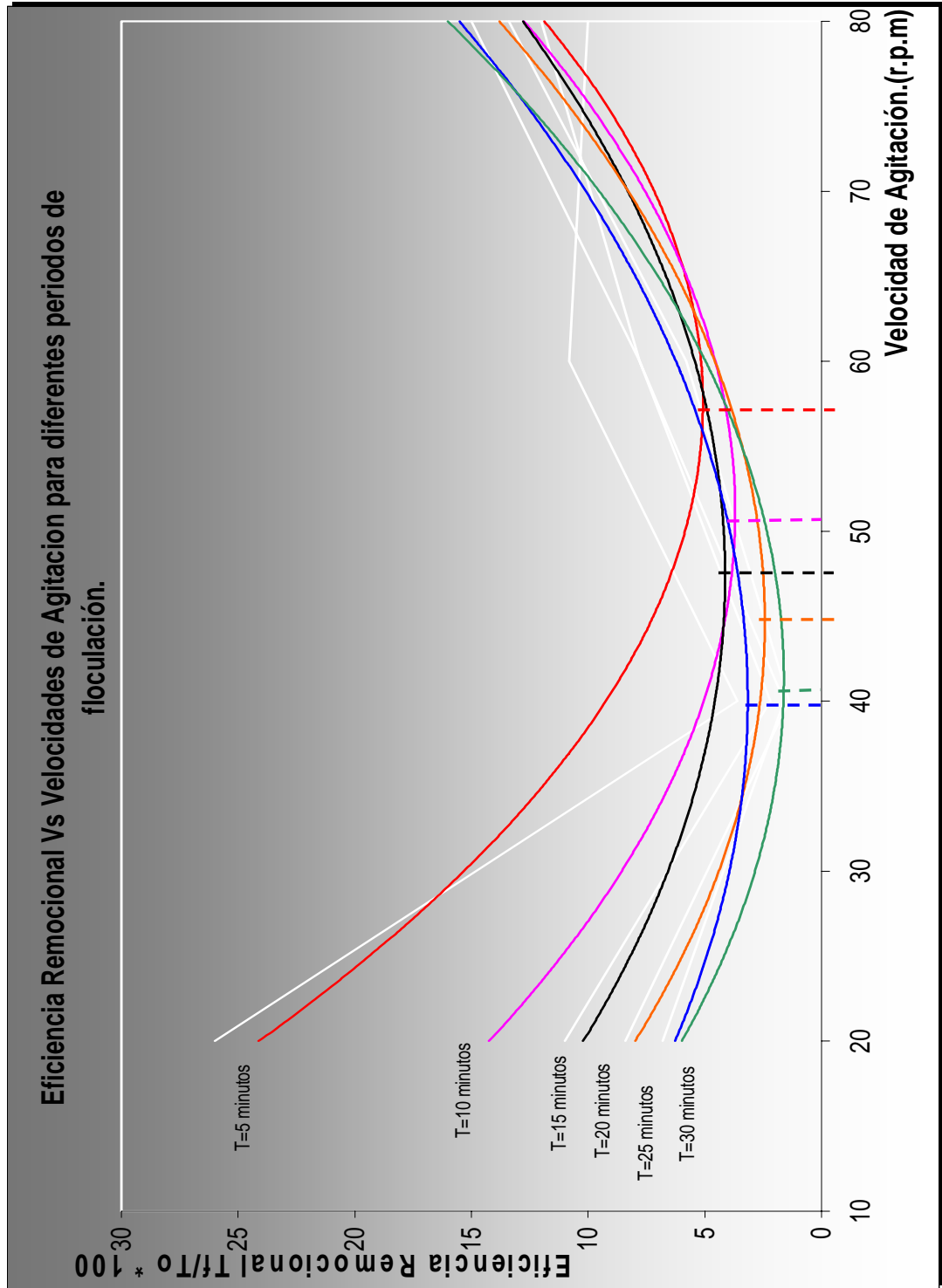


Grafico 8. Relación Logarítmica de Valores Óptimos de Velocidades de Agitación Vs Tiempos de Floculación

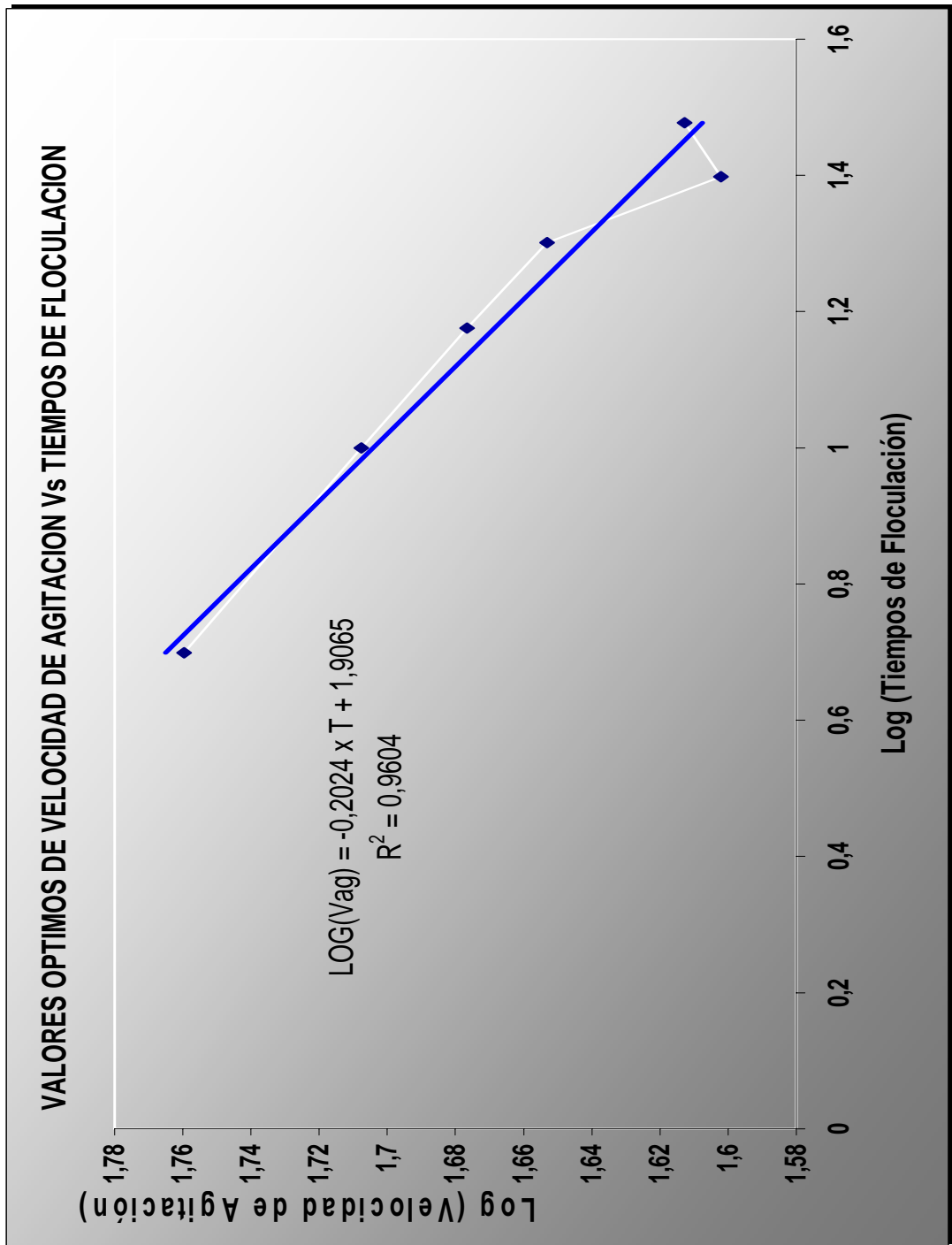


Tabla 14. Gradientes óptimos para cada compartimiento del Floculador.

Sección Antigua.

Compartimiento del floculador.	Tiempo de retención (Min y Seg)	Tiempo de retención Acumulado	Velocidad de agitación (r.p.m)
1	6 Min 15 Seg	6 Min 15 Seg	56
2	6 Min 15 Seg	12 Min 30 Seg	49
3	6 Min 15 Seg	18 Min 45 Seg	45
4	6 Min 15 Seg	25 Min	42

Tabla 15. Gradientes óptimos para cada compartimiento del floculador.

Sección Ampliación.

Compartimiento del floculador.	Tiempo de retención (Min y Seg)	Tiempo de retención Acumulado	Velocidad de agitación (r.p.m)
1	8 Min 20 Seg	8 Min 20 Seg	53
2	8 Min 20 Seg	16 Min 40 Seg	46
3	8 Min 20 Seg	25 Min	42

Con los valores calculados en las anteriores tablas se obtienen los Gráficos N° 9 y N° 10, donde se representa la relación específica entre Velocidades de Agitación y Tiempos óptimos de floculación empleados para el diseño de cada sección.

Con estos gráficos se tiene un medio fácil para determinar las velocidades de agitación requeridas por cada sección de los floculadores teniendo en cuenta el tiempo de retención solicitado o viceversa.

Gráfico 9. Relación de Velocidades de agitación óptimas con periodos de Floculación. Sección antigua.

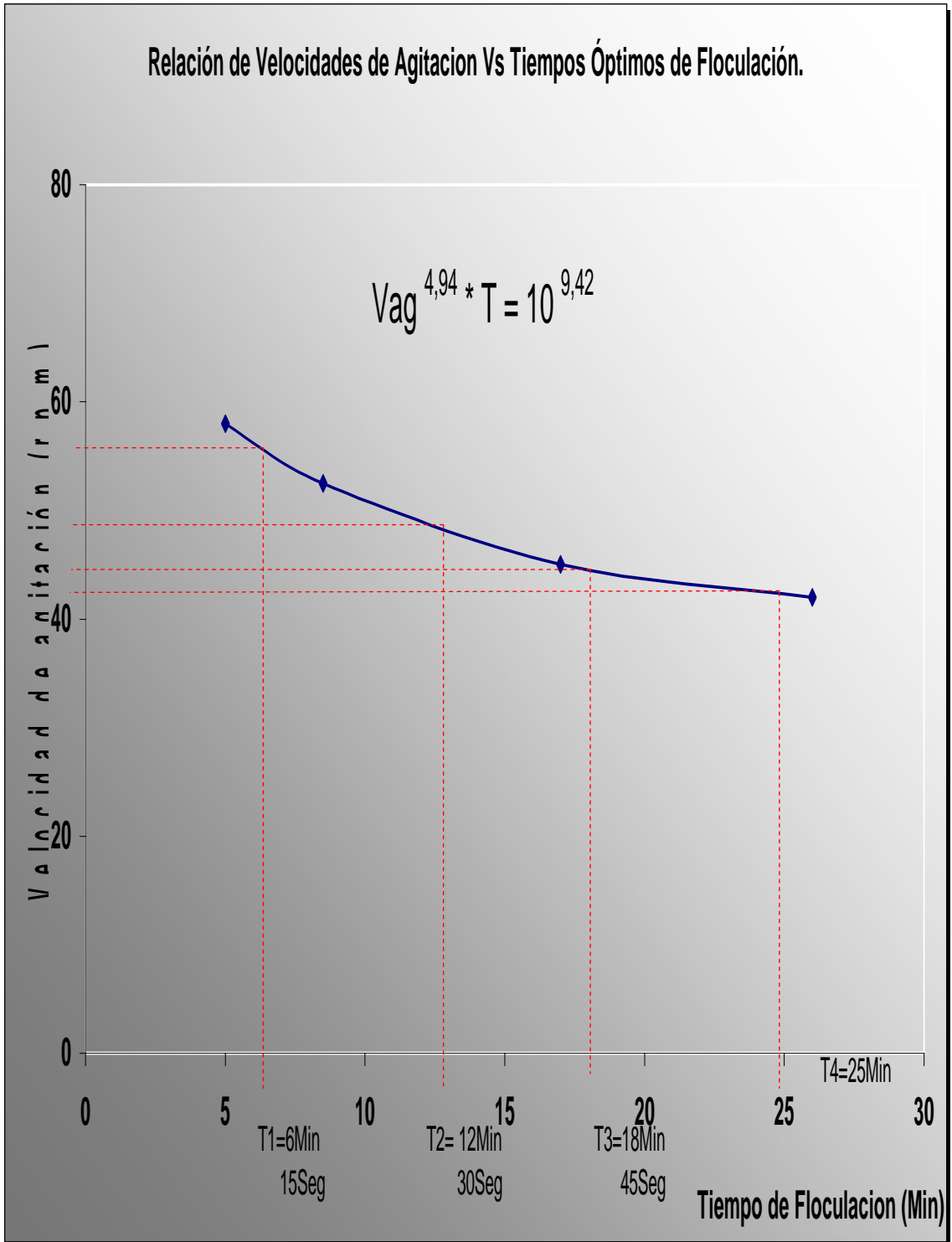
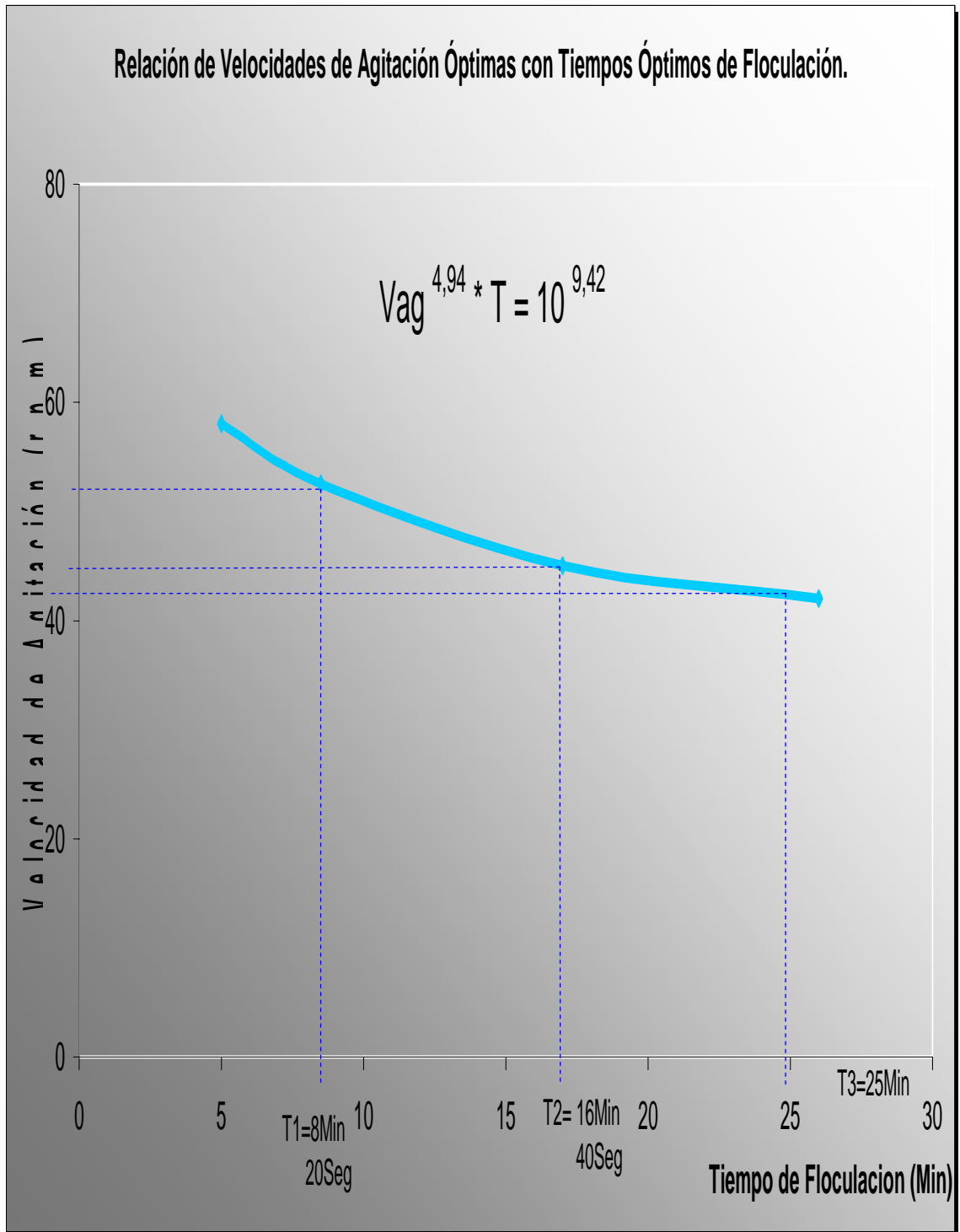


Grafico 10. Relación de Velocidades de Agitación óptimas con periodos de floculación.



2.3 PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

2.3.1 Eficiencia de la Sedimentación.

OBJETIVO: determinar los parámetros de diseño y la eficiencia remocional de un sedimentador en condiciones ideales.

METODOLOGIA: Se toman tres jarras con muestra de agua cruda, a ellas se les ajusta el pH hasta el valor óptimo para pretratamiento y se aplica la dosis óptima determinada, a la velocidad y tiempo de agitación de mezcla rápida optimizados, y luego se deja flocular con las velocidades y tiempos de floculación óptimos. Luego de todo el procedimiento anterior se empiezan a tomar muestras de agua a una profundidad constante en diferentes tiempos para las tres jarras y se analizan las muestras.

2.3.1.1 Características de la muestra de agua cruda.

Turbiedad = 6,8 NTU.

Color = 64 UPC.

Temperatura = 23 °C

pH = 7,66 H⁺

2.3.1.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 100 r.p.m a 120 seg

Floculación: Velocidades de Agitación (53, 46, 42) a tiempos correspondientes (8 min 20 Seg, 16 min 40 Seg, 25 min).

Sedimentación = Tiempos variables.

pH Optimo de pretratamiento para Coagulación = 8,5 pH.

Dosis Optima de Sulfato de Aluminio = 23 mg/L al 1.5% de Concentración.

Los resultados del ensayo se tabulan para determinar las constantes **a** y **Cf**, que corresponden, relativamente, a los valores de Velocidad de sedimentación óptima y eficiencia remocional.

Tabla 16. Resultado de los ensayos. Sedimentación.

h de toma (cm)	Tiemp. (seg)	Velocidad de sediment. Vs(cm/seg)	Turbiedad Final U.N.T			Turbiedad Final promedio U.N.T	Remoción de Turbiedad Tf/To
			Turb. Final 1 Jarra	Turb. Final 2 Jarra	Turb. Final 3 Jarra		
10	60	0,1667	7,4	7,3	6,6	7,1000	1,0441
10	120	0,0833	6,5	6,4	6,1	6,3333	0,9314
10	210	0,0476	5,2	5,6	5,3	5,3667	0,7892
10	300	0,0333	4,1	5	4,1	4,4000	0,6471
10	420	0,0238	3,5	4,3	3,6	3,8000	0,5588
10	600	0,0167	1,9	2,5	2	2,1333	0,3137
10	720	0,0139	1,7	1,7	1,4	1,6000	0,2353
10	900	0,0111	1,2	1,5	1,3	1,3333	0,1961
10	1200	0,0083	1,2	1,1	1	1,1000	0,1618
10	1500	0,0067	1,1	1	1,4	1,1667	0,1716
10	1800	0,0056	1	0,9	1,3	1,0667	0,1569

Con los datos de las columnas de Velocidad de sedimentación y de eficiencia remocional de la tabla 16 se elabora el gráfico 11.

De este grafico se obtuvo un valor de **a = 0,0083 cm/seg** y **Cf = 0,162**. El valor **a** corresponde una velocidad de sedimentación que da la máxima eficiencia remocional **Cf**.

Se tienen en cuenta dos criterios de selección de la carga superficial:

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

Basados en el primer criterio se selecciona de la Grafica N° xx el valor de

$V_s = 0.00833 \text{ cms/seg}$.

Se afecta este valor por un coeficiente de seguridad (c) de 1.3, debido a las condiciones ideales del experimento.

$$V_s = \frac{V_s}{c} = \frac{0.00833}{1.3} = 0.00641 \text{ cm/seg}$$

En la planta de tratamiento se disponen de sedimentadores laminares de flujo inclinado ascendente con placas de asbesto-cemento de 1.20 metros, inclinadas un ángulo de 60° y 5 centímetros de separación.

$$\text{Longitud Relativa : } L = \frac{l}{d} = \frac{1.20 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} = 24 \text{ m}$$

Luego, aplicando la ecuación de Velocidad de sedimentación:

$$V_o = \frac{V_s \times (\text{Sen}\phi + L \cdot \text{Cos}\phi)}{S}$$
$$V_o = 0.0825 \text{ cms/seg}$$

Donde S es el factor de forma del sistema, en este caso, para placas $S = 1$.

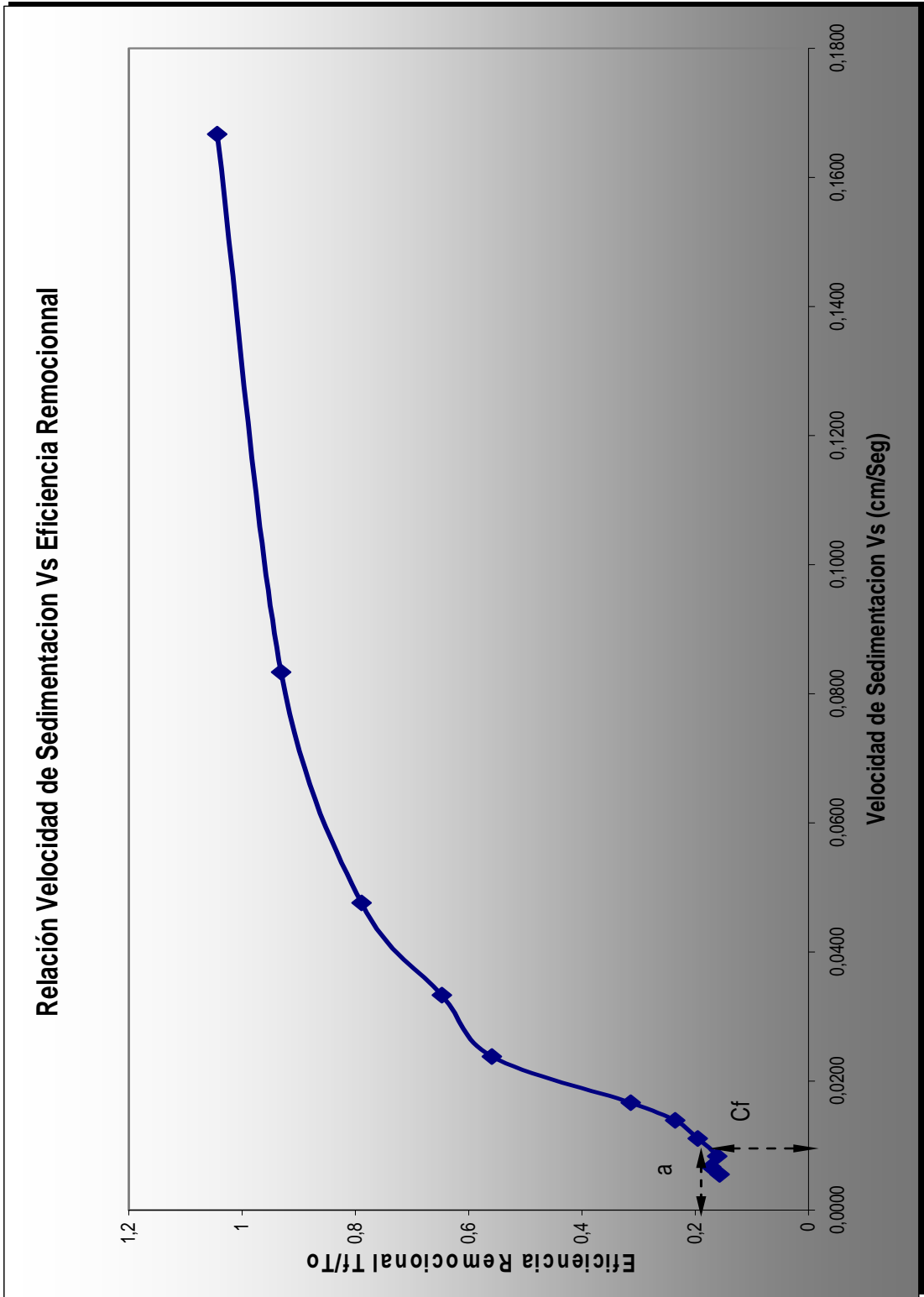
Revisando el número de Reynolds:

$$\text{Número de Reynolds} = N_R = \frac{V_o \cdot d}{\gamma}$$

$\gamma = \text{Viscosidad Cinematica} = 0.0101 \text{ cms}^2 / \text{seg}$ para $T=20^\circ\text{C}$

$$N_R = 40.83 < 180$$

Grafico 11. Relación t_f/t_o Vs Velocidad de sedimentación.



La carga superficial aparente esta dada por:

$$q = \frac{V_o * \text{Sen}\phi * 86400}{100} = 61.711\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$$

La carga superficial de diseño, para una turbiedad representativa de **To = 6,8 U.N.T** será de **61.71 m³/m²día**

3. EVALUACION Y DIAGNOSTICO

La evaluación consiste en desarrollar una serie de procedimientos metodológicos para determinar el funcionamiento de cada una de las unidades relacionadas con el proceso de Potabilización de agua y emitir un concepto en el que se expresa el estado actual de los componentes del sistema.

En el diagnostico se comparan los resultados de la evaluación con los parámetros optimizados y los parámetros reglamentarios y de diseño, para así poder determinar el nivel de eficiencia de los procesos en general y con esto obtener conclusiones del tratamiento.

Los procesos metodológicos y las técnicas de evaluación empleadas en este proyecto se basaron en el Programa Regional O.P.S/ E.H.P/C.E.P.I.S de mejoramiento de calidad de agua para consumo, además de las metodologías propuestas por ACODAL en su seminario Internacional de Actualización y Nuevas Tendencias en Potabilización de Agua.

3.1 CARACTERISTICAS DE LA CIUDAD

3.1.1 Aspectos generales

El municipio de Floridablanca está localizado en el departamento de Santander, en el Area Metropolitana de Bucaramanga (AMB), tiene una extensión de 100,35 Km² y posee terrenos en las tres zonas geomorfológicas: El macizo de Santander, la zona de mesa (Ruitoque) y el valle ínter-montañoso; se encuentran alturas que oscilan entre 750 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio anual del municipio es de 24.58 °C, el gradiente de temperatura es de 0.7 °C por cada 100m que se asciende.

Los factores como el tipo de suelo, la vegetación, la proximidad de centros poblados y los cuerpos de agua afectan también la temperatura. De acuerdo con estos aspectos el municipio presenta dos pisos térmicos, cálido y templado, con predominio de temperaturas altas, correspondientes a su latitud y altitud bajas. Esto lo ubica en la zona ecuatorial, región en la cual estas temperaturas varían poco durante el año. Los meses más cálidos para la región son febrero y marzo; junio es el menos cálido del año.

3.1.2 Aspectos demográficos

En las últimas décadas la población de Floridablanca creció a ritmos vertiginosos, en los últimos 50 años (1953-2003) aumentó en más de 34 veces y en los últimos 30 años (1973-2003) se quintuplicó, al pasar de 43.870 habitantes en 1973 a cerca de 240.000 en el último año, con una densidad de población de 2.362 habitantes por kilómetro cuadrado, de las más altas del país. Según cálculos del DANE, para el año 2005 la proyección es de 258.509 personas y para el año 2010

de 290.679 habitantes. El 1% del total de la población corresponde a discapacitados y ancianos, un 49% de la población está en capacidad de trabajar, que equivale a unas 117.000 personas aproximadamente; mientras que un 50% son jóvenes y niños en edad de estudiar.

3.1.3 Aspectos económicos

Existe una gran multiplicidad de actividades económicas en el municipio. Para el año de 1998, se observó que 5 actividades contribuían con el 66% del recaudo municipal por concepto del IVA, siendo en su orden:

- Comercio minorista no vehicular con un 26%.
- Comercio mayorista no vehicular con el 13%.
- Otras actividades empresariales con el 11%.
- La actividad industrial de vestidos con un 9,6%.
- La de alimentos y bebidas con un 7%.

El sector más importante de la economía del municipio de Floridablanca es el sector terciario, especialmente la actividad comercial. En el sector industrial el 50% de las empresas se dedica a la producción de alimentos, el 14.3% a la fabricación de prendas de vestir y el mismo guarismo a la fabricación de minerales no metálicos, lo que significa que estos tres rubros agrupan cerca del 80% del total de establecimientos industriales localizados en el municipio. La actividad minera es prácticamente inexistente en el municipio, la actividad constructora, según estrato, esta se concentró en los estratos I, II y III, siendo en éste último donde se presentó la mayor área construida.

Para el año de 1998, la actividad edificadora se concentró en un 89,7% en los estratos II, III y IV, distribuida así:

- 39,8% en el estrato III.

- 25% en el estrato IV.
- 24,7% para el estrato II.

3.1.4 Aspectos sociales

Salud

Actualmente se presenta un gran desarrollo de infraestructura para la prestación del servicio de salud, con la presencia de la Clínica Carlos Ardila Lulle, la Fundación Cardiovascular, la FOSCAL, y otros varios.

Educación

Existen colegios y escuelas de enseñanza básica primaria, colegios de bachillerato, y dos universidades además de un seccional del SENA.

Cuenta con centros comerciales, teatros, clubes en su zona urbana y rural, hoteles, emisoras de radio, etc.

3.1.5 Aspecto vial y servicio de transporte público

El municipio de Floridablanca, cuenta con una buena malla vial en su gran mayoría pavimentados, que la comunica con toda el Área Metropolitana de Bucaramanga, por medio de la autopista que la comunica con los municipios de Bucaramanga y Piedecuesta, y con el anillo vial hacia el municipio de Girón.

Además hacen presencia más de diez empresas de servicio de transporte público intermunicipal con gran número de rutas en el área urbana y rural.

ANALISIS DE COMSUMO

Se clasifican los usuarios en tres tipos

- Residencial
- Comercial y Industrial
- Oficial y Especial

El área residencial se divide en cinco categorías en función del estrato social o avalúo catastral.

Tabla 17. Tarifa vigente del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga E.S.P. S.A.

1. USO RESIDENCIAL							
ESTRATO 1				ESTRATO 2			
CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)			CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)		
	Básico	Complem.	Suntuario		Básico	Complem.	Suntuario
2871.59	338.06	738.99	738.99	4070.67	470.61	738.99	738.99
ESTRATO 3				ESTRATO 4			
CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)			CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)		
	Básico	Complem.	Suntuario		Básico	Complem.	Suntuario
6322.78	738.99	738.99	738.99	6377.42	738.99	738.99	738.99
ESTRATO 5				ESTRATO 6			
CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)			CARGO FIJO (\$/mes)	CONSUMO (\$/m ³)		
	Básico	Complem.	Suntuario		Básico	Complem.	Suntuario
7705.36	859.54	886.79	886.79	8855.96	859.54	886.79	886.79
	2.USO COMERCIAL E INDUSTRIAL			3. USO OFICIAL Y ESPECIAL			
CARGO FIJO (\$/mes)	7705.36			6377.42			
CONSUMO (\$/m ³)	886.76			738.99			

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TURBIEDADES.

OBJETIVO: Determinar la Frecuencia de ocurrencia de Turbiedades en la planta.

METODOLOGÍA: Se agrupan los datos en rangos de turbiedad predeterminados y luego se analizan los resultados para determinar cuales son las turbiedades mas frecuentes en la planta.

Se emplean los datos de Turbiedad registrados en la planta en el periodo de Enero 2004 a Diciembre 2004, los cuales se agrupan en rangos para determinar las más frecuentes.

Tabla 18. Cuadro de Frecuencia Mensuales Totales.

Turbiedad	Datos	Frecuencia Parcial	Frecuencia Acumulada
<20	234	76,97368	76,97368
21-40	39	12,82895	89,80263
41-60	13	4,276316	94,07895
61-80	9	2,960526	97,03947
81-100	2	0,657895	97,69737
>100	7	2,302632	100
Total	304	100	%

De la tabla anterior se puede observar que los valores de turbiedad de mayor frecuencia en la planta se encuentran en el rango de **< 20 U.N.T.** con una ocurrencia del 77 % comparado con los otros valores. Para este rango de

turbiedades, se analiza cual es la Turbiedad mas frecuente en la planta y se obtiene la tabla 19 y la tabla 20.

Tabla 19. Cuadro de Frecuencia de Turbiedades – Rango <20 U.N.T.

MES	FRECUENCIA											Total datos
	TURBIEDAD U.N.T											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20	
Febrero	2	20	3	1	0	1	0	0	1	0	1	29
Marzo	0	17	5	2	0	1	0	0	0	0	6	31
Abril	0	3	7	2	3	0	0	3	1	0	11	30
Mayo	0	0	5	4	1	1	2	0	3	0	15	31
Junio	0	4	11	5	1	1	1	0	0	0	7	30
Julio	0	10	6	3	1	0	1	0	1	0	8	30
Agosto	0	15	7	4	0	0	0	0	0	0	5	31
Septiembre	0	8	6	6	1	0	3	1	0	0	5	30
Octubre	0	6	6	5	1	1	2	0	1	1	8	31
Diciembre	0	11	10	3	0	2	0	0	0	0	5	31
TOTAL	4	98	72	43	18	19	23	20	25	21	71	304

Tabla 20. Frecuencia Acumulada de Turbiedades. Rango < 20 U.N.T.

Rango	valor medio	FRECUENCIA		Porcentaje Acumulado %
		Parcial	Acumulada	
0-2	1	4	4	0,96618357
2,01-4	3	98	102	24,6376812
4,01-6	5	72	174	42,0289855
6,01-8	7	43	217	52,4154589
8,01-10	9	18	235	56,763285
10,01-12	11	19	254	61,352657
12,01-14	13	23	277	66,9082126
14,01-16	15	20	297	71,7391304
16,01-18	17	25	322	77,7777778
18,01-20	19	21	343	82,8502415
>20	21	71	414	100

Grafico 12. Frecuencia Acumulada de Turbiedades.

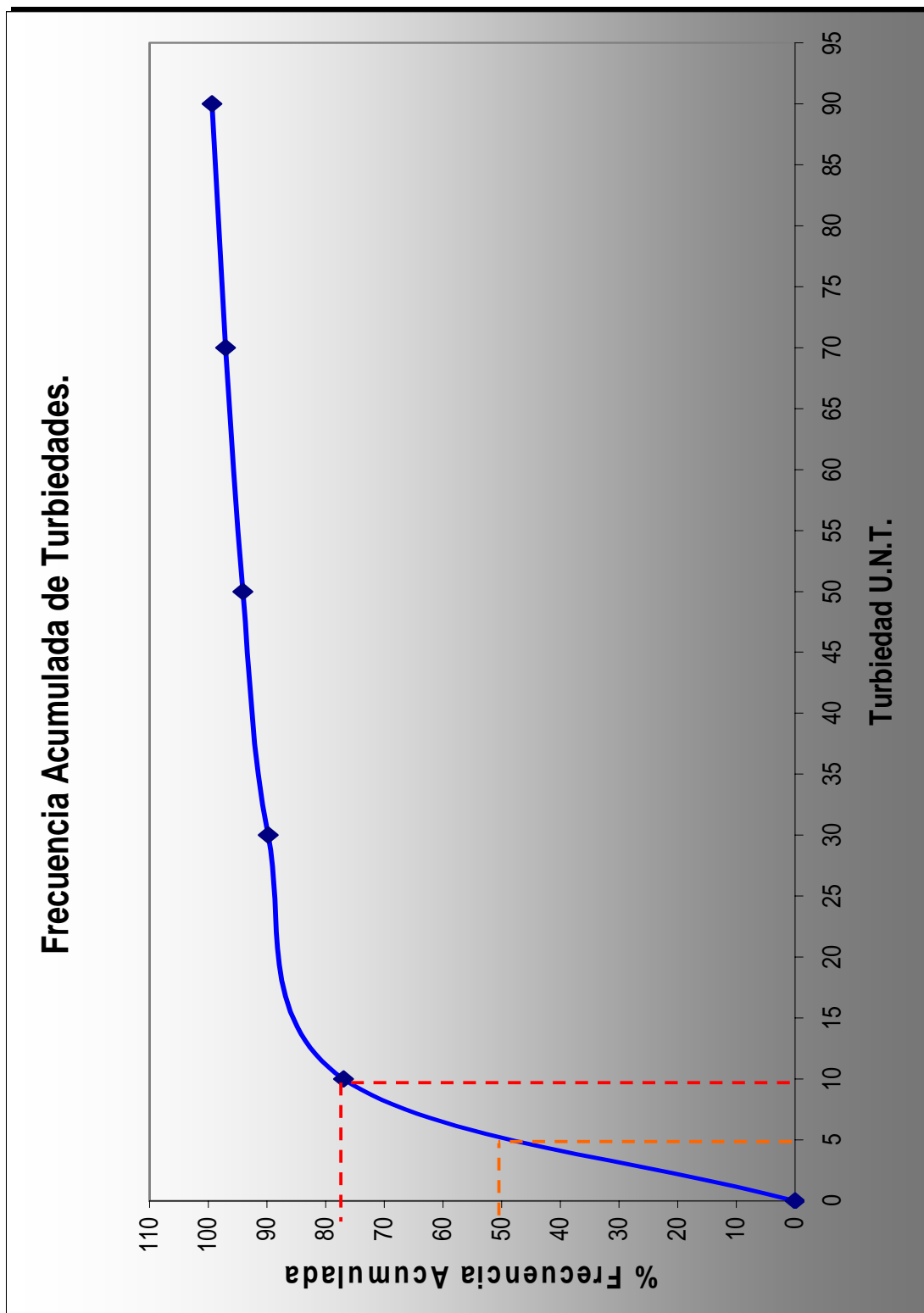
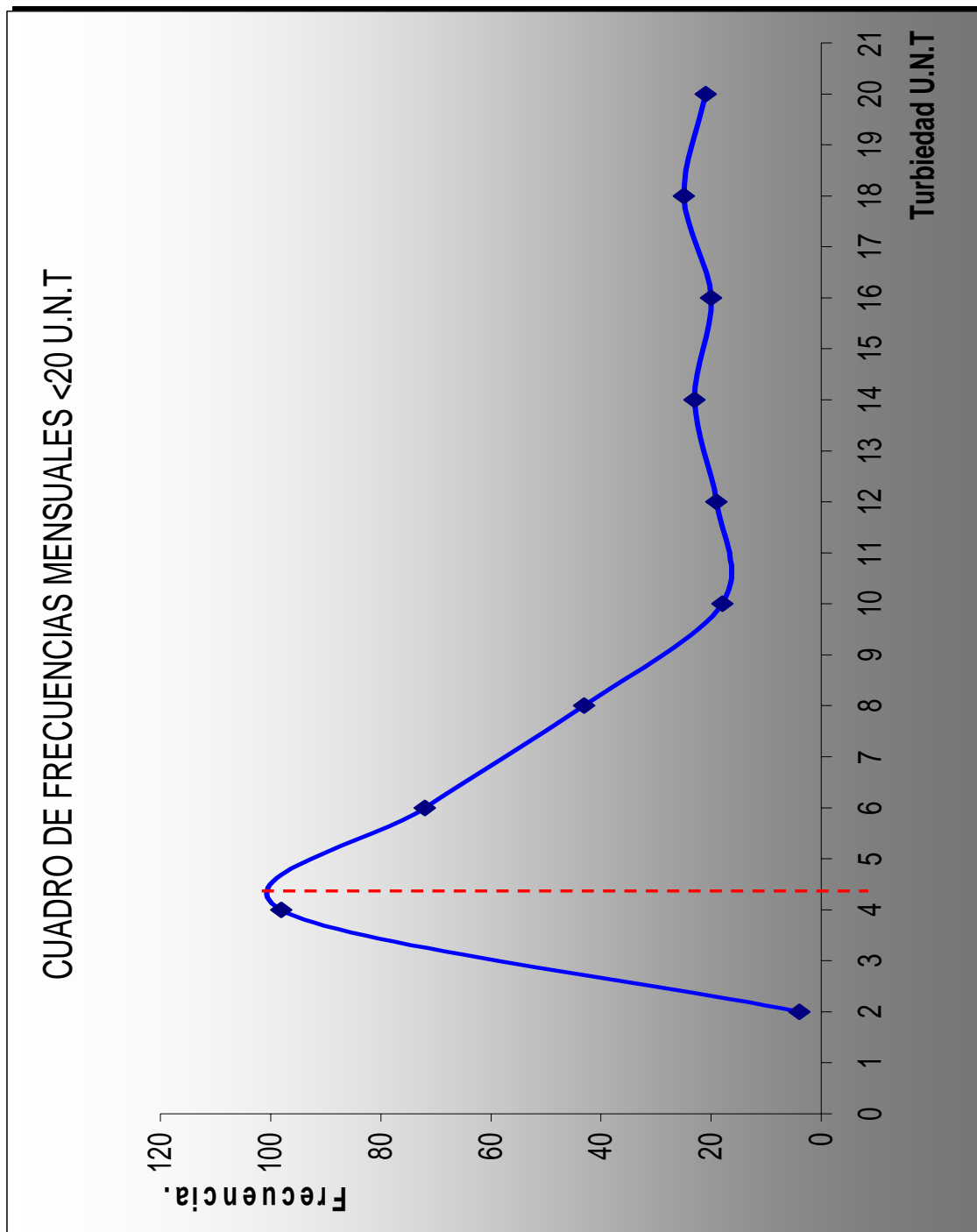


Gráfico 13. Frecuencia de Turbiedades – Rango < 20 U.N.T



3.2.1 Diagnóstico.

Se puede observar de la tabla 18 que la planta trabaja la mayoría del tiempo con turbiedades bajas, con el 77% del tiempo tratando turbiedades menores a **20 U.N.T.** Además, se puede observar en la Grafica N° 12 que en este rango de valores el 50% del tiempo se presentan valores de Turbiedad menores de **5 U.N.T** con valores de mayor ocurrencia variando entre **4 y 5 U.N.T.**

Los valores de turbiedades altas se presentan en épocas de invierno y ocasionalmente en horas nocturnas.

3.3 ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.

En la planta de Floridablanca se usan las siguientes sustancias químicas:

- Sulfato de aluminio, como coagulante.
- Polímero, como ayudante de la coagulación.
- Cal, como estabilizador de pH.
- Cloro, como desinfectante.

3.3.1 Sulfato de Aluminio:

Se utiliza sulfato de aluminio, producido por dos empresas diferentes, empacado en bolsas de 25 kg cuyas etiquetas de presentación son:

**SULFO QUIMICA
SULFATO DE ALUMINIO
TIPO B
COLOMBIA
ITAGUI – ANTIOQUIA
CALLE 55 No. 46-85
A. A. 50532 – MEDELLIN
TELEFONO 3721600 FAX 2775676
25kg neto
LICENCIA DE FABRICACION No. 0428**

**PRODUCTOS QUIMICOS PANAMERICANOS S.A.
SULFATO DE ALUMINIO
TIPO B
PESO NETO 25kg
PRODUCTO COLOMBIANO
MEDELLIN APTDO AEREO 4274**

Para el almacenamiento del sulfato de aluminio se cuenta con una bodega multipropósito ubicada al lado de la planta nueva con un espacio de 236 m³, pero un volumen útil de almacenamiento de Sulfato de Aluminio de 45 m³ en la cual se puede colocar aproximadamente **1200 bultos**. Se cuenta también con espacio adicional de almacenamiento en el segundo piso del edificio de administración para el sulfato de consumo inmediato, con un volumen de almacenamiento de 12,5 m³ para aproximadamente **410 bultos**. Esto da un total de **1610 bultos** almacenados, para un total de **40250 Kg** de Sulfato de Aluminio.

Tabla 21. Consumo mensual de Sulfato de Aluminio. Enero 2004 a Diciembre 2004.

MES	Sulfato de Aluminio (Kg)	Invierno (Kg)	Verano (Kg)
ENE.	27375	-	27375
FEB.	20200	-	20200
MAR.	27050	-	27050
ABR.	32700	32700	-
MAY.	33975	33975	-
JUN.	26150	-	26150
JUL.	28625	28625	-
AGO.	33700	33700	-
SEPT.	29575	29575	-
OCT.	33400	33400	-
DIC.	26700	-	26700
Promedio total	29041	31996	25495

3.3.1.1 Diagnostico.

Se analizó el consumo de Sulfato de Aluminio para el año 2004 en la planta, tanto en promedio como por temporada (invierno o verano), de donde se obtuvo que el consumo promedio es de **29041 Kg / mes** de Alumbre, es

decir, **1162 bultos** de 25 Kg mensuales, lo cual quiere decir que la planta puede operar normalmente con un abastecimiento total por aproximadamente **1 mes y 11 días** para operación promedio. En temporada de invierno se tiene **31996 Kg/mes** equivalente a **1280 bultos**, para operar normalmente con el máximo abastecimiento por un periodo de **1 mes y 7 días**. En temporada de verano el promedio de consumo fue de **25495 Kg/mes** equivalente a **1020 bultos**, para operar normalmente con el abastecimiento máximo por un periodo de **1 mes y 17 días**.

3.3.2 Polímero:

En la planta se utiliza como ayudante de la coagulación un poli-electrolito, que viene en tambores de 200 litros de capacidad. Su peso neto es de 220 Kg. y cuya etiqueta de presentación es:

CYQUIM
SUPERFLOC® 579 - C
(Poliamina cuaternaria en agua)
PESO NETO 220 Kg.
CAPACIDAD 200 LTS.

Debido al poco uso de polielectrolito en la planta, no se tiene un lugar de almacenamiento específico, por lo que puede ser ubicado en cualquier lugar cerca de las bombas de dosificación para más comodidad.

3.3.2.1 Diagnóstico.

Se observa en la tabla 22 que el consumo promedio de polímero es de **43 Kgr/mes**, cantidad bien suplida por los tambores de 220 Kg, tanto para un promedio general como para el análisis por temporadas; el consumo

promedio en temporada de invierno fue de **53 Kg/mes** y en temporada de Verano fue de **30 Kg/mes**.

Tabla 22. Consumo Mensual de Polímero. Enero 2004 a Diciembre 2004.

MES	Sulfato de Aluminio (Kg)	Invierno (Kg)	Verano (Kg)
ENE.	65	-	65
FEB.	25	-	25
MAR.	45	-	45
ABR.	60	60	-
MAY.	65	65	-
JUN.	15	-	15
JUL.	15	15	-
AGO.	5	5	-
SEPT.	96	96	-
OCT.	74	74	-
DIC.	0	-	0
Promedio total	43	53	30

3.3.3 Cal:

La cal es aplicada en la planta para el ajuste del pH del agua antes de la post-cloración del agua. Este producto es obtenido de un solo distribuidor de cal, el cual utiliza la siguiente etiqueta para el producto:

CEMENTOS DEL NARE S.A
PESO NETO 25 Kg.
CAL HIDRATADA
CUMPLE CON LA NORMA NTC 1398

La bodega empleada para el almacenamiento de cal cuenta con un volumen total de 83 m³, con una capacidad de almacenamiento de **18 m³** para un total de **694** bultos de cal.

3.3.3.1 Diagnóstico.

De la tabla 23 se observa que el consumo promedio de cal mensual en la planta es de **8019 Kg/mes**, es decir, **321 bultos** de 25 Kgr, cantidad que completa el máximo de almacenamiento en **dos meses y 5 días**. Para temporada de invierno el consumo promedio fue de **8472 Kg/mes** equivalente a **339 bultos** cantidad almacenada para un periodo de **2 meses y 2 días**; para temporada de verano el consumo fue de **7475 Kg/mes** equivalente a **299 bultos** cantidad almacenada para un periodo de **2 meses y 10 días**.

Tabla 23. Consumo Mensual de Cal. Enero 2004 a Diciembre 2004.

MES	Sulfato de Aluminio (Kg)	Invierno (Kg)	Verano (Kg)
ENE.	8025	-	8025
FEB.	6550	-	6550
MAR.	7900	-	7900
ABR.	8525	8525	-
MAY.	9480	9480	-
JUN.	7000	-	7000
JUL.	7175	7175	-
AGO.	9150	9150	-
SEPT.	7500	7500	-
OCT.	9000	9000	-
DIC.	7900	-	7900
Promedio total	8019	8472	7475

3.3.4 Cloro:

El cloro es el desinfectante utilizado en esta planta. Este producto es adquirido por la empresa BRINSA la cual lo suministra en estado líquido, envasados en contenedores de acero, con una capacidad aproximada de 907 Kg.

3.3.4.1 Diagnóstico.

De la tabla 24 se tiene que el consumo promedio mensual de Cloro en la planta es de **2082 Kg/mes**, es decir, **69 Kg/día**. La planta posee 8 cilindros con capacidad de **7256 Kg**, suficiente para soportar **104 días**. En temporada de invierno el consumo promedio fue de **2155 Kg/mes** soportado por la capacidad máxima de la planta por aproximadamente **3 meses y 11 días**, y

en temporada de verano el consumo promedio fue de **1995 Kg/mes** soportado por la capacidad máxima de la planta por aproximadamente **3 meses y 19 días**.

Tabla 24. Consumo Mensual de Cloro. Enero 2004 a Diciembre 2004.

MES	Sulfato de Aluminio (Kg)	Invierno (Kg)	Verano (Kg)
ENE.	1860	-	1860
FEB.	1840	-	1840
MAR.	2000	-	2000
ABR.	2070	2070	-
MAY.	2010	2010	-
JUN.	2030	-	2030
JUL.	1960	1960	-
AGO.	2470	2470	-
SEPT.	2142	2142	-
OCT.	2275	2275	-
DIC.	2242	-	2242
Promedio total	2082	2155	1995

3.4 DOSIFICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.

3.4.1 Calibración De Caudales De Arrastre.

El caudal de arrastre es un parámetro importante en la dosificación de las sustancias químicas, ya que este es el encargado de diluir los insumos químicos (Sulfato de Aluminio, Polielectrolito, Cal, Cloro) para ser aplicados en el tratamiento, influyendo de manera directa en algunos de ellos (como en la coagulación) al afectar directamente la concentración de la solución aplicada. Para la determinación del caudal de arrastre se realizaron aforos de medición de caudal en cada dosificador tomando tres muestras para realizar el promedio.

3.4.1.1 Caudal de arrastre del Sulfato de Aluminio.

Tabla 25. Caudal de arrastre para el Dosificador N° 1. Sección planta Antigua.

MUESTRA	VOLUMEN (m ³)	TIEMPO (seg.)	CAUDAL (m ³ /Seg.)	
1	0,022272	27,48	0,00081048	
2	0,022272	26,22	0,000849428	
3	0,022272	25,84	0,00086192	
	PROMEDIO		0,000840609	m3 / Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		50,43655543	L / min.

El caudal promedio de arrastre para el Dosificador N° 1 es de **50,44 l/min.**

Tabla 26. Caudal de arrastre para el Dosificador N° 2. Sección planta Ampliación.

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (Seg.)	CAUDAL (L/Seg.)	
1	10,2	22,92	0,445026178	
2	10,9	24,22	0,450041288	
3	9,78	21,13	0,46284903	
	PROMEDIO		0,452638832	L/Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		27,15832992	L/min.

El caudal promedio de arrastre para el Dosificador N° 2 es de **27,16 l/min.**

3.4.1.2 Caudal de arrastre de Cal.

Tabla 27. Caudal de arrastre de Cal.

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (Seg.)	CAUDAL (L/Seg.)	
1	8,35	7,26	1,150137741	
2	11,2	9,73	1,151079137	
3	9,25	7,88	1,173857868	
	PROMEDIO		1,158358249	L / Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		69,50149492	L / min.

El caudal promedio de arrastre para el dosificador de cal es de **69,50 L/min.**

3.4.1.3 Caudal de arrastre de polímero.

Tabla 28. Caudal de arrastre Dosificador de Polímero. Sección planta Antigua.

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (Seg.)	CAUDAL (L/Seg.)	
1	8	11,03	0,725294651	
2	6,7	8,76	0,764840183	
3	6,22	8,32	0,747596154	
4	5,32	7,13	0,746143058	
	PROMEDIO		0,745968511	L / Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		44,75811067	L / min.

El caudal promedio de arrastre para el dosificador de polímero de la sección Antigua es de **44,76 L/min.**

Tabla 29. Caudal de arrastre Dosificador de Polímero. Sección Planta Ampliación.

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (Seg.)	CAUDAL (L/Seg.)	
1	0,8	20,31	0,039389463	
2	0,895	22,77	0,039306105	
3	0,905	22,99	0,039364941	
4	0,81	20,79	0,038961039	
	PROMEDIO		0,039255387	L / Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		2,355323221	L / min.

El caudal promedio de arrastre para el dosificador de polímero de la Sección de Ampliación es de **2,36 L/min.**

3.4.1.4 Caudal de arrastre de Cloro.

Tabla 30. Caudal de arrastre de Cloro.

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (Seg.)	CAUDAL (L/Seg.)	
1	8,13	12,47	0,651965	
2	7,1	10,79	0,658017	
3	6,93	10,58	0,655009	
4	6,89	10,52	0,654943	
	PROMEDIO		0,654983	L / Seg.
	CAUDAL PROMEDIO		39,29901	L / min.

El caudal promedio de arrastre del dosificador de cloro es de **39,3 L/min.**

3.4.2 Dosificación De Sulfato De Aluminio.

La dosis de Sulfato de Aluminio aplicada en la planta debe ser la más exacta, ya que este parámetro es uno de los más importantes entre todas las variables químicas influyentes en el proceso de coagulación.

Se determina la exactitud de la dosificación realizando la calibración de los dosificadores de sulfato, se realizan tres lecturas por cada posición de la escala

variándola desde su valor mínimo hasta el máximo permitido por el equipo y manteniendo el nivel del depósito del sedimentador a un nivel constante.

3.4.2.1 Dosificador de Sulfato N° 1 – Sección Planta Antigua.

Dosificador manual de tornillo sin fin. Con un sistema de dosificación automática por medio del “Streaming current detector” marca HK Scientific, dispositivo que al detectar la variación en la Turbiedad del agua, regula la dosis óptima de sulfato de aluminio para el agua. Los resultados de la calibración se observan en la tabla 31 y su curva de calibración en el Gráfico 14.

Tabla 31. Calibración dosificador de sulfato N°1 Sección planta antigua.

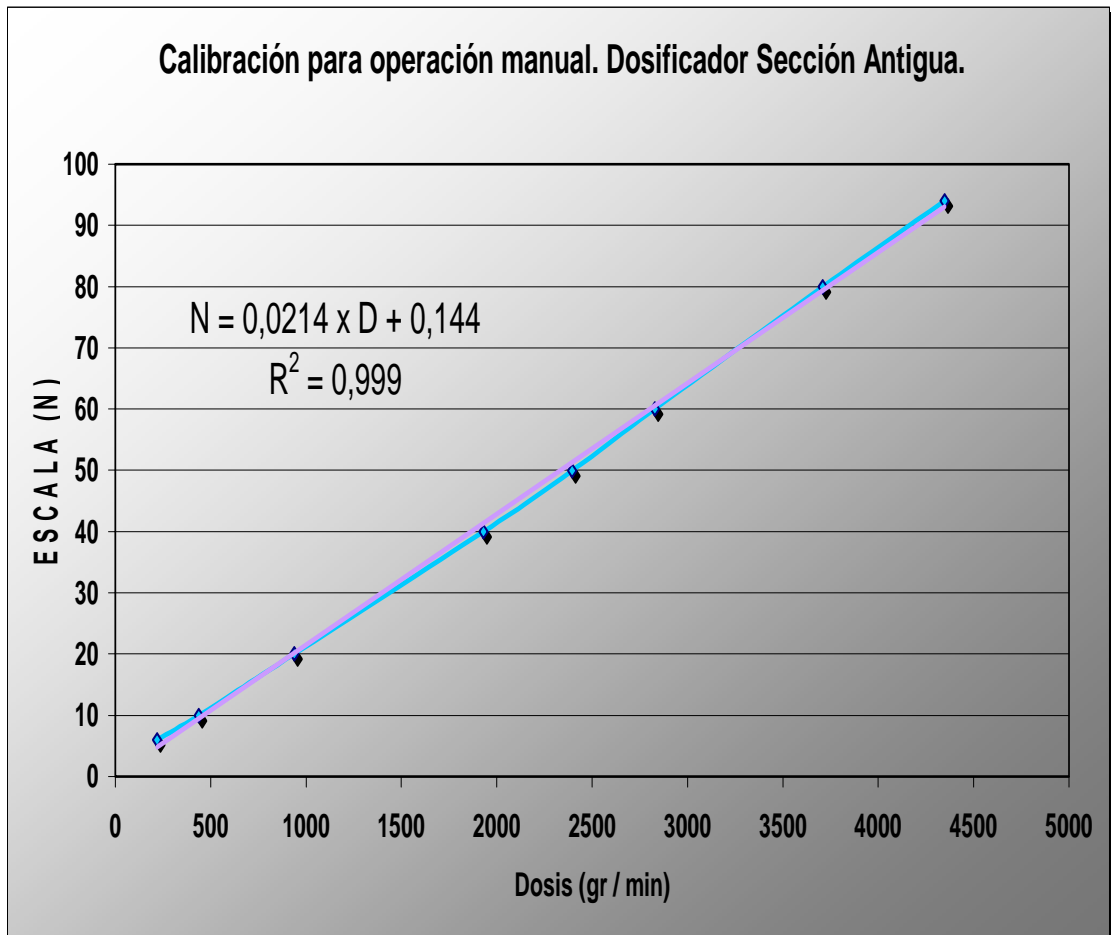
ESCALA (N)	ENSAYOS			PROMEDIO (gr/min.)
	1 ^{er} Ensayo (gr / min)	2 ^{do} Ensayo (gr/min)	3 ^{er} Ensayo (gr/min)	
6	223	216	217	219
10	464	426	426	439
20	944	952	920	939
40	1926	1934	1928	1929
50	2396	2424	2368	2396
60	2784	2860	2844	2829
80	3728	3680	3716	3708
94	4336	4388	4320	4348

- *Determinación de la flexibilidad:*

Para la máxima posición de la escala permitida por el dosificador, con una dosis aplicada de **4348 gr/min.**, se tiene para un caudal máximo de tratamiento de esta sección de **400 LPS** una dosis aplicada de:

$$\text{DOSIS (p.p.m)} = \frac{\text{Peso (gr/min)} \times 1000}{\text{Caudal (ltr / seg)} \times 60} = \frac{4348 \times 1000}{400 \times 60} = 181.16 \text{ p.p.m}$$

Gráfico 14. Curva de calibración del dosificador de Sulfato N° 1. Sección antigua.



La dosis máxima permitida por el dosificador será de **181 p.p.m.**

- *Determinación del grado de concentración.*

El caudal que llega a la cámara de solución de coagulante es de **50 L/min.** con el que se trabaja siempre, debido a que las válvulas de suministro se mantienen totalmente abiertas.

En la tabla 32 se registran los datos de concentración de la solución entregada para cada valor de peso dosificado, calculado de la siguiente manera:

$$C = \frac{\text{Peso dosificado (gr/min)} / 60\text{seg}}{\text{Caudal de arrastre (mL/seg)}} * 100 \quad (3)$$

Tabla 32. Grado de Concentración Dosificador N° 1.

Escala	Peso Dosificado (gr/min.)	Concentración (% peso / volumen)
6	219	0.44
10	439	0.88
20	939	1.88
40	1929	3.86
50	2396	4.79
60	2829	5.66
80	3708	7.22
94	4348	8.70

3.4.2.2 Dosificador de Sulfato N° 2. Sección Ampliación.

Dosificador manual de tornillo sin fin. Con un sistema de dosificación automática por medio del "Streaming current detector" marca CHEMTRAC dispositivo que al

detectar la variación en la diferencia de potencial del agua debido al equilibrio de cargas entre las partículas coloidales y el coagulante, regula la dosis óptima de sulfato de aluminio para el agua.

Los resultados de la calibración se observan en la tabla 33 y su curva de calibración en el Gráfico 15.

Tabla 33. Calibración dosificador de sulfato N° 2 – Sección Ampliación.

ESCALA (N)	ENSAYOS			PROMEDIO (gr/min.)
	1 ^{er} Ensayo (gr / min)	2 ^{do} Ensayo (gr/min)	3 ^{er} Ensayo (gr/min)	
4,4	150	156	150	152
6,6	274	264	260	266
10,5	482	488	494	488
13,5	662	648	662	657,33
17,5	908	908	908	908
22,2	1138	1162	1164	1154,66
25,1	1308	1292	1314	1304,66
29,4	1554	1568	1562	1561,33
32,3	1722	1728	1738	1729,33

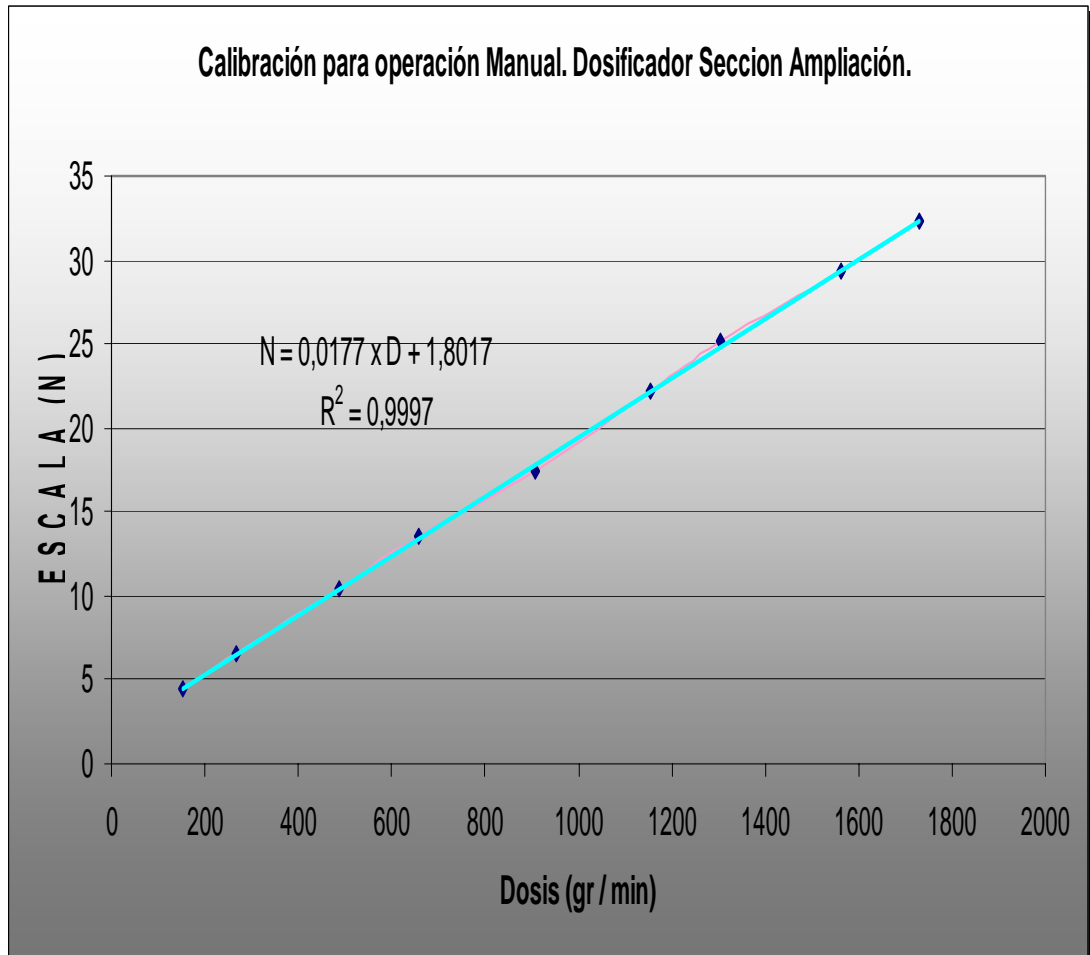
- *Determinación de la flexibilidad:*

Para la máxima posición de la escala permitida por el dosificador, con una dosis aplicada de **1729 gr/min.**, se tiene para un caudal máximo de tratamiento de esta sección de **220 LPS** una dosis aplicada de:

$$\text{DOSIS (p.p.m)} = \frac{\text{Peso (gr/min)} \times 1000}{\text{Caudal (ltr / seg)} \times 60} = \frac{1729 \times 1000}{220 \times 60} = 131 \text{ p.p.m}$$

La dosis máxima permitida por el dosificador será de **131 p.p.m.**

Grafico 15. Curva de calibración del dosificador N° 2. Seccion de Ampliación.



- *Determinación del grado de concentración.*

El caudal que llega a la cámara de solución de coagulante es de **27.16 L / min.** con el que se trabaja siempre, debido a que las válvulas de suministro se mantienen totalmente abiertas.

En la tabla 34 se registran los datos de concentración de la solución entregada para cada valor de peso dosificado, calculada por medio de la ecuación 1.

Tabla 34. Grado de concentración Dosificador N° 2.

Escala	Peso Dosificado (gr/min.)	Concentración (% peso / volumen)
4,4	152	0,56
6,6	266	0,98
10,5	488	1,80
13,5	657,33	2,42
17,5	908	3,34
22,2	1154,67	4,25
25,1	1304,67	4,80
29,4	1561,33	5,75
32,3	1729,33	6,37

3.4.2.3 Diagnóstico.

- Para el dosificador N° 1 se observa de la tabla 32 que la concentración óptimo de 1.5 % determinada en laboratorio se encuentra al dosificar en la escala de **16.18**; para valores menores en la escala, la concentración es menor que la óptima y para valores mayores la concentración es mucho mayor que la optima.
- Para el dosificador N° 2 se tiene de la tabla 34, que para la concentración óptima de 1.5% se tiene un valor de escala de **9.01**, y al igual que en el anterior análisis, las concentraciones varían al variar la escala.

3.4.3 Dosificación de Cal.

Para la dosificación de cal la planta cuenta con un mezclador ubicado en el tercer piso del edificio de operaciones, conectado a través de una tubería a un dosificador que se ubica en el segundo piso del edificio de operaciones.

Primero se realiza la mezcla de cal con un determinado número de bultos de cal con 1m³ de agua. Luego baja al dosificador de cal en el segundo piso, que suministra un caudal de cal de **69,5 L/min.** al efluente del agua filtrada para mantener un pH promedio de 7 a 7.5.

- *Determinación del grado de Concentración.*

La concentración de la solución de cal se determino por medio de muestras de solución, la primera es la solución inicial de cal y la segunda es la de aplicación.

- *Solución inicial de cal:*

Volumen de Solución inicial de cal = 235 ml = 0.235 L

Peso contenido de cal en solución = 23,3 gr.

$$\text{Relación } \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Peso de Cal (gr)}}{\text{Volumen de Solucion(L)}} = \frac{23,3\text{gr}}{0.235\text{L}} = 99,149\text{gr/L}$$

Se obtuvo una relación inicial de **99,149 gr/L** de solución de cal, de lo que se puede deducir que para **1 m³** de agua se utilizan **99,1 Kg.** de cal, esto es aproximadamente **4** bultos de cal de 25 Kg.

- *Solución de aplicación al tratamiento:*

Volumen de solución de cal en canal de arrastre = **128 ml = 0.128 L.**

Peso de cal contenido en la solución = **16.4 gr.**

$$\text{Relación } \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Peso de cal}(\text{gr})}{\text{Volumen de solución}(\text{mL})} = \frac{3.4\text{gr}}{0.128\text{L}} = 26.5\text{gr} / \text{L}$$

La relación de Concentración por peso da como resultado **26.5 gr/L**, lo que es aproximadamente la cuarta parte de la solución anterior.

3.4.4 Dosificador de Polímero

Para la dosificación del polímero se cuenta en la planta con dos equipos de dosificación, ubicados uno en el segundo piso del edificio de operaciones para el tratamiento de agua en la Sección antigua y otra en el tercer piso del edificio encargada de dosificar para la Sección de ampliación respectivamente.

3.4.4.1 Dosificador de Polímero Tipo Bomba Prominent de diafragma. Sección Antigua.

Es un dosificador con variación a dos escalas de aplicación. Empleado en la dosificación de polímero para la Sección antigua.

La curva de calibración se obtuvo aforando los caudales aplicados por la bomba en cada escala (escala II y escala III) variando la posición de la perilla.

Los datos de esta calibración se pueden observar en la tabla 35 y en la grafica 16.

Tabla 35. Calibración de Dosificador de Polímero Bomba Prominent. Sección antigua.

CURVA DE DOSIFICACIÓN POLIMERO BOMBA PROMINENT			
ESCALA II		ESCALA III	
Posición Perilla	Descarga ml/min.	Posición Perilla	Descarga ml/min.
5	7,4	5	15,5
10	7,8	10	16
15	8,2	15	16,5
20	16,5	20	24
25	23,5	25	38
30	26,8	30	43
35	35	35	46
40	45	40	61
45	54	45	82
50	66	50	98
55	75	55	110
60	86	60	130
65	97	65	160
70	110	70	285
75	120	75	310
80	130	80	340
85	138	85	360
90	150	90	380
95	160	95	395
100	230	100	410

3.4.4.2 Dosificador de polímero tipo bomba de Pistón. Sección ampliación.

Es un dosificador que funciona con variaciones de flujo dependiendo del porcentaje de abertura y la posición de la escala respectiva. Empleado para la dosificación de polímero en la Sección de Ampliación.

Los datos de esta calibración se pueden observar en la tabla 36 y en la grafica N° 16

Grafico 16. Curva de Calibración Dosificador de polímero. Sección planta antigua

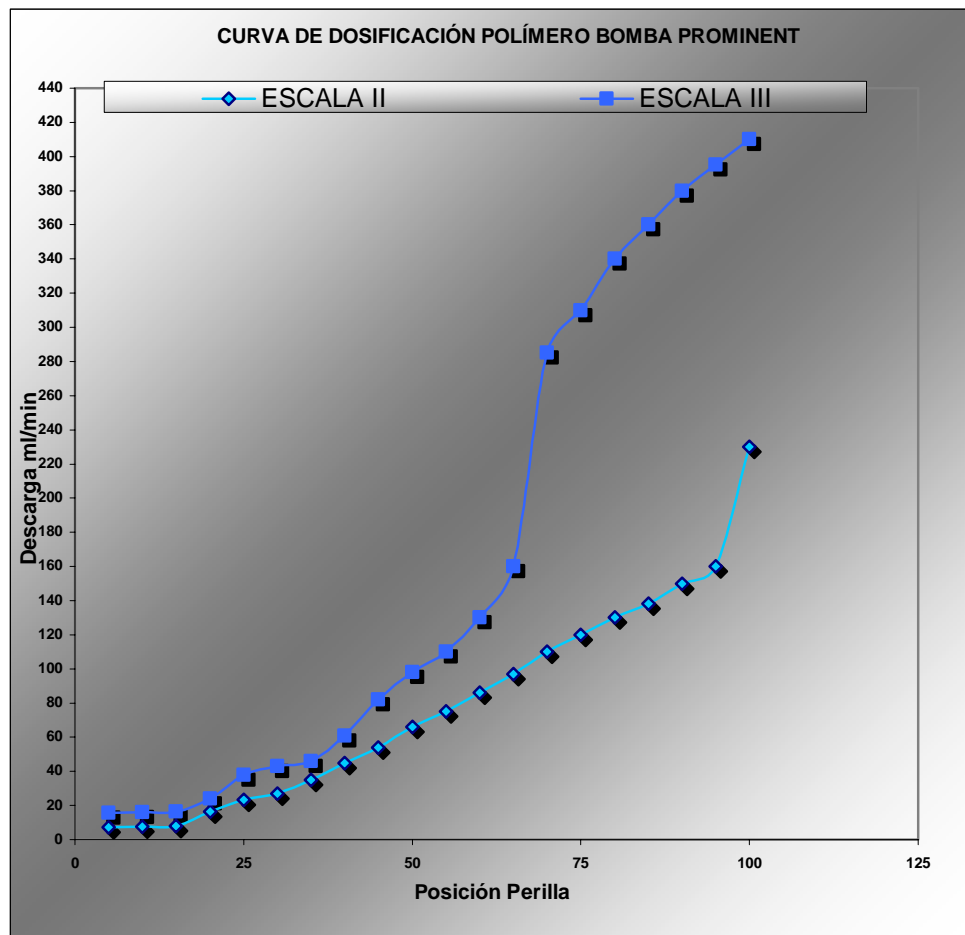
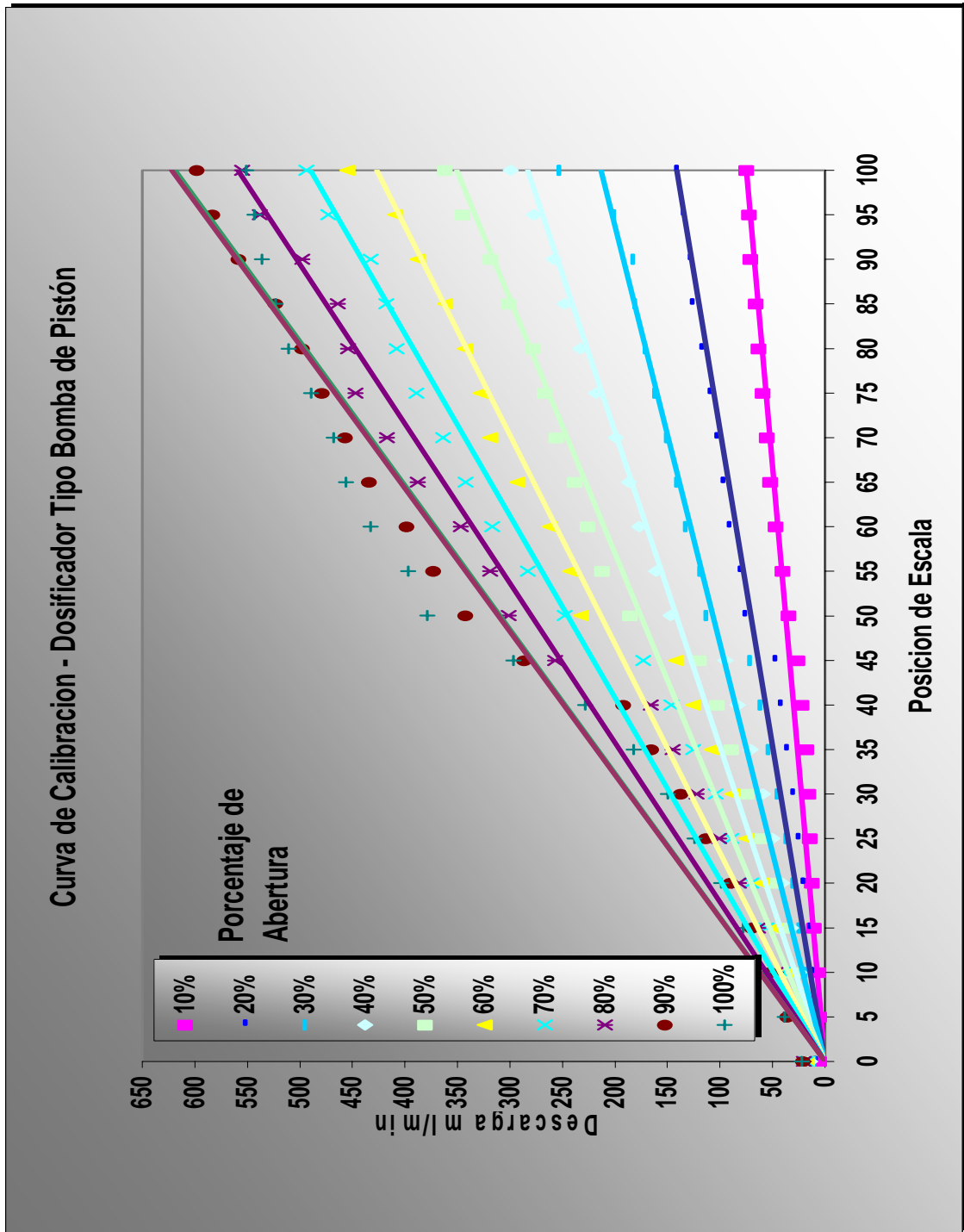


Tabla 36. Calibración del dosificador tipo bomba de Pistón. Sección ampliación.

<i>to = 60s</i>	PORCENTAJE									
<i>velocidad</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
POSICION DE ESCALA	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0	5	8,9	10,2	14,3	16,9	17,4	18,2	20,1	21,1	21,9
5	5,1	10,2	13,8	17,7	21,8	25,7	29,3	32,5	35,8	38,2
10	6,8	12,3	18,7	24,8	30,8	36,4	40,2	46,7	52	57,4
15	10,3	14,6	24,6	32,3	39,8	48,3	56,1	63,8	69,7	78,2
20	12,5	20,7	30,8	41,1	50,5	60,7	70,3	81,8	89,8	98,8
25	14,2	25,2	37,4	50,3	61,8	74,8	89	101,1	113	124,3
30	15,6	30,6	45,4	59,4	74,2	88,7	103,8	122,6	137,4	149,6
35	17,8	36,6	54,3	71,1	89,3	107,8	125,5	144,9	165,1	182,5
40	21,8	42,4	61,8	83,5	102,8	125,7	146,4	165,8	192,2	228,5
45	25,8	47,7	71,3	94,8	119,7	141,8	172,9	257	286	297
50	34,7	76,2	113	147	185,3	232	248	301	342	379
55	40,5	80,6	119	161	212	243	283	319	373	397
60	47	91	133	177	226	262	317	347	398	433
65	51,8	97	141	187	238	293	342	388	434	456
70	55	103	151	199	256	319	364	417	457	468
75	59	109	162	218	267	328	389	447	479	489
80	63	117	171	233	278	343	408	454	498	511
85	65,5	126	181	248	301	362	418	464	523	523
90	71	128	183	258	318	388	433	498	558	536
95	72,3	135	201	277	345	409	473	538	583	543
100	75	141	253	299	362	455	494	555	598	551

Gráfico 17. Curva de Calibración de Polímero Tipo Pistón. Sección Ampliación.



3.4.5 Diagnóstico.

- No hay equipos de medición de los caudales de arrastre aplicados en la dosificación de sustancias químicas, con lo que no se garantiza la concentración apropiada de las soluciones empleadas en el tratamiento, como en el caso de los dosificadores de sulfato de aluminio, donde las concentraciones varían de **0.44 % - 0.56 %** en la escala mas baja hasta **8.7 % - 6.97 %** en la más alta.
- Se presenta material depositado en el fondo y en las paredes de los tanques de mezcla y en los canales y tuberías de conducción de las soluciones de los dosificadores de sulfato de aluminio debido a la baja frecuencia en la realización de los mantenimientos.
- Los equipos de dosificación no cuentan con curvas de calibración de fábrica, pero se han realizado curvas de calibración para operaciones manuales en momentos de mantenimientos de los equipos.
- La planta cuenta con equipos de dosificación auxiliar, pero que no están calibrados y algunos se encuentran en mal estado.
- El sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento presenta un tamaño de partícula correspondiente al retenido en el tamiz 200 y pasa 200; el cual es muy liviano y solo se mezcla correctamente en la solución cuando alcanza su saturación, lo cual hace que se acumule en la superficie del agua en forma de espuma dando un aspecto desagradable al tanque de mezclado.
- El punto de aplicación del sulfato se encuentra a **0.30 m** sobre el nivel de agua del tanque, distancia relativamente alta que implica desperdicio de material fino de sulfato, el cual es fácilmente arrastrado por el viento y disperso alrededor de los dosificadores.

3.5 ESTRUCTURA DE MEDICIÓN DE CAUDAL CANALETA PARSHALL

OBJETIVO: Determinar las características de la estructura de medición empleada en la sección.

METODOLOGIA: Se realiza la calibración de la estructura de medición empleando los métodos descritos por el CEPIS, para obtener una relación entre la medición que se lleva a cabo por medio del instrumento SCADA, y el aforo que realiza la canaleta Parshall, comparados con los valores obtenidos de las pruebas de campo.

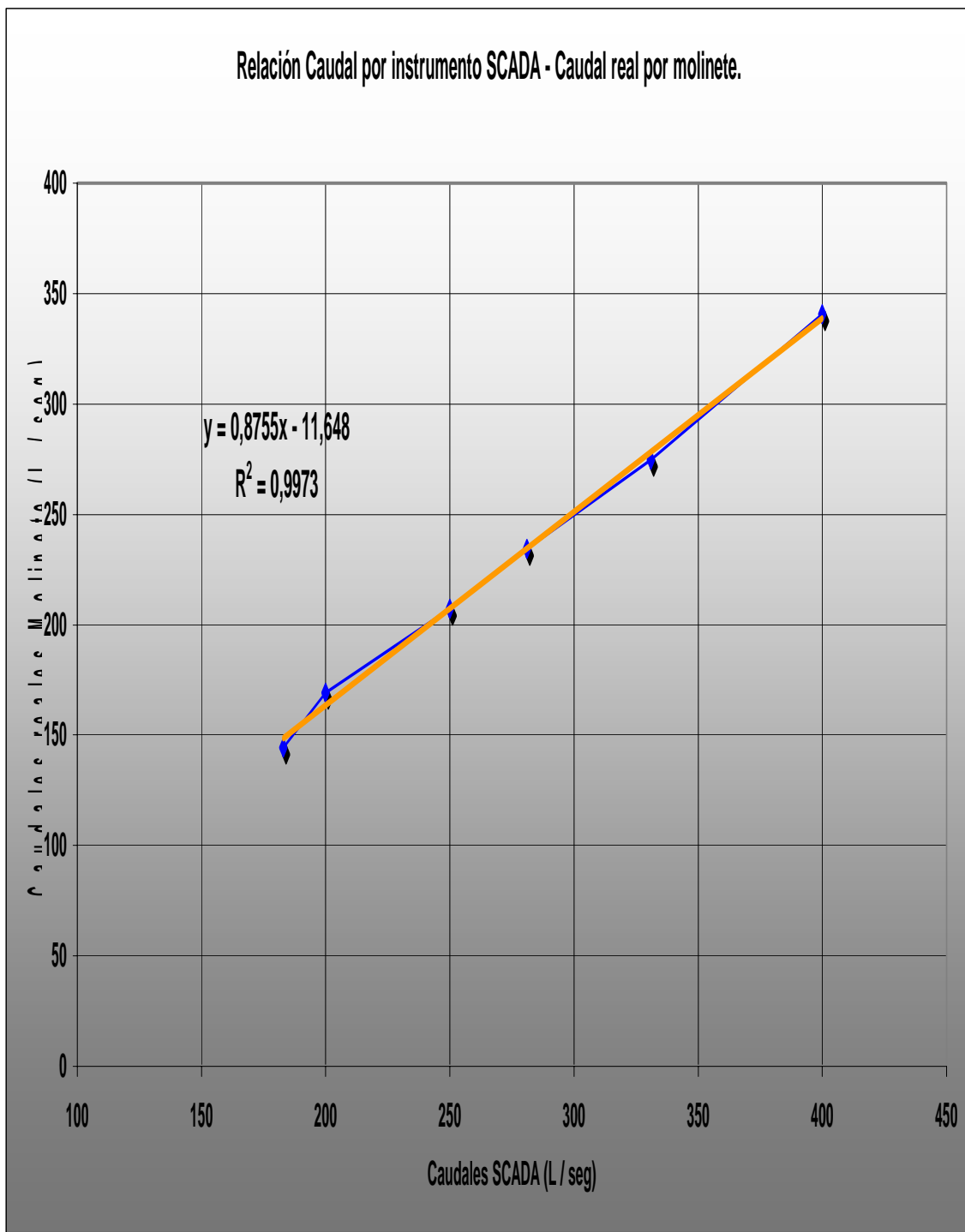
En la sección de ampliación se emplea una canaleta Parshall para desarrollar dos funciones: el aforo de caudal de la sección y la generación del resalto hidráulico para realizar la mezcla rápida.

Para la calibración de la canaleta parshall, se realizaron aforos por el **método de molinete** para determinar los caudales reales que están entrando a la sección antigua y estos se comparan con los valores entregados por el instrumento de medición SCADA. Esta relación se presenta en la tabla 37:

Tabla 37. Relación de caudales por aforo de molinete – instrumento SCADA.

Caudal SCADA (L / seg)	400	331	281	250	200	183
Caudal molinete (L / seg)	340,55	274,5	234,4	207,36	169,3	144,25

Gráfico 18. Relación de caudales SCADA Vs Caudales por molinete.
Calibración de canaleta Parshall.



En la grafica 18 se relacionan los caudales obtenidos para realizar la corrección del caudal dado por el instrumento SCADA.

De la anterior grafica se obtiene la ecuación de relación entre el caudal leído en el instrumento SCADA y el caudal calibrado por molinete, con la cual se puede realizar la conversión del caudal medido por SCADA a caudal real de operación de la sección de ampliación.

$$\text{Caudal real} = 0,8755 \times \text{Caudal SCADA} - 11,648 \quad (4)$$

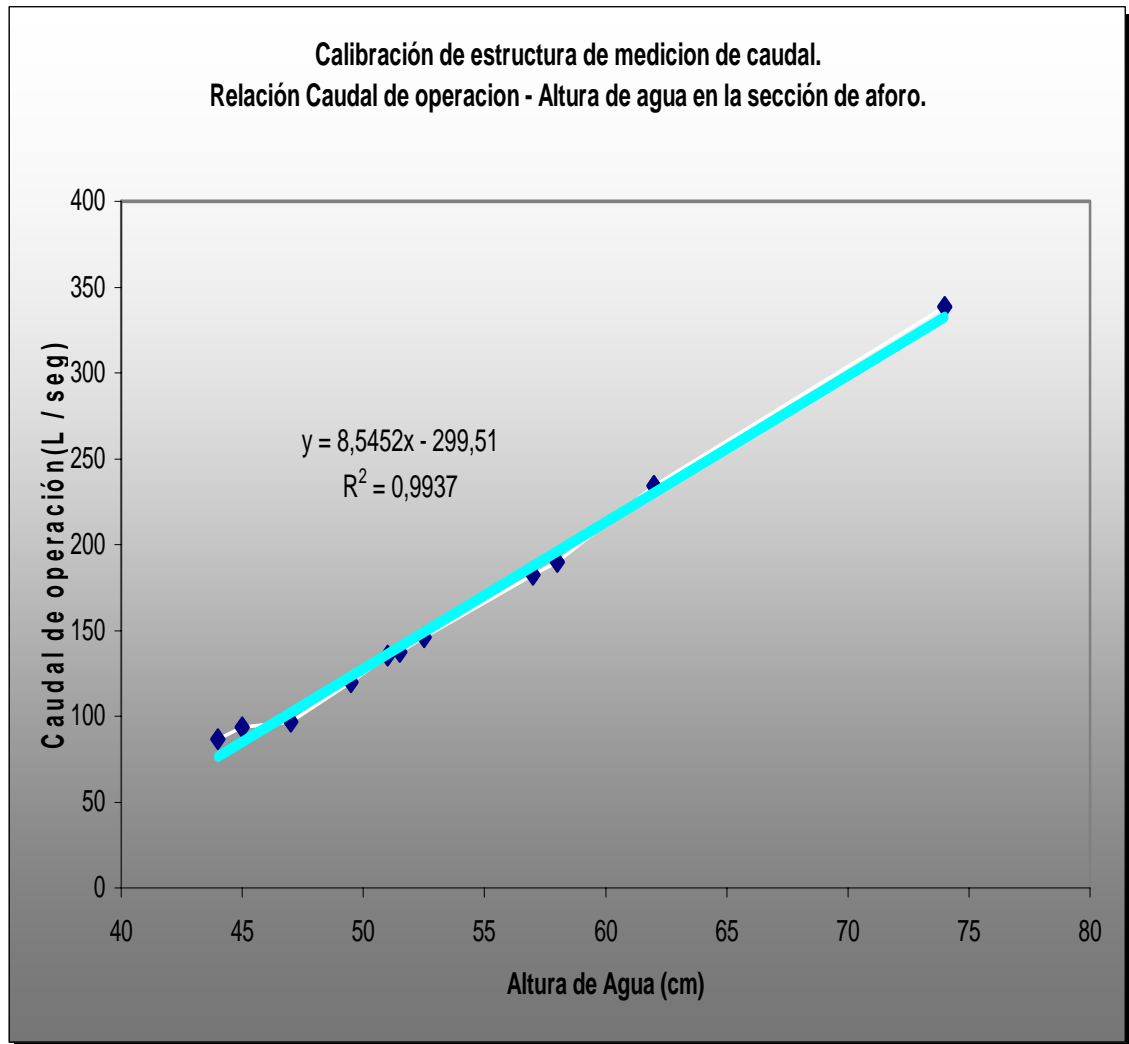
Con un valor de $R^2 = 0,9973$

También se relacionaron las alturas medidas en el pozo de medición ubicado al lado de la canaleta parshall (ver plano general) para calibrar la reglilla de medición de caudal.

Tabla 38. Relación para la calibración de la reglilla de medición de caudales en la canaleta Parshall.

Caudal SCADA (L/seg)	Caudal real (L / seg)	Altura de agua en el canal de aforo (cm)
400	338,552	74
281	234,3675	62
230	189,717	58
221,5	182,27525	57
180	145,942	52,5
170	137,187	51,5
168	135,436	51
150	119,677	49,5
124	96,914	47
120	93,412	45
112	86,408	44

Gráfico 19. Calibración de canaleta Parshall.



Con la anterior tabla 38 se grafica la relación caudal de operación – altura de agua en el canal de aforo y se obtiene la ecuación N° 5.

$$\text{Caudal de Operación} = 8.5452 \times \text{Altura de Agua} - 299.51 \quad (5)$$

Con un $R^2 = 0.9937$.

3.5.1 Diagnóstico.

- De la calibración de la estructura de medición se observa un gran desfase entre el valor real medido en la planta respecto al valor de caudal tomado por el instrumento SCADA. La diferencia de caudal entre el valor medido y el valor real oscila en un **19.3 %** de variación.
- La canaleta parshall no es la estructura más recomendable para realizar la medición de caudales debido a que cualquier variación en su configuración geométrica altera el comportamiento hidráulico de la misma; actualmente la canaleta presenta un alto desgaste en sus paredes debido a la acumulación de materia orgánica y a la oxidación de sus placas. Se deben realizar calibraciones de caudales más frecuentemente ya que la dosificación de la sección depende del caudal medido por el instrumento.

3.6 MEZCLA RÁPIDA.

La eficiencia de este proceso esta ligada a factores tanto químicos (tipo de coagulante, concentración de coagulante, características del agua a tratar, etc.) como de factores físicos (tiempo e intensidad de mezcla).

3.6.1 Sección Antigua.

3.6.1.1 Eficiencia del Proceso.

OBJETIVO: Determinar la eficiencia de la unidad de mezcla rápida correspondiente.

METODOLOGIA: En el laboratorio se realiza una prueba de jarras empleando las condiciones ideales de laboratorio encontradas en el proceso de optimización a una muestra de agua cruda caracterizada, y luego se determina la turbiedad residual para calcular el índice de Aglomeración aparente en Laboratorio (A_L).

En la planta se toma una muestra de agua luego de pasar por la estructura de mezcla rápida y se continúa el proceso de floculación y de sedimentación con los parámetros óptimos determinados en laboratorio, para calcular el índice de aglomeración aparente en la planta (A_p).

3.6.1.1.1 Características de la muestra de Agua Cruda.

Turbiedad = 35 U.N.T.

Color = 96 UPC.

Temperatura = 23 °C

pH = 7,54

3.6.1.1.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 100 r.p.m. a 120 seg

Floculación: Velocidades de agitación: 56, 49, 45, 42 a tiempos correspondientes de 6min 15seg, 12min 30seg, 18min 45seg, 25min.

Sedimentación = 20 minutos.

pH Optimo de pre-tratamiento para Coagulación = 8,5

Dosis Optima de Sulfato de Aluminio = 30 mg/L al 1.5% de Concentración.

Los resultados de los ensayos se encuentran en la tabla 39, para los cuales se determinan los índices de aglomeración:

Tabla 39. Ensayos de comparación para Eficiencia de Mezcla Rápida.

To = 35 U.N.T.

	Laboratorio	Planta
Prueba N°	Turbiedad Residual U.N.T	Turbiedad Residual U.N.T
1	1	3
2	0,9	2,9
3	1,6	3,0
Turbiedad promedio	1.16	2.96

La eficiencia del proceso para esta muestra esta dada por:

$$\text{Índice de Eficiencia} = \frac{A_p}{A_L} * 100$$

$$\text{Índice de Aglomeración para Laboratorio } A_L = \frac{1}{Tf_L} - \frac{1}{T_0}$$

$$\text{Índice de Aglomeración para Planta } A_p = \frac{1}{Tf_p} - \frac{1}{T_0}$$

Se tiene para esta prueba

$$A_L = \frac{1}{1.1666} - \frac{1}{35} = 0.7826 \quad \text{AL} = \mathbf{0.7826}$$

$$A_p = \frac{1}{2.96} - \frac{1}{35} = 0.3092 \quad \text{AP} = \mathbf{0.3092}$$

$$I = \frac{0.3092}{0.7826} * 100 = 39.5\%$$

Se obtiene la Tabla 40 que relaciona los valores de Turbiedad de Agua Cruda con los índices de eficiencia relativos a cada turbiedad para la sección. Esta eficiencia representa la relación entre el comportamiento real del proceso de mezcla rápida con el comportamiento determinado en el laboratorio.

Tabla 40. Relación de Turbiedad de Agua Cruda – Índice de Eficiencia.

Turbiedad Agua Cruda U.N.T	4.6	15	35	45
Índice de Eficiencia %	41,92	32.6	39.5	29

3.6.1.2 Tiempo de Retención de la Unidad de Mezcla Rápida.

OBJETIVO: Determinar el tiempo de retención real de las unidades de mezcla rápida.

METODOLOGIA: El tiempo de retención en la unidad de mezcla rápida se obtiene determinando el volumen útil de la unidad de mezcla rápida y el caudal de trabajo de la sección.

$$\text{Volumen útil (V)} = 1.27\text{m} \times 1.32\text{m} \times 1.83\text{m} = 3.06 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal (Q)} = 400 \text{ LPS}$$

Y se obtiene el tiempo teórico de retención en la estructura de mezcla rápida:

$$\text{Tiempo de retención (t}_0\text{)} = \frac{V}{Q} = \frac{3.06\text{m}^3}{0.4\text{m}^3 / \text{seg}} = 7.7\text{seg}$$

Entonces se tiene un tiempo de retención en la unidad de mezcla rápida de **t₀ = 7.7 seg.**

3.6.1.3 Intensidad de Mezcla rápida.

OBJETIVO: Determinar el gradiente de Velocidad existente en la unidad de mezcla rápida.

METODOLOGIA: Para determinar el gradiente de velocidad en la unidad de mezcla rápida, se determino la pérdida de carga generada en la sección por la diferencia de cotas entre los niveles de agua a la entrada y a la salida de la unidad.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \times \frac{H}{t_o}} = \sqrt{\frac{9792 \text{ N} / \text{ m}^3}{1.005 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{ seg} / \text{ m}^2} \times \frac{0.2 \text{ m}}{7.7 \text{ seg}}} = 503 \text{ seg}^{-1}$$

Donde:

H = Pérdida de carga (m)

t_o = Tiempo de mezcla (seg)

γ = Peso específico relativo del agua a 20°C

μ = Viscosidad del agua a 20°C

Se obtuvo un gradiente de mezcla rápida de **G = 503 s⁻¹**.

3.6.1.4 Diagnostico.

- Según la consideración del CEPIS, para eficiencias menores al 50 %, la eficiencia del proceso de mezcla rápida es muy regular (ver tabla 41), esto es debido a que el proceso se lleva a cabo en condiciones diferentes a las de diseño inicial. Actualmente se realiza la mezcla rápida por medio de unas pantallas de desviación de flujo y por un pequeño resalto generado por el vertedero de las antiguas unidades de mezcla rápida.

Tabla 41. Definición de eficiencias. CEPIS.

EFICIENCIA	VALOR DE I
Muy Buena	90 %
Buena	70 – 90 %
Regular	50 – 70 %

- La mezcla rápida en esta sección tiene un gradiente de **503 seg⁻¹** inferior a los establecidos por el CEPIS de 1000 a 2000 s⁻¹ para gradientes óptimos

de mezcla rápida, lo que confirma la baja eficiencia del proceso. Se debería aprovechar la turbulencia generada por la cámara de llegada para realizar una mejor mezcla del sulfato de Aluminio o poner en funcionamiento los motores de agitación que se encuentran fuera de servicio.

- Debido a la mala mezcla realizada en la unidad, se presentan altos desperdicios de sulfato de aluminio, los cuales generan depósitos en las paredes de las cámaras, en el fondo de los canales y un alto contenido de material sobrenadante.
- El punto de aplicación de la solución de sulfato de aluminio no es el indicado ya que este se debería ubicar en el punto de mayor turbulencia en los canales. Actualmente se encuentra ubicado después de la cámara de llegada en un punto donde la turbulencia es mínima.

3.6.2 Sección Ampliación.

La determinación de los parámetros de evaluación de la sección de ampliación se realiza con la misma metodología utilizada en la anterior sección (3.6.1).

3.6.2.1 Eficiencia del Proceso.

3.6.2.1.1 Características de la muestra de Agua Cruda.

Turbiedad = 35 U.N.T.

Color = 96 UPC.

Temperatura = 23 °C

pH = 7,54

3.6.2.1.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 100 r.p.m a 120 seg

Floculación: Velocidades de Agitación (53, 46, 42) a tiempos correspondientes (8 min 20 Seg, 16 min 40 Seg, 25 min).

Sedimentación = 20 minutos.

pH Óptimo de pretratamiento para Coagulación = 8,5

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio = 30 mg/L al 1.5% de Concentración.

Los resultados de los ensayos se encuentran en la tabla 42, para los cuales se determinan los índices de aglomeración:

Tabla 42. Ensayos de comparación para Eficiencia de Mezcla Rápida.

To = 35 U.N.T.

	Laboratorio	Planta
Prueba N°	Turbiedad Residual U.N.T	Turbiedad Residual U.N.T
1	1	4
2	0,9	3
3	1,6	3,7
Turbiedad promedio	1.16	3.57

- Determinación de los índices de aglomeración:

$$\text{Índice de Aglomeración para Laboratorio } A_L = \frac{1}{Tf_L} - \frac{1}{T_o}$$

$$\text{Índice de Aglomeración para Planta } A_P = \frac{1}{Tf_P} - \frac{1}{T_o}$$

$$A_L = \frac{1}{1.17} - \frac{1}{35} = 0.7826$$

$$AL = \mathbf{0.7826}$$

$$A_P = \frac{1}{3.57} - \frac{1}{35} = 0.2523$$

$$AP = \mathbf{0.2523}$$

$$I = \frac{0.2523}{0.7826} * 100 = 32.23\%$$

Se tiene la Tabla 43 que relaciona los valores de Turbiedad de Agua Cruda con los índices de eficiencia relativos a cada turbiedad para la sección de ampliación de la planta.

Tabla 43. Relación de Turbiedad de Agua Cruda – Índice de Eficiencia.

Turbiedad Agua Cruda U.N.T	4.6	15	35	45
Índice de Eficiencia %	43.57	37.05	32.23	28.6

3.6.2.2 Tiempo de Retención de la Unidad de Mezcla Rápida.

El tiempo de retención en la unidad de mezcla rápida se obtiene determinando la velocidad media del agua en la sección y la longitud de desarrollo de la mezcla rápida.

Caudal de trabajo = 0.2 m³ / seg.

Área transversal del canal cubierta de Agua = 0.378 m²

Longitud de desarrollo de la mezcla rápida = 1.5 m

Se determina la velocidad media del agua en la sección:

$$V = \frac{Q(m^3 / \text{seg})}{A(m^2)} = \frac{0.2}{0.378} = 0.531m / \text{seg}$$

Y se obtiene el tiempo teórico de retención en la estructura de mezcla rápida:

$$t_o = \frac{L(m)}{V(m / \text{seg})} = \frac{1.5m}{0.531m / \text{seg}} = 2.83\text{seg}$$

Entonces se tiene un tiempo de retención en la unidad de mezcla rápida de **to = 2.83 seg.**

3.6.2.3 Intensidad de Mezcla rápida.

Para determinar el gradiente de velocidad en la unidad de mezcla rápida, se determino la pérdida de carga generada en el resalto hidráulico, tomando las relaciones de alturas piezométricas antes y después del resalto generado a diferentes caudales de operación, encontrándose un rango de gradientes de trabajo real del resalto

Dimensiones de la sección:

Ancho del canal: 0.90 m.

Caudal medido por SCADA: 193.47 L/seg.

Caudal corregido por ecuación (4): 157.97 L/seg

Dimensiones Hidráulicas:

- **Altura de Agua Antes del resalto:** 0.35 m
- **Altura después del resalto:** 0.42 m.

Con estos valores se determina la perdida de energía en la turbulencia de agitación y se calcula el gradiente hidráulico:

Perdida de energía por turbulencia: **0.066 m.**

$$\text{Gradiente de mezcla: } G = \sqrt{\frac{\gamma * hf}{\mu * t_o}} = \sqrt{\frac{998.23 * 0.066}{1.029 \times 10^{-4} * 2.83}} = 476 \text{ seg}^{-1}$$

Donde:

$$\gamma = 998.23 \text{ Kgf / m}^3$$

$$\mu = 1.029 \times 10^{-4} \text{ Kgf - seg / m}^2$$

hf= perdida de carga en la turbulencia

t_o= Tiempo de retención en la mezcla.

Se obtiene como resultado un gradiente de mezcla rápida de **476 seg⁻¹**

La tabla 43 muestra los resultados de las mediciones de diferentes caudales en la sección de mezcla rápida y sus respectivos gradientes de mezcla.

Tabla 44. Relación de Caudales y Gradientes de Mezcla rápida.

Caudal corregido (m³/seg)	147	158	234	338
Gradiente (seg⁻¹)	442	476	586	738

3.6.2.4 Diagnostico.

- Según el CEPIS, para eficiencias menores al 50% se tiene un proceso de mezcla rápida de regular a mala. Se observa a simple vista que el proceso de mezclado en la planta no es el adecuado.

- A la salida la Canaleta Parshall hay una expansión de 17 cm. y una caída en el fondo del canal de 20 cm. aproximadamente, con lo que se pretende realizar una pérdida de energía lo suficientemente fuerte para formar un resalto hidráulico con un gradiente de agitación G alto y suficiente para realizar la mezcla rápida en este punto y de esta forma ubicar la aplicación de la solución de sulfato de aluminio, pero se observó :
 - Una turbulencia en la superficie del agua, que al realizar los cálculos de pérdida de energía para diferentes caudales mostró gradientes de agitación entre 400 y 800 seg^{-1} los cuales están fuera del rango de 1000 a 2000 seg^{-1} recomendado por el CEPIS para que la mezcla rápida se realice de forma adecuada.
 - A continuación se realiza el análisis hidráulico del resalto generado por la canaleta Parshall:

SALIDA DE LA PARSHALL.

Altura de agua a la salida de la Parshall : **0.14 m**

Ancho del canal : **0.605 m**

Caudal de operación real: **162.25 L/seg**

$$q = Q (\text{m}^3/\text{seg}) / \text{Ancho} (\text{m}) = 0.16225 / 0.605 = 0.268 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Con lo cual se tiene un Froude de:

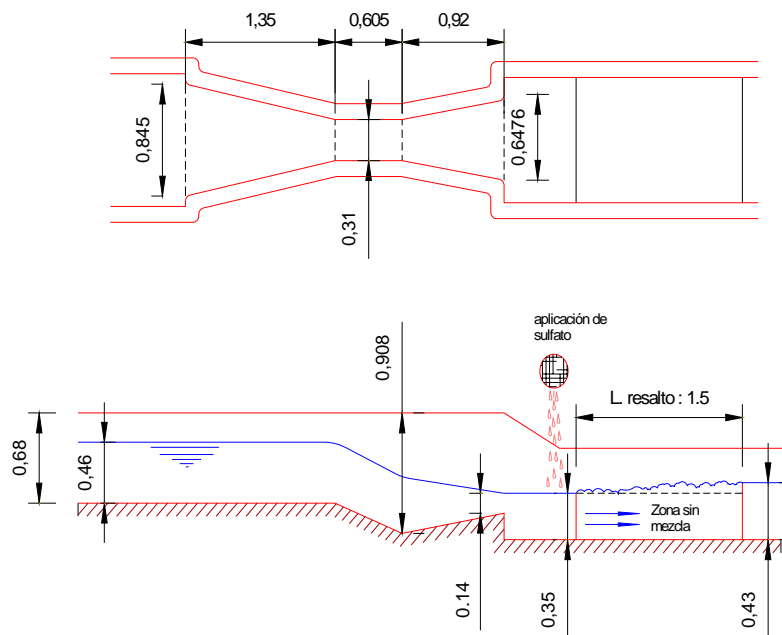
$$Fr^2 = q^2 / (g * y^3)$$

$$Fr^2 = (0.268)^2 / (9.81 * 0.14^3) = 2.668$$

$$Fr = 1.633$$

Lo anterior confirma que lo que se está desarrollando en el canal es un resalto de tipo ondulado o de salto ondular, caracterizado por ser superficial. (Ver gráfico N° 19).

Grafico 20. Diagrama de la canaleta Parshall.



- Debido a la poca agitación del agua no se realiza una buena mezcla rápida, presentándose desperdicio en la solución de sulfato de aluminio el cual se está depositando en el fondo y las paredes del canal cambiando la rugosidad del mismo y de esta modo las condiciones hidráulicas.

3.7 FLOCULACIÓN

3.7.1 Sección Antigua.

3.7.1.1 Tiempo de Formación inicial del floc.

OBJETIVO: Determinar el tiempo de formación inicial del floc dentro de la unidad de Floculación.

METODOLOGIA: Se toman muestras de agua en el punto medio de cada cámara en el floculador a una profundidad de 50 cm. y se observan a contraluz para determinar en que punto del floculador se empieza a formar los primeros floculos.

Para esta sección, con floculadores mecánicos el floc se forma inicialmente en la primera cámara de floculación, con un área superficial de: **24.6 m²**.

Con un volumen de agua aproximado de: **73.8 m³**

Con un caudal de operación máximo de: **400 L/seg.**

Se tiene un tiempo de retención igual a:

$$t_p = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / seg)} = \frac{73.8m^3}{0.4m^3 / seg} = 184.5seg = 3.07 \text{ min} = 3 \text{ min } 04 \text{ seg.}$$

Y teniendo en cuenta el tiempo de formación del floc en el laboratorio, podemos determinar el índice de eficiencia de la unidad de floculación:

Tiempo de formación en el laboratorio $t_L = 40$ segundos.

$$\text{Índice de Eficiencia (I)} = \frac{t_p}{t_L} = \frac{184.5}{40} = 4.61$$

Con un tiempo de formación inicial del floc de **184.5 segundos** se tiene un índice de eficiencia de **4.61**.

3.7.1.2 Tamaño del Floc producido.

OBJETIVO: Determinar el tipo y tamaño de floc producido en la unidad de floculación.

METODOLOGIA: Se toman muestras de agua floculada en un recipiente traslucido y se observa el tamaño del floc formado para compararlo con los parámetros establecidos por el índice de Willcomb.

El tamaño de floc obtenido en la sección tiene las siguientes características:

Tamaño de Floc: Floc tipo C según la clasificación de Willcomb, con diámetros entre 0.75 y 1 mm.

Distribución: Floc uniformemente distribuido.

3.7.1.3 Eficiencia comparativa del proceso.

OBJETIVO: Determinar la eficiencia del proceso de floculación en cada sección.

METODOLOGIA: Se realizan pruebas de jarras para diferentes turbiedades en ambas secciones de la planta aplicando los parámetros óptimos de coagulación, floculación y sedimentación, para tomar la turbiedad residual obteniendo el parámetro de relación T_L .

De la planta se toman tres muestras de agua luego del proceso de floculación, y se deja sedimentar el tiempo óptimo de sedimentación hallado determinando la turbiedad residual para obtener el parámetro T_P .

3.7.1.3.1 Características de la muestra de Agua Cruda.

Turbiedad = 53 U.N.T.

Color = 192 U.P.C.

Temperatura = 19.2 °C

pH = 7.42

3.7.1.2 Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 100 rpm. a 120 seg.

Floculación: Velocidades de agitación: 56, 49, 45, 42 a tiempos correspondientes de 6min 15seg, 12min 30seg, 18min 45seg, 25min.

Sedimentación = 20 minutos.

pH Óptimo de pre-tratamiento para Coagulación = 8,5

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio = 30 mg/L al 1.5% de Concentración.

Los resultados de los ensayos se consignan en la Tabla 44, de donde se obtienen los valores de turbiedades residuales promedio de laboratorio y de planta (T_L y T_P)

Tabla 45. Ensayos de comparación para Eficiencia de Floculación.

	Laboratorio	Planta
Prueba N°	Turbiedad Residual U.N.T.	Turbiedad Residual U.N.T.
1	1.6	10
2	1.4	10
3	1.6	10
Turbiedad promedio	1.5	10

$$\text{Indice de eficiencia} = \frac{T_L}{T_p} * 100$$

$$I_e = \frac{1.5}{10} * 100 = 15\%$$

El índice de eficiencia para esta turbiedad es de **15 %**.

En la tabla 45 se relacionan diferentes turbiedades de Agua Cruda con sus respectivos valores de Eficiencia.

Tabla 46. Relación de Turbiedad de agua Cruda – Índice de eficiencia.

Turbiedad Agua Cruda U.N.T	4.2	20	40	53
Turbiedad residual T_p U.N.T	2.45	4.38	7.14	10
Turbiedad residual T_L U.N.T	0.9	1.0	1.3	1.5
Índice de Eficiencia %	36.7	22.8	18.2	15

3.7.1.4 Intensidad de Floculación.

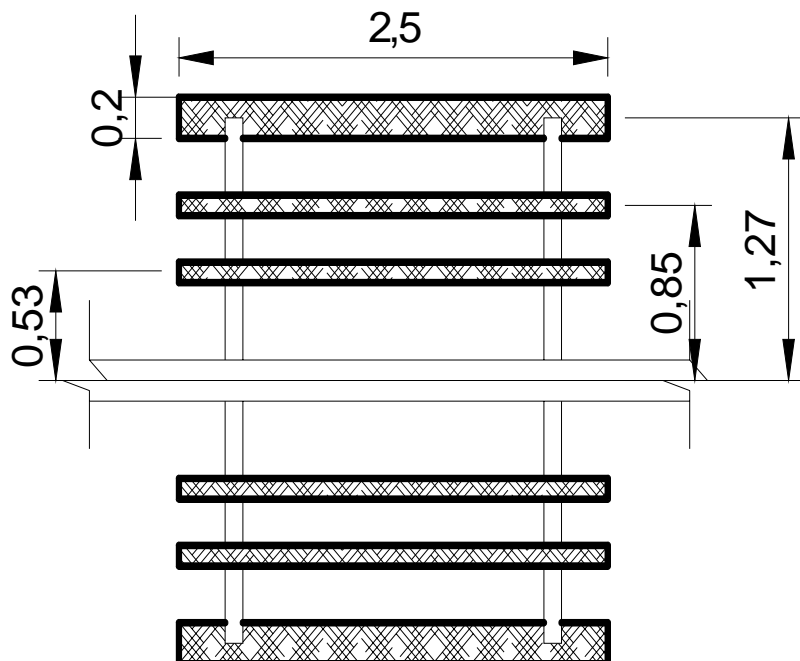
OBJETIVO: Determinar los gradientes de mezcla con que trabaja cada cámara de los floculadores mecánicos y cada compartimiento parcial del floculador hidráulico.

METODOLOGIA: Para cada tipo de floculador se determina el gradiente característico aplicando las metodologías de cálculo descritas por el CEPIS, tanto para los floculadores de tipo mecánico como para los de tipo hidráulico.

Floculador Tipo Mecánico.

Para este tipo de floculador se aplica la formula para un floculador mecánico con paletas paralelas al eje de giro (Ver Grafico N° 20):

Grafico 21. Diagrama de paletas del floculador Mecánico.



$$G = 90 * \sqrt{\frac{n^3 * \sum A * r^3}{\mu * V}} \text{ (Seg.-1).}$$

Donde:

n= Número de revoluciones por segundo.

V= Volumen de la cámara. (m³)

μ= viscosidad dinámica del Agua = 1.024 x 10⁻⁴ (Kg-f * m / seg. / m³)

A = Área de las paletas. (m²)

r = radio de giro de cada paleta. (m)

Se obtiene la Tabla 46 que relaciona los gradientes reales de operación de los floculadores con su respectiva cámara y sus dimensiones geométricas.

Tabla 47. Gradientes reales de operación del floculador mecánico.

Dimensiones Geométricas de las paletas	CAMARA N°	n (rps)	Σ (Área * r3) (m5)	Vol. (m3)	Gradiente (seg.-1)
L = 2,5 m b1 = 0,2 m b2 = 0,1m b3 = 0,1m r1 = 1,275 m r2 = 0,85 m r3 = 0,525 m	1	0,0376	4,904	71,37	16,952
	2	0,0374	4,904	77,78	16,148
	3	0,0363	4,904	67,71	16,557
	4	0,033	4,904	86,93	12,635

3.7.1.5 Características hidráulicas del floculador.

OBJETIVO: Determinar los tipos de flujo, espacios muertos, corto circuitos y tiempos reales de retención de las unidades de floculación por el método de trazadores.

METODOLOGIA: Luego de determinar el volumen y el caudal de operación de cada una de las unidades de floculación, se determina la cantidad de cloruro de sodio a aplicar como trazador en forma instantánea. Una vez aplicado el trazador se empiezan a medir las variaciones en la conductividad del agua por medio de un conductímetro previamente calibrado a intervalos de tiempo determinados, durante un periodo de tiempo relacionado con el tiempo de retención calculado de cada unidad hasta que la conductividad final se iguale a la conductividad inicial del agua sin aplicar el trazador.

3.7.1.5.1 Condiciones hidráulicas y tiempos de retención del floculador mecánico:

En la sección antigua se cuenta con floculador de tipo mecánico con paletas paralelas al eje de giro. A continuación se realizan los cálculos del tiempo de retención de la unidad y se determina la cantidad de sal y el lugar de aplicación de la solución de trazador.

3.7.1.5.1.1 Tiempo teórico de retención (t₀): El tiempo teórico de retención es el tiempo que tarda un volumen de agua en atravesar la unidad de floculación en su totalidad y se determina por la relación entre el volumen de la unidad y el caudal de operación de la unidad de la siguiente forma:

Volumen de la unidad: 304 m³ aproximados

Caudal de trabajo: 319 L / seg.= 0.319 m³ / seg.

$$t_0 = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / \text{seg})} = \frac{304m^3}{0.319m^3 / \text{seg}} = 953\text{seg} = 15.88\text{min.}$$

Tiempo de retención teórico to: 15 minutos 53 segundos.

Ensayo con trazadores.

El trazador empleado fue sal común de consumo humano, disolviendo 10 Kg de sal en 60 Litros de agua, para emplear esta solución en una dosis instantánea aplicada a la entrada de la primera cámara del floculador mecánico.

Se tomaron las muestras de la prueba inmediatamente después de aplicado el trazador a la salida de la unidad de floculación y antes del canal de conducción a los sedimentadores. Los datos se consignaron en la tabla 47.

La concentración inicial medida, $C_0 = 68 \mu\text{S} / \text{cm}$.

Los valores en la tabla se obtuvieron de la siguiente forma:

$$F(t) = \frac{\sum(C - C_0) * 100}{\sum m(C - C_0)}; \sum m(C - C_0) = 790 \mu\text{S} / \text{cm}.$$

$$1 - F(t) = 100 - F(t)$$

Basados en los resultados consignados en la tabla 47, se desarrollan los siguientes métodos de análisis:

3.7.1.5.1.2 Análisis por el método de Wolf – Resnick: Los datos de las columnas t/t_0 y $1-F(t)$ se grafican en escala semi-logarítmica para obtener la grafica N° 21, empleada para realizar el análisis de tipos de flujo y espacios muertos. En esta grafica se traza la línea tangente a la curva formada para determinar los siguientes valores:

$$\theta = 0.65 \quad t_1 / t_0 = 0.65 \quad t_2 / t_0 = 1.67$$

Ahora, se obtiene la pendiente de esta recta dada por:

$$\text{Tan} \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 0.98 \quad ; \text{Entonces, Tan } \alpha = 0.98$$

3.7.1.5.1.2.1 Determinación del flujo Pistón (p): El flujo Pistón se presenta cuando todas las partículas de fluido que entran a una unidad permanecen el mismo tiempo en ella, sin que se presente ningún tipo de mezcla entre el fluido que entra y el que permanece en la unidad.

Con los valores anteriores se calcula el Porcentaje de flujo Pistón en la unidad (p):

$$p = \frac{\theta * \tan \alpha}{0.435 + \theta * \tan \alpha} = \frac{0.67 * 0.98}{0.435 + 0.67 * 0.98} = 0.595$$

Esta unidad tiene un flujo Pistón del **59.5 %**.

3.7.1.5.1.2.2 Determinación de espacios muertos (m): Los espacios muertos representan la variación del tiempo de retención, haciendo el tiempo real de retención mayor al teórico.

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 1 - \frac{0.67}{0.58} = - 0.093$$

Dado que este valor es negativo, se hace la aproximación de los espacios muertos a **m = 0.0 %**.

3.7.1.5.1.2.3 Determinación del flujo mezclado (M): El flujo mezclado implica una mezcla parcial o total del fluido entrante a la unidad con el fluido que esta en la unidad.

$$M = 1 - P = 1 - 0.595 = 0.405$$

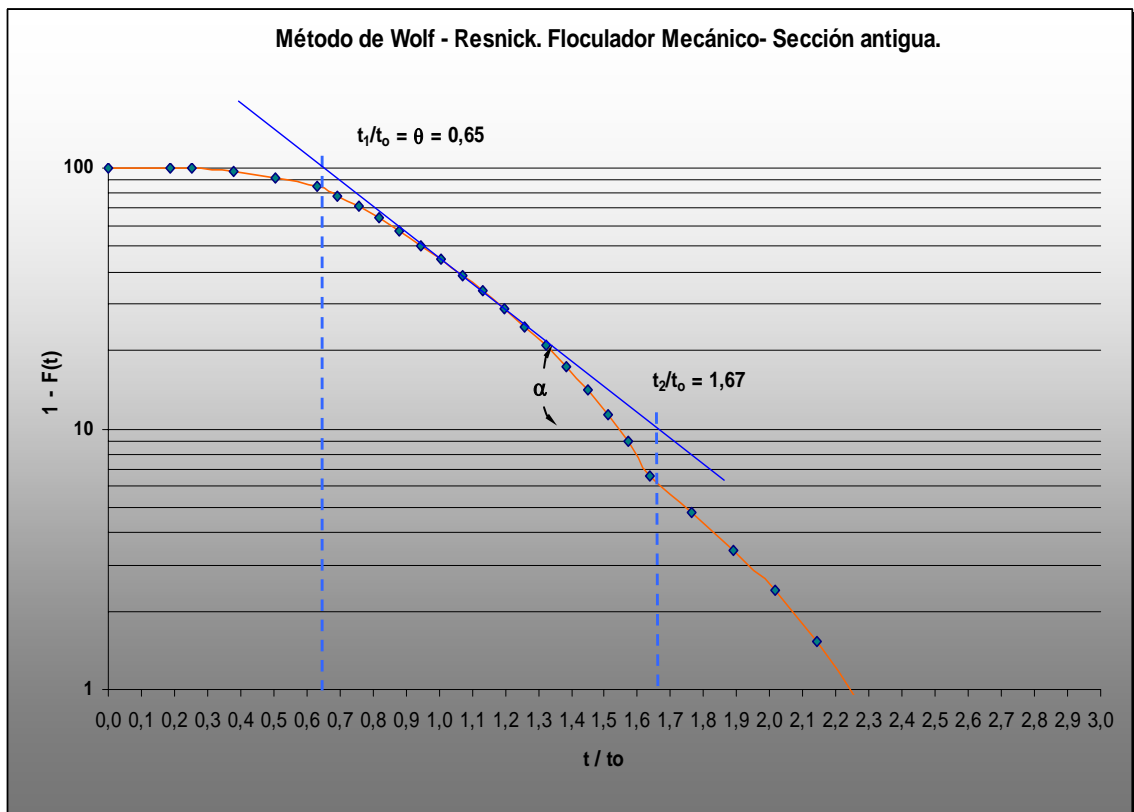
Se tiene un flujo mezclado del **40.5 %**.

Tabla 48. Resultado del ensayo con trazadores para el Floculador Mecánico.

Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida ($\mu\text{S/cm.}$)	C - Co ($\mu\text{S/cm.}$)	Σ C - Co	F(t)	1- F(t)
1	0	0,00	68	0	0	0,00	100,0
2	3	0,19	68	0	0	0,00	100,0
3	4	0,25	71	3	3	0,38	99,62
4	6	0,38	89	21	24	3,03	96,96
5	8	0,50	112	44	68	8,60	91,39
6	10	0,63	118	50	118	14,93	85,06
7	11	0,69	121	53	171	21,64	78,35
8	12	0,76	124	56	227	28,73	71,26
9	13	0,82	125	57	284	35,94	64,05
10	14	0,88	122	54	338	42,78	57,21
11	15	0,94	120	52	390	49,36	50,63
12	16	1,01	117	49	439	55,57	44,43
13	17	1,07	112	44	483	61,13	38,86
14	18	1,13	109	41	524	66,32	33,67
15	19	1,19	106	38	562	71,13	28,86
16	20	1,26	101	33	595	75,31	24,68
17	21	1,32	98	30	625	79,11	20,88
18	22	1,39	96	28	653	82,65	17,34
19	23	1,45	93	25	678	85,82	14,17
20	24	1,51	90	22	700	88,60	11,39
21	25	1,57	87	19	719	91,01	8,98
22	26	1,64	87	19	738	93,41	6,58
23	28	1,76	82	14	752	95,19	4,810
24	30	1,89	79	11	763	96,58	3,418
25	32	2,02	76	8	771	97,59	2,405
26	34	2,14	75	7	778	98,48	1,519

27	36	2,27	73	5	783	99,11	0,88
28	38	2,39	71	3	786	99,49	0,50
29	40	2,52	70	2	788	99,74	0,25
30	42	2,64	70	2	790	100,00	0,00
31	44	2,77	68	0	790	100,00	0,00

Grafico 22. Método de Wolf-Resnick. Floculador Mecánico. Sección Antigua.



3.7.1.5.1.3 Análisis siguiendo procedimientos convencionales: Se elabora el gráfico 22 con las columnas de **tiempo (min)** y **C – Co (μS/cm.)**, del cual se determinan los siguientes valores:

Tiempo de aparición del trazador (t_1) = 3 minutos.

Tiempo modal (máxima conductividad) (t_p) = 13 minutos.

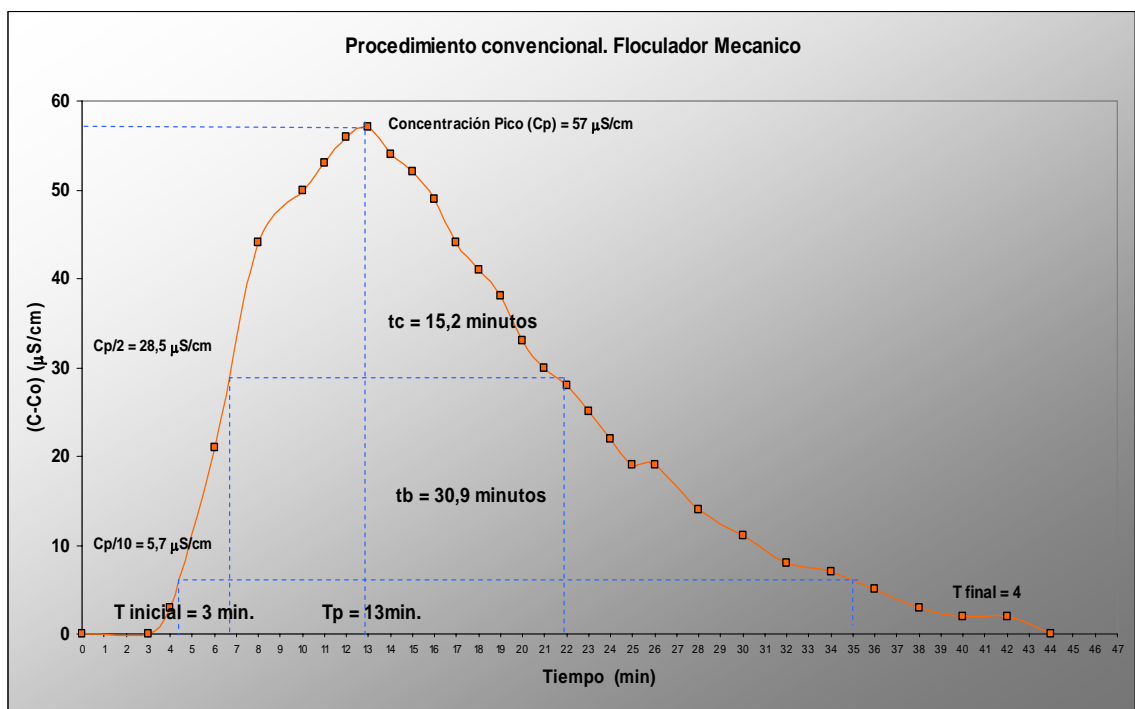
Tiempo para que atraviese la totalidad el trazador (t_f) = 44 minutos.

Valores auxiliares:

Conductividad Pico = $C_p = 57 \mu\text{S/cm}$.

Tiempo de concentración (t_c) = 15.2 minutos

Grafico 23. Procedimiento convencional. Floculador Mecánico. Sección Antigua.



Tiempo base (t_b) = 30.9 minutos.

Tiempo mediano (t_m): corresponde al paso del 50 % del trazador, obtenido por la interpolación de los datos de **tiempo (min)** y $\Sigma(C - C_0)$.

De la tabla 47 se tiene los valores de tiempo $t = 15$ y 16 minutos para obtener un tiempo mediano **$t_m = 15$ minutos 6 segundos**.

3.7.1.5.1.4 Índice de Morrill: El índice de Morrill representa el índice de dispersión del trazador, calculando la relación entre el tiempo en que pasa el 90% y el 10% del trazador (T_{10} y T_{90}), asumiendo una aproximación lineal en el segmento.

Se elabora el gráfico N° 23 que relaciona las columnas de **tiempo (min)** y **$F(t)$** en escala probabilidad – logarítmica

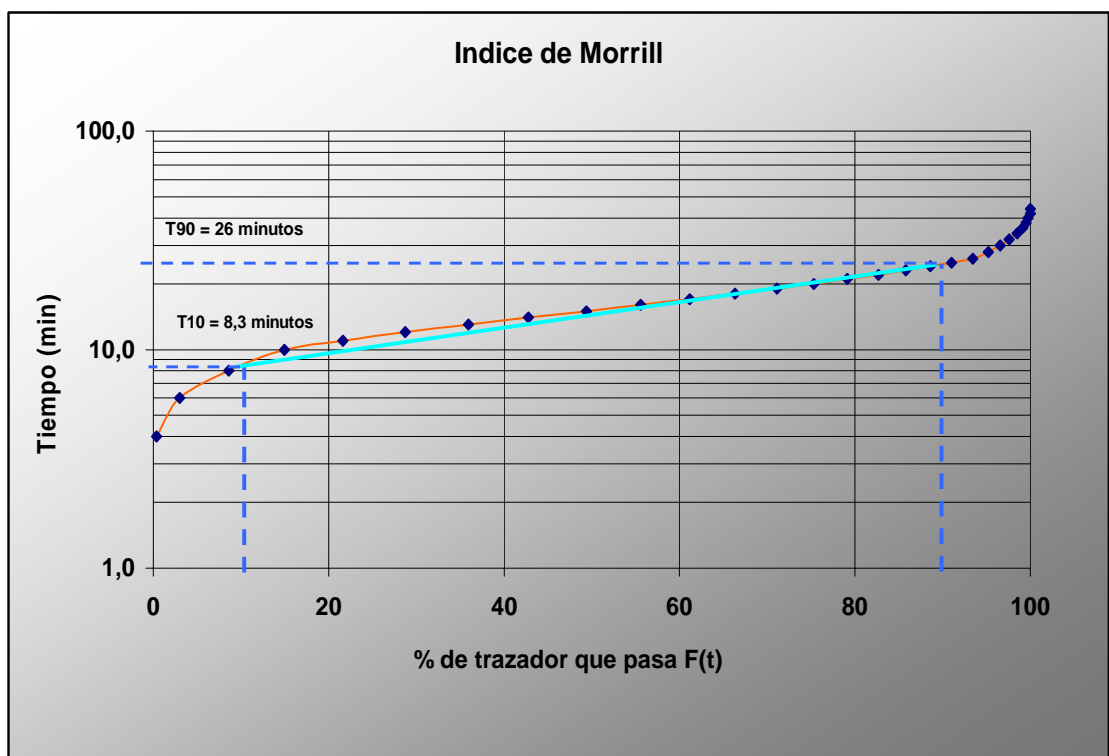
Tiempo en que pasa el 90% (T_{90}) = 26 minutos.

Tiempo en que pasa el 10% (T_{10}) = 8.3 minutos.

$$\text{Índice de Morrill (Im)} = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{26}{8.3} = 3.13$$

Índice de Morrill (Im) = 3.13

Gráfico 24. Índice de Morrill. Floculador Mecánico. Sección Antigua.



3.7.1.6 Diagnostico.

- El tiempo de formación inicial del floc es de **3.07 minutos**, que en relación con el tiempo de formación en las pruebas de optimización, dio un valor de eficiencia de **4.61**, este valor comparado con el valor de eficiencia para un tiempo correcto de formación de **1 (uno)** muestra que el proceso es ineficiente y que parte del floc se está formando en las unidades de sedimentación.
- Según el índice de Willcomb el floc tiene un tamaño tipo C, con diámetros entre 0.75 y 1.0 mm.
- De los resultados obtenidos y según la clasificación del CEPIS, se tiene que para eficiencias menores a 50% la unidad presenta un comportamiento muy regular, esto es debido a que los gradientes y tiempos de retención en la unidad no son los adecuados para las turbiedades que llegan a la planta, sumado a la ineficiencia de la mezcla rápida.
- Comparando los valores obtenidos de los gradientes de velocidad reales de cada cámara de floculación con los valores tanto de diseño original como de optimización, se observa que son mucho menores ya que el número de revoluciones con los que actualmente trabajan los motores de impulsión de las paletas no son los adecuados. En algunas cámaras se mantienen gradientes casi invariables de una respecto a la otra y no variando gradualmente de forma escalonada, de mayor gradiente en la primera cámara a menor en la cuarta cámara. Los valores de gradiente se encuentran dentro del rango admisible según el CEPIS de 100 seg^{-1} a 10 seg^{-1} .
- En este floculador se presenta un tipo de flujo mixto, con presencia de flujo pistón en un 60 % y un flujo mezclado del 40 %. No hay presencia de espacios muertos ya que no se presenta recirculación de agua en la unidad ($m=0$).
- Los resultados del método Convencional se consignan en la Tabla 48.

Tabla 49. Resumen de los parámetros de evaluación del floculador Mecánico – Método Convencional.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$\frac{t_i}{t_o} = \frac{3 \text{ min}}{15.88 \text{ min}} = 0.188 < 0.3$	- <i>Presencia de cortocircuitos: Paso directo de trazador entre la entrada y la salida de la unidad.</i>
$\frac{t_m}{t_o} = \frac{15.10 \text{ min}}{15.88 \text{ min}} = 0.95$	- <i>Presencia de cortocircuitos: parte del volumen de agua atraviesa la unidad instantáneamente sin permanecer almacenada en el mismo.</i>
$\frac{t_p}{t_o} = \frac{13 \text{ min}}{15.88 \text{ min}} = 0.819$	- <i>Presencia de Flujo Pistón: predominio de flujo pistón sobre flujo mezclado.</i>
$\frac{t_c}{t_o} = \frac{15.2 \text{ min}}{15.88 \text{ min}} = 0.957$ $\frac{t_b}{t_o} = \frac{30.9 \text{ min}}{15.88 \text{ min}} = 1.945$	- <i>Presencia de flujo Pistón y flujo mezclado.</i>
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_o} = \frac{(44 - 13) - (13 - 3)}{15.88} = 1.32$ <p>e = 1.32</p>	- <i>Presencia de flujo pistón y flujo mezclado</i>
$I_m = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{26}{8.3} = 3.13$	- <i>Presencia de flujo Pistón y flujo mezclado</i>

- Se presentan corto-circuitos que afectan el tiempo de retención real de esta unidad, provocando que una parte del volumen de agua a tratar no este cumpliendo con el tiempo de retención requerido para que el proceso sea el optimo debido a la configuración de las pantallas de separación entre cada cámara de floculación, las que permiten el paso directo del agua a lo largo de toda la unidad sin hacer una circulación completa por cada compartimiento.
- De la relación entre el tiempo de retención real (t_p) de 13 minutos y el tiempo de retención teórico (t_o) de 16 minutos se tiene que el volumen útil del floculador es del 82 % aproximado.
- El tiempo de retención en la unidad obtenido por la prueba de trazadores es cercano al tiempo de retención de diseño ($t = 13\text{min}$), pero presenta una diferencia apreciable con el tiempo de retención obtenido en las pruebas de optimización ($t_{\text{optimización}} = 25 \text{ min}$).
- Debido a que una de las unidades de floculación mecánica no se encontraba en funcionamiento en el momento del ensayo se repitió la prueba de trazadores luego de la reparación de la misma, de lo que pudimos observar una importante variación en el comportamiento hidráulico de la unidad de floculación completa, ya que en la ultima prueba se presento una mejor mezcla o agitación del fluido coagulado representado en la gráfica N° 22 en la rama descendente de la curva de concentración contra tiempo en el ensayo de trazadores.

3.7.2 Sección Ampliación.

3.7.2.1 Tiempo de formación inicial del floc.

Luego de observar las muestras se tiene que los primeros floculos empiezan a formarse en la tercera cámara del floculador (sección de ampliación), sección de la unidad de floculación que tiene un área parcial de: **13.23 m²**

Con un volumen de agua de: **15.52 m³**.

Para un caudal de operación de: **200 L / seg.**

Se tiene un tiempo de retención igual a:

$$tp = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / seg)} = \frac{15.52m^3}{0.2m^3 / seg} = 77.6seg = 1min.18segundos$$

Y teniendo en cuenta el tiempo de formación del floc en el laboratorio, podemos determinar el índice de eficiencia de la unidad de floculación:

$t_L = 40$ segundos.

$$I = \frac{tp}{tL} = \frac{77.6}{40} = 1.94$$

Se obtiene que el tiempo de formación inicial del floc es de **77.6 segundos**, para obtener un índice de eficiencia de **1.94**.

3.7.2.2 Tamaño del Floc producido:

Tamaño de Floc: Floc tipo B según la clasificación de Willcomb, con diámetros entre 0.5 y 0.75 mm.

Distribución: Floc uniformemente distribuido.

3.7.2.3 Eficiencia comparativa del proceso.

3.7.2.3.1 Características de la muestra de Agua Cruda.

Turbiedad = 53 U.N.T.

Color = 192 UPC.

Temperatura = 19.2 °C

pH = 7.42

3.7.2.3.2. Condiciones de los ensayos.

Mezcla rápida: 100 rpm a 120 seg.

Floculación: Velocidades de agitación: 53, 46, 42 a tiempos correspondientes de 8 min 20 seg., 16 min 40 seg. y 25 min.

Sedimentación = 20 minutos.

pH Óptimo de pre-tratamiento para Coagulación = 8,5

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio = 30 mg/L al 1.5% de Concentración.

Los resultados de los ensayos se consignan en la Tabla 49, de donde se obtienen los valores de turbiedades residuales promedio de laboratorio y de planta (T_L y T_P)

Tabla 50. Ensayos de comparación para Eficiencia de Floculación.

	Laboratorio	Planta
Prueba N°	Turbiedad Residual U.N.T	Turbiedad Residual U.N.T
1	1.6	10
2	1.4	8.5
Turbiedad promedio	1.5	9.25

$$\text{Índice de eficiencia} = \frac{T_L}{T_p} * 100$$

$$I_e = \frac{1.5}{9.26} * 100 = 16.21\%$$

El índice de eficiencia para esta turbiedad es de **16.21 %**.

Tabla 51. Relación de Turbiedad de agua Cruda – Índice de eficiencia.

Turbiedad Agua Cruda U.N.T	4.2	20	40	53
Turbiedad residual T_p U.N.T	2.2	2.7	5.1	9.26
Turbiedad residual T_L U.N.T	0.9	1.0	1.3	1.5
Índice de Eficiencia %	41.0	37.0	25.5	16.21

3.7.2.4 Intensidad de Floculación.

Floculador de tipo hidráulico.

Para el floculador hidráulico se determinan los gradientes correspondientes a cada compartimiento de acuerdo a las pérdidas de carga generados en cada uno.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h_f}{\mu * t_o}}$$

Donde:

h_f = Pérdida de Carga en el compartimiento. (m)

t_o = Tiempo de retención en el compartimiento (seg.)

$\mu = 1.029 \times 10^{-4}$ (Kg-f*seg. / m²)

$\gamma = 998.23$ (Kg-f / m³)

Los gradientes obtenidos para cada compartimiento se consignan en la tabla 51 con sus respectivas características:

Caudal de operación por SCADA = 209.9 L/seg.

Caudal de operación calibrado = 172 L/seg.

Tabla 52. Gradientes reales de operación del floculador hidráulico.

CAMARA Nº	Vol. (m ³)	Tiempo de retención (seg.)	Perdida de carga (m)	Gradiente (s-1)
1	44.23	257.13	0.041	34.74
2	111.67	649.28	0.045	25.93
3	137.24	797.9	0.0317	19.63

3.7.2.5 Características hidráulicas del Floculador Hidráulico.

3.7.2.5.1 Condiciones hidráulicas y tiempos de retención del floculador hidráulico.

En la sección de ampliación se cuenta con floculador de tipo hidráulico con flujo horizontal. A continuación se realizan los cálculos del tiempo de retención de la unidad y se determina la cantidad de sal y el lugar de aplicación de la solución de trazador.

3.7.2.5.1.1 Tiempo teórico de retención (t_0): El tiempo teórico de retención se determina por la relación entre el volumen de la unidad y el caudal de operación de la unidad de la siguiente forma:

Volumen de la unidad: 294 m³ aproximados

Caudal de trabajo: 165.2 L / seg.= 0.1652 m³ /seg.

$$t_0 = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / seg)} = \frac{294m^3}{0.1652m^3 / seg} = 1779.66seg = 29.66 \text{ min.}$$

Tiempo de retención teórico: 29.66 minutos.

Ensayo con trazadores.

El trazador empleado fue sal común de consumo humano, disolviendo 15 Kg de sal en 60 Litros de agua, para emplear esta solución en una dosis instantánea aplicada a la entrada de la primera cámara del floculador hidráulico.

Se tomaron las muestras de la prueba inmediatamente después de aplicado el trazador a la salida de la unidad de floculación y antes del canal de conducción a los sedimentadores. Los datos se consignaron en la tabla 52.

La concentración inicial medida, $C_0 = 64 \mu\text{s} / \text{cm}$.

Los valores en la tabla se obtuvieron de la siguiente forma:

$$F(t) = \frac{\sum(C - C_0) * 100}{\sum m(C - C_0)}; \sum m(C - C_0) = 1882 \mu\text{s} / \text{cm}.$$

$$1 - F(t) = 100 - F(t)$$

3.7.2.5.1.2 Análisis por el método de Wolf – Resnick.

Los datos de las columnas t/t_0 y $1-F(t)$ se grafican en escala semi-logarítmica para obtener la grafica N° 24, empleada para realizar el análisis de tipos de flujo y espacios muertos.

$$\theta = 0.79$$

$$t_1 / t_0 = 0.79$$

$$t_2 / t_0 = 0.985$$

Ahora, se obtiene la pendiente de esta recta dada por:

$$\text{Tan} \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 5.12, \text{ Entonces, Tan } \alpha = 5.12$$

3.7.2.5.1.2.1 Determinación del flujo Pistón (p):

$$p = \frac{\theta * \text{tan} \alpha}{0.435 + \theta * \text{tan} \alpha} = \frac{0.79 * 5.12}{0.435 + 0.79 * 5.12} = 0.903$$

Esta unidad tiene un flujo Pistón del **90.3 %**.

3.7.2.5.1.2.2 Determinación de espacios muertos (m):

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 1 - \frac{0.79}{0.903} = 0.125$$

m = 12.5 %.

3.7.2.5.1.2.3 Determinación del flujo mezclado (M):

$$M = 1 - P = 1 - 0.903 = 0.097$$

Se tiene un flujo mezclado del **9.7 %**.

Tabla 53. Resultado del ensayo con trazadores para Floculador Hidráulico.

Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida (μS/cm.)	C - Co (μS/cm.)	Σ C - Co	F(t)	1- F(t)
1	1	0,03	64	0	0	0,00	100,00
2	2	0,07	64	0	0	0,00	100,00
3	3	0,10	64	0	0	0,00	100,00
4	4	0,14	64	0	0	0,00	100,00
5	5	0,17	64	0	0	0,00	100,00
6	6	0,20	65	1	1	0,05	99,94
7	7	0,24	65	1	2	0,12	99,84
8	8	0,27	66	2	4	0,21	99,78
9	9	0,30	65	1	5	0,267	99,73
10	10	0,34	67	3	8	0,423	99,57
11	11	0,37	67	3	11	0,584	99,41
12	12	0,40	67	3	14	0,74	99,25
13	13	0,44	65	1	15	0,79	99,20
14	14	0,47	67	3	18	0,95	99,04
15	15	0,51	66	2	20	1,06	98,93
16	16	0,54	66	2	22	1,167	98,83
17	17	0,57	65	1	23	1,22	98,77
18	18	0,61	68	4	27	1,44	98,56
19	19	0,64	69	5	32	1,70	98,30
20	20	0,67	79	15	47	2,49	97,50

21	21	0,71	124	60	107	5,69	94,31
22	22	0,74	179	115	222	11,79	88,20
23	23	0,78	290	226	448	23,80	76,19
24	24	0,81	361	297	745	39,58	60,41
25	25	0,84	383	319	1064	56,53	43,46
26	26	0,87	341	277	1341	71,25	28,74
27	27	0,91	267	203	1544	82,04	17,96
28	28	0,94	219	155	1699	90,276	9,72
29	29	0,97	159	95	1794	95,32	4,67
30	30	1,01	112	48	1842	97,88	2,12
31	31	1,04	85	21	1863	98,99	1,01
32	32	1,08	76	12	1875	99,63	0,37
33	33	1,11	69	5	1880	99,894	0,10
34	34	1,14	66	2	1882	100,00	0,00

3.7.2.5.1.3 Análisis siguiendo procedimientos convencionales.

Se elabora el grafico N° 24 con las columnas de **tiempo (min)** y **C – Co (μs/cm)**, del cual se determinan los siguientes valores:

Tiempo de aparición del trazador (t1) = 10 minutos.

Tiempo modal (máxima conductividad) = 25 minutos.

Tiempo para que atraviese la totalidad el trazador = 35 minutos.

Valores auxiliares:

Conductividad Pico = Cp = 319 μs/cm.

Tiempo de concentración (tc) = 5.4 minutos

Tiempo base (tb) = 9.7 minutos.

Tiempo mediano (tm): De la tabla 52 se tiene los valores de tiempo t = 24 y 25 minutos para obtener un tiempo mediano **tm = 24.61 minutos.**

3.7.2.5.1.4 Índice de Morrill:

Se elabora el gráfico N° 26 que relaciona las columnas de **tiempo (min)** y **F (t)** en escala probabilidad – logarítmica

Tiempo en que pasa el 90% (t90) = 26 minutos.

Tiempo en que pasa el 10% (t10) = 8.3 minutos.

$$\text{Índice de Morrill (Im)} = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{28}{23} = 1.22 \quad \text{Índice de Morrill (Im)} = 1.22$$

Gráfico 25. Método de Wolf – Resnick. Floculador hidráulico. Sección Ampliación.

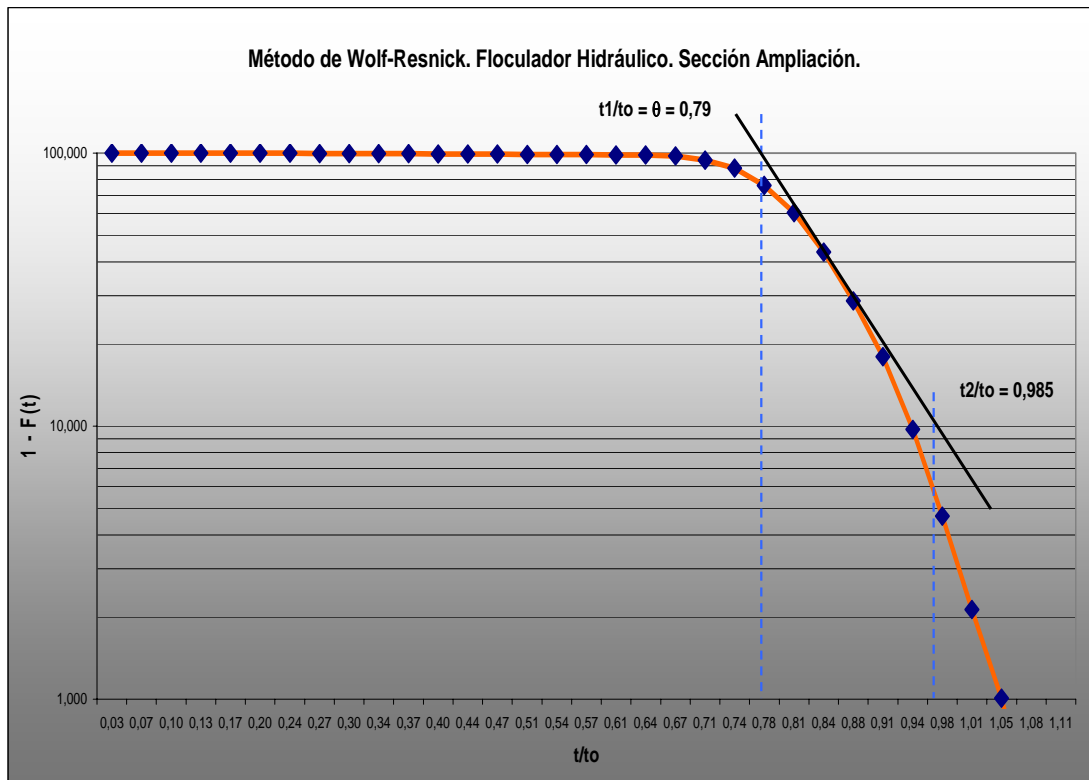


Grafico 26. Variación de la conductividad del trazador. Floculador hidráulico. Sección Ampliación.

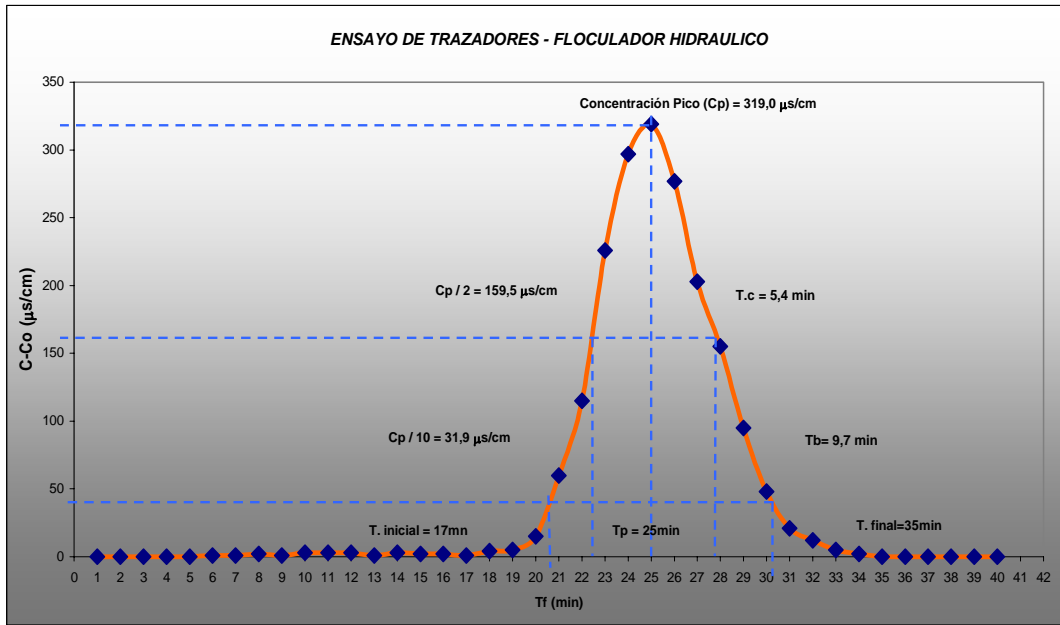
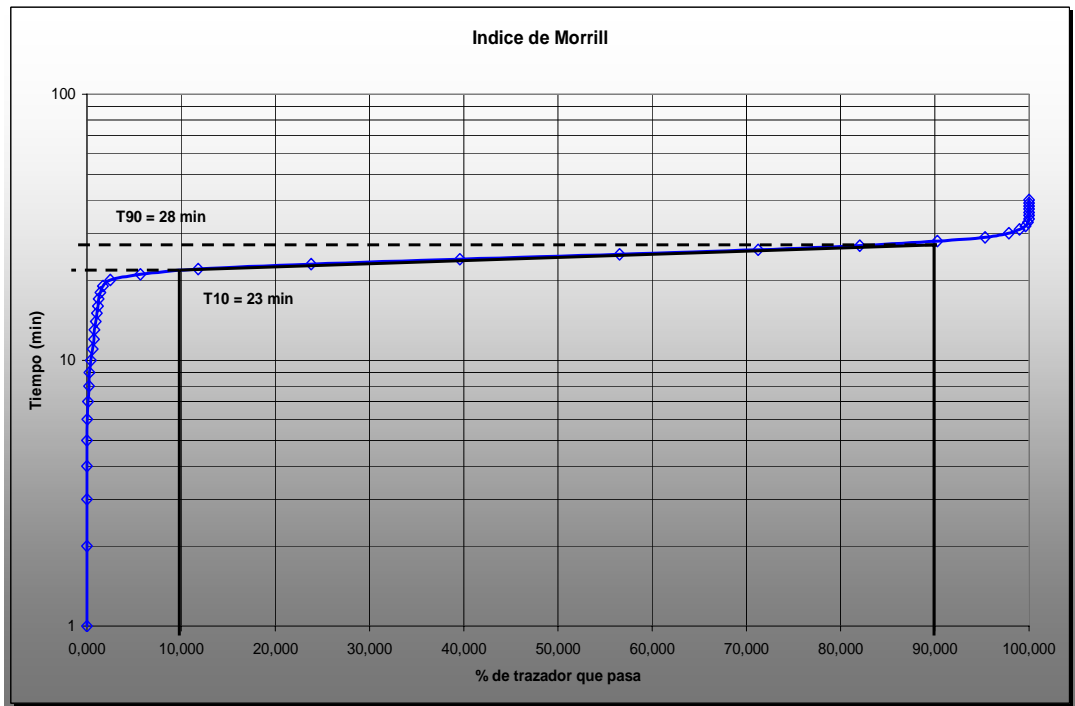


Grafico 27. Índice de Morrill. Floculador hidráulico. Sección ampliación.



3.7.2.6 Diagnostico.

- El tiempo de formación inicial del floc es de **1.29 minutos**, que relacionado con el tiempo de optimización da un valor de eficiencia de **1.94**, lo que muestra que el tiempo de formación del floc en esta unidad es cercano al tiempo correcto de formación.
- Según el índice de Willcomb el floc tiene un tamaño tipo B, con diámetros entre 0.5 y 0.75 mm, lo que demuestra que el proceso de mezcla rápida no esta siendo eficiente, generando un floc muy disperso, poco visible y de lenta sedimentación.
- Se encontró que los gradientes reales obtenidos en las pruebas de campo, aunque varían de forma descendente de un compartimiento a otro, difieren de los valores obtenidos en la optimización lo que se refleja en los valores de eficiencia obtenidos. Con relación a los valores de gradientes de diseño, no se posee información acerca de las memorias de diseño de las unidades en esta sección.
- De los resultados obtenidos y según la clasificación del CEPIS, se tiene que para eficiencias menores a 50% la unidad presenta un comportamiento de regular a malo, esto es debido a que los gradientes y tiempos de retención en la unidad no son los adecuados y las condiciones de mezcla rápida reales no son las indicadas.
- Desde el punto de vista hidráulico en este floculador se presenta un tipo de flujo pistón, con un 90.3 % de flujo Pistón y un flujo mezclado del 9.7 %. Hay presencia de espacios muertos y recirculación de una pequeña masa de agua en la unidad ($m = 12.5 \%$).
- De la relación entre el tiempo de retención real (t_p) de 25 minutos y el tiempo de retención teórico (t_o) de 29.66 minutos se tiene que el volumen útil del floculador es del 84.2 % aproximado.
- El resumen de los resultados de la evaluación por el Método Convencional se consigna en la tabla 53.

Tabla 54. Resumen de los resultados de la evaluación por el Método Convencional- Floculador hidráulico.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$\frac{t_i}{t_o} = \frac{10 \text{ min}}{29.66 \text{ min}} = 0.337 > 0.3$	- <i>Baja presencia de cortocircuitos.</i>
$\frac{t_m}{t_o} = \frac{24.61 \text{ min}}{29.66 \text{ min}} = 0.83$	- <i>Presencia de cortocircuitos.</i>
$\frac{t_p}{t_o} = \frac{25 \text{ min}}{29.66 \text{ min}} = 0.842$	- <i>Presencia de Flujo Pistón: predominio de flujo pistón sobre flujo mezclado.</i>
$\frac{t_c}{t_o} = \frac{5.4 \text{ min}}{29.66 \text{ min}} = 0.182$ $\frac{t_b}{t_o} = \frac{9.7 \text{ min}}{29.66 \text{ min}} = 0.327$	- <i>Presencia de flujo Pistón.</i>
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_o} = \frac{(35 - 25) - (25 - 10)}{29.66} = -0.16$ $e = 0.0$	- <i>Flujo pistón</i>
$l_m = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{28}{23} = 1.22$	- <i>Presencia de flujo Pistón.</i>

- Los resultados anteriores confirman que el tipo de flujo de la unidad es de flujo Pistón con alta presencia de cortocircuitos que desfazan el tiempo real de retención respecto del tiempo teórico de retención, lo cual hace que una parte de la masa de agua tenga un tratamiento más corto que el tratamiento de floculación debido dentro de la unidad.
- Se deben realizar mantenimientos preventivos más frecuentes en esta unidad, ya que hay una excesiva presencia de material orgánico en los

muros de las cámaras de floculación y también una gran cantidad de material sedimentado a lo largo de varios canales; todo esto influye en las condiciones hidráulicas del floculador variando los factores de fricción en los muros y las dimensiones en las secciones de los canales.

3.8 SEDIMENTACION.

3.8.1 Sección Antigua.

3.8.1.1 Determinación de la Eficiencia.

3.8.1.1.1 En Función de la Calidad del Agua Sedimentada.

OBJETIVO: Basados en datos de operación de la planta, determinar la calidad de agua producida en las unidades de sedimentación.

METODOLOGIA: Se agrupan los datos de turbiedad de agua sedimentada en rangos predeterminados, determinando su frecuencia de ocurrencia en el periodo establecido.

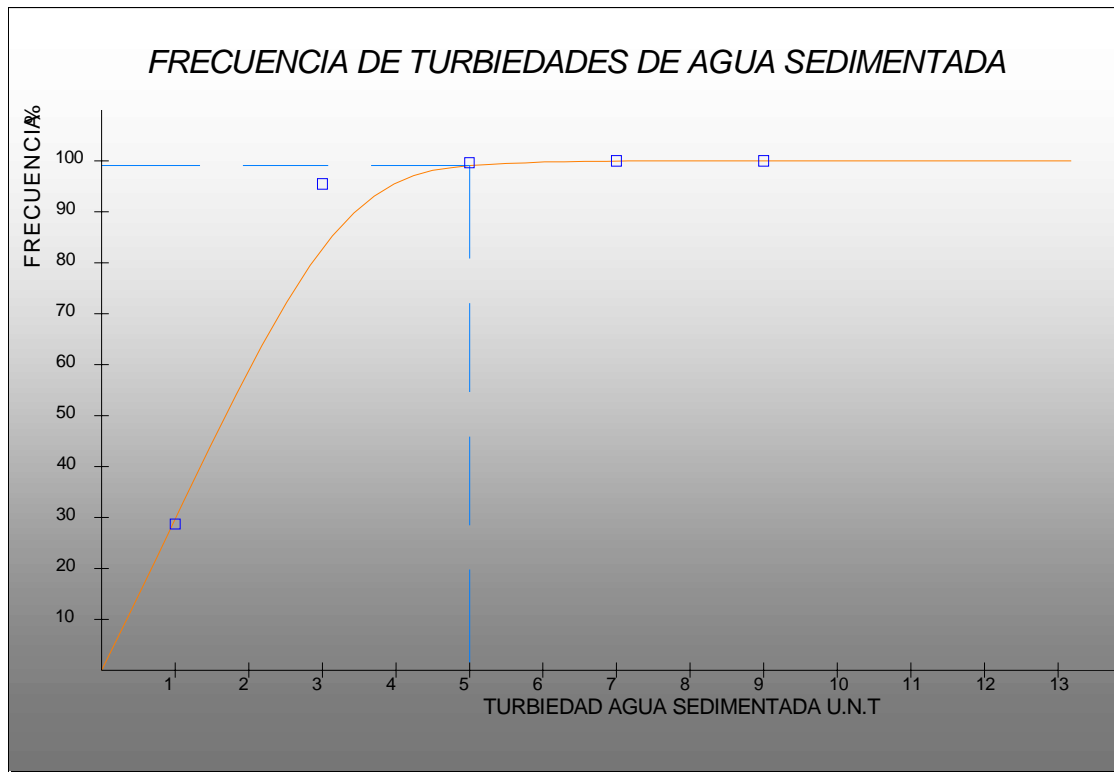
En la tabla 55 se presentan los datos de calidad de agua sedimentada relativos a la turbiedad en el periodo Febrero 2004 – Diciembre 2004.

Tabla 55. Frecuencias de Agua Sedimentada- Sección Antigua.

		Frecuencia		
Rango	Valor Medio	Parcial	Acumulada	%
0-1,99	1	82	82	28,67
2 - 3,99	3	191	273	95,45
4 - 5,99	5	12	285	99,65
6 - 7,99	7	1	286	100
8 -9,99	9	0	286	100

Con los anteriores datos se obtiene la grafica 28 que presenta la frecuencia de turbiedades luego del proceso de sedimentación

Grafico 28. Turbiedad de agua sedimentada. Sección antigua



3.8.1.1.2 En Función de la calidad del Agua Cruda.

OBJETIVO: Basados en datos de operación de la planta, determinar la eficiencia de una unidad de sedimentación en función del agua Cruda.

METODOLOGIA: Se agrupan los datos de calidad de agua cruda (Turbiedad) en rangos predeterminados, analizando los datos correspondientes a calidad del agua sedimentada (Turbiedad).

De la revisión de los datos de operación de la planta en el periodo de Febrero 2004 a Diciembre 2004 se obtuvo la tabla 55, donde se agruparon los valores de calidad, tanto de agua Cruda como de agua sedimentada para la sección antigua.

Tabla 56. Turbiedades Agua Cruda y Agua Sedimentada. Sección Antigua.

Turbiedad del Agua Cruda (U.N.T)		Valores promedios de Turbiedad de Agua Sedimentada (U.N.T)	Log (T _{AC})
Rango	Valor medio		
0 - 20	10	2,328	1
20 - 40	30	2,6575	1,477121255
40 - 60	50	2,98	1,698970004
60 - 80	70	3,042	1,84509804
80 - 100	80	-	-
> 100	100	3,07	2

Analizando los datos agrupados en la anterior tabla y del gráfico obtenido, se obtiene la ecuación de eficiencia de los sedimentadores en relación a la Turbiedad, dada por:

$$T_{AS} = \frac{\text{Log}(T_{AC}) - a}{b}$$

Donde:

TAS: Turbiedad del Agua Sedimentada.

TAC: Turbiedad del Agua Cruda.

De la grafica se obtiene para la sección Antigua:

Por el método de los mínimos cuadrados se obtiene la ecuación de la recta:

$$y = 1.1966 * x - 1.7647$$

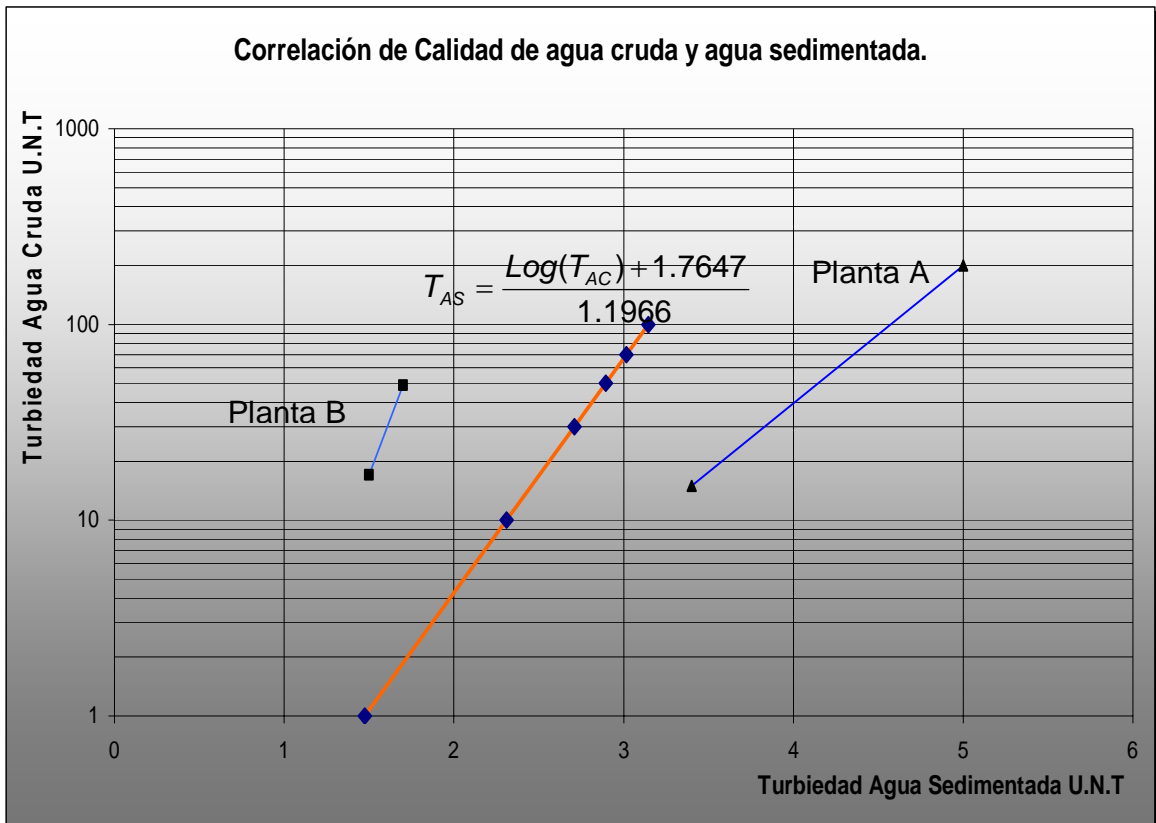
Donde: $y = \text{Log}(T_{AC})$

$x = T_{AS}$

Luego de despejar T_{AS} se obtiene la ecuación de correlación de Agua Cruda y Agua sedimentada:

$$T_{AS} = \frac{\text{Log}(T_{AC}) + 1.7647}{1.1966} \quad (5)$$

Grafico 29. Correlación de Agua Cruda – Agua Sedimentada. Sección Antigua



3.8.1.1.3 Determinación de las Condiciones Hidráulicas.

3.8.1.1.3.1 Caracterización de la zona de entrada a los sedimentadores.

OBJETIVO: Determinar las condiciones hidráulicas en la zona de entrada de los sedimentadores.

METODOLOGIA: Se define el caudal de operación de la estructura y la sección transversal del canal de conducción y se determina la velocidad.

La sección transversal del canal de conducción de agua floculada hacia los sedimentadores es variable a lo largo de toda su longitud, por lo tanto, se buscaron las secciones críticas del canal. Según el CEPIS se debe mantener una velocidad de flujo en la sección mayor a 0.15 m/seg. para evitar el depósito de los flocs. Partiendo de esto, encontramos la sección crítica en el canal así:

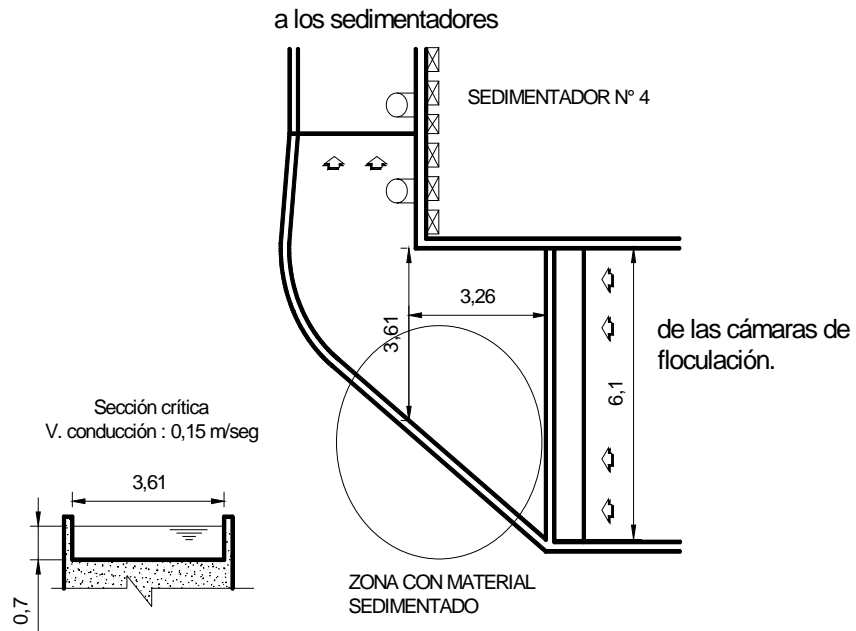
$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Velocidad}}$$

Para un caudal $Q = 380 \text{ L/seg}$ y una velocidad $V = 0.15 \text{ m/seg}$, y para una altura de agua en el canal medido de $h = 0.70\text{m}$ se tiene:

$$\text{Area} = \frac{0.38\text{m}^3 / \text{seg}}{0.15\text{m} / \text{seg}} = 2.53\text{m}^2$$
$$\text{Ancho de canal} = \frac{\text{Area}}{h} = \frac{2.53}{0.70} = 3.61\text{m}$$

En el plano se obtiene la ubicación del ancho de canal obtenido donde la velocidad del flujo es menor de 0.15m/seg.

Grafico 30. Diagrama del canal de conducción entre floculación y sedimentación.



3.8.1.1.3.2 Líneas de Flujo.

OBJETIVO: Determinar las Líneas de flujo dentro de las unidades de sedimentación de la Sección Antigua

METODOLOGÍA: Se secciona el sedimentador en sentido longitudinal y transversal tomando muestras en diferentes puntos y analizando la turbiedad de cada uno.

El sedimentador se analizó en la zona del decantador y también en la zona optimizada con placas paralelas inclinadas para observar la influencia que ejercen

las obras de entrada y salida, y también la influencia de las estructuras intermedias (pasarelas y cambios de flujo).

Los resultados de la prueba se consignan en las tablas 56 y 57 para el sedimentador N° 2.

De las anteriores tablas se obtienen las graficas con los topogramas de turbiedad de las unidades de sedimentación representativas.

ENSAYO CON TRAZADORES

3.8.1.1.3.3 Caudal real de trabajo de los sedimentadores optimizados.

OBJETIVO: Determinar los caudales reales de operación de cada unidad de sedimentación.

METODOLOGIA: Se aplica la sustancia trazadora a la salida de la unidad de floculación y se toman mediciones de conductividad a la entrada de cada unidad de sedimentación en intervalos de tiempo determinados hasta que la conductividad vuelva a su valor original. Luego se determina la acumulación de trazador por unidad y se determina el porcentaje de cada unidad en relación al trazador total.

El trazador empleado fue sal común de consumo humano, disolviendo 6 Kg de sal en 30 Litros de agua, para emplear esta solución en una dosis instantánea aplicada al inicio del canal de conducción de agua floculada a los sedimentadores. Se tomaron las muestras de la prueba inmediatamente después de aplicado el trazador a la entrada de cada una de las unidades de sedimentación. Los datos se consignaron en la tabla 58.

Tabla 56. Topograma de Turbiedades para la zona de decantación sedimentador N° 2. Turbiedad de Agua Cruda $T_0 = 6.2$ U.N.T.

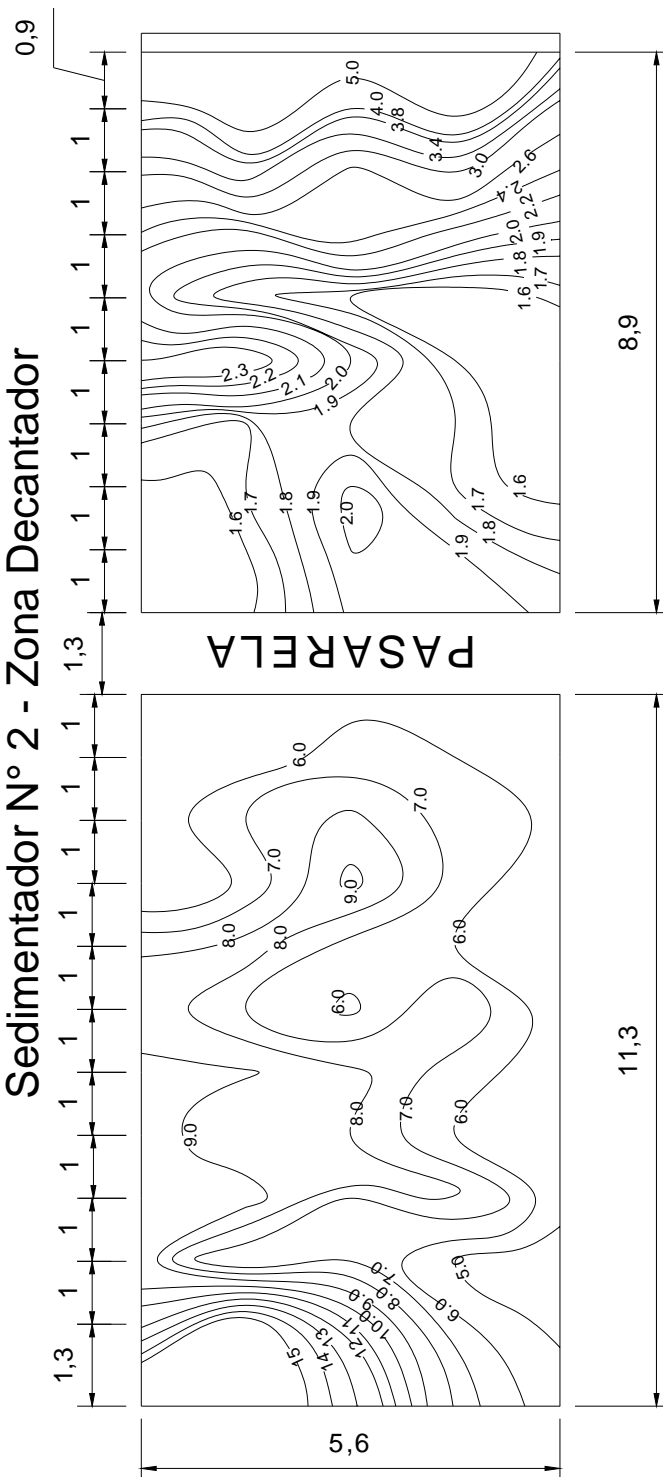
<i>Muestra N°</i>	<i>Turbiedad De Agua sedimentada</i>	<i>Muestra N°</i>	<i>Turbiedad De Agua Sedimentada</i>
1	16	28	5.5
2	11	29	6.4
3	6.2	30	6.0
4	6.0	31	1.6
5	7.0	32	2.0
6	5.0	33	1.9
7	9.5	34	1.7
8	7.0	35	2.0
9	8.1	36	1.7
10	8.1	37	1.7
11	8.0	38	1.8
12	6.0	39	1.7
13	9.1	40	2.8
14	8.3	41	2.0
15	6.5	42	1.6
16	7.0	43	1.7
17	5.8	44	1.6
18	8.0	45	1.5
19	8.5	46	2.1
20	6.6	47	2.5
21	6.6	48	2.1
22	6.3	49	3.6
23	9.3	50	2.5
24	6.6	51	3.0
25	7.0	52	5.0
26	8.3	53	4.0
27	6.5	54	4.7

Tabla 57. Topograma de Turbiedades placas paralelas inclinadas.

<i>Muestra Nº</i>	<i>Turbiedad De Agua sedimentada</i>	<i>Muestra Nº</i>	<i>Turbiedad De Agua Sedimentada</i>	<i>Muestra Nº</i>	<i>Turbiedad De Agua sedimentada</i>	<i>Muestra Nº</i>	<i>Turbiedad De Agua Sedimentada</i>
1	6.5	34	6.1	67	6.1	100	5.7
2	7.5	35	5.5	68	6.0	101	5.1
3	6.5	36	5.1	69	5.6	102	4.8
4	7.6	37	6.7	70	6.0	103	5.2
5	6.6	38	6.8	71	6.1	104	5.5
6	6.4	39	7.0	72	6.2	105	5.6
7	7.0	40	6.5	73	6.2	106	5.5
8	6.6	41	5.5	74	6.1	107	5.2
9	6.6	42	5.0	75	6.5	108	4.8
10	7.0	43	6.1	76	6.1	109	4.9
11	6.5	44	5.8	77	5.8	110	5.1
12	6.6	45	5.6	78	6.0	111	5.9
13	4.9	46	5.8	79	7.0	112	5.9
14	5.6	47	5.2	80	6.2	113	5.5
15	6.0	48	5.0	81	5.2	114	5.0
16	7.5	49	5.4	82	6.4	115	5.0
17	7.5	50	5.5	83	6.0	116	5.4
18	7.5	51	6.6	84	5.8	117	6.2
19	4.6	52	5.6	85	6.7	118	6.4
20	5.0	53	4.8	86	6.3	119	5.4
21	5.9	54	5.0	87	4.6	120	4.9
22	6.5	55	6.2	88	6.0	121	6.1
23	6.6	56	6.4	89	5.5	122	5.11
24	6.9	57	6.4	90	4.9	123	5.5
25	5.5	58	5.6	91	6.4	124	6.3
26	6.1	59	5.8	92	6.0	125	6.5
27	5.6	60	5.2	93	5.5	126	5.7
28	6.1	61	6.3	94	6.2	127	6.3
29	6.5	62	6.0	95	5.0	128	6.5
30	6.3	63	5.8	96	4.6	129	6.5
31	7.1	64	6.3	97	6.1	130	8.1
32	6.6	65	6.0	98	5.9	131	6.5
33	5.9	66	5.4	99	4.2	132	5.6

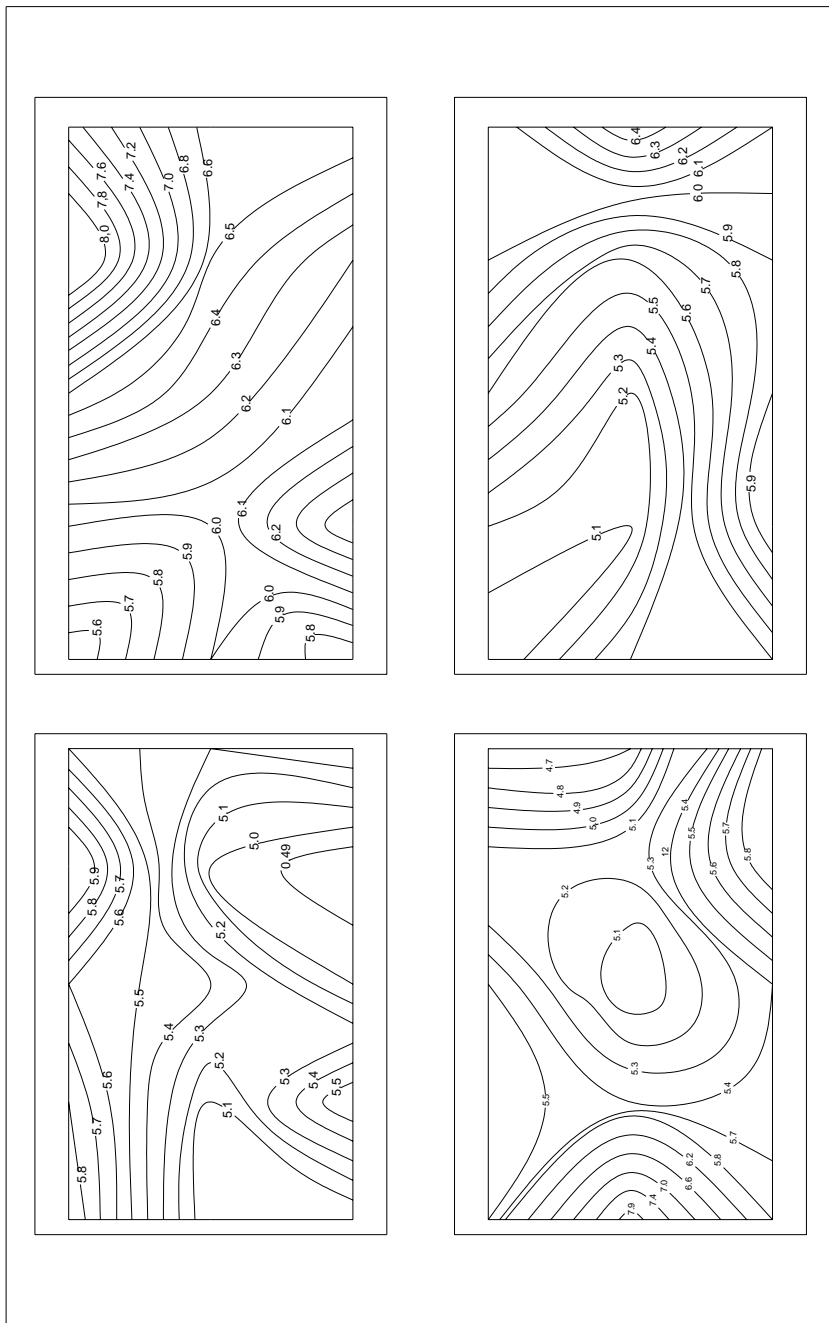
Grafico 31. Topogramas de turbiedades-decantador. Sedimentador N° 2

Topograma de Turbiedades. To= 5.6 U.N.T
 Sedimentador N° 2 - Zona Decantador



Grafica 32. Topogramas de turbiedades. Placas Paralelas–Sedimentador N° 2

Topograma de Turbiedades. To= 5.6 U.N.T
Sedimentador N° 2 - Zona placas paralelas



Del análisis de los datos se obtiene la tabla 59 donde se presentan los valores de conductividad acumulada por unidad de sedimentación y su respectivo porcentaje respecto a la muestra total; este valor de porcentaje parcial se relaciona con el caudal total de operación de la planta, que para esa ocasión fue de $Q = 380 \text{ L / seg.}$, de esta relación se obtienen los valores de caudal para cada unidad de sedimentación.

Tabla 58. Resultados de concentración para revisión de caudales de operación real de los sedimentadores.

<i>Sedimentador N° 1</i>					<i>Sedimentador N° 2</i>					
<i>Muestra</i>	<i>T (seg.)</i>	<i>Conduct. (μs/cm)</i>	<i>C-Co (μs/cm)</i>	<i>Σ(C-Co) (μs/cm)</i>	<i>Muestra</i>	<i>T (seg.)</i>	<i>Conduct. (μs/cm)</i>	<i>C-Co (μs/cm)</i>	<i>Σ(C-Co) (μs/cm)</i>	
1	0	69	0	0	1	0	69	0	0	
2	30	76	7	7	2	30	69	0	0	
3	60	72	3	10	3	60	69	0	0	
4	90	71	2	12	4	90	75	6	6	
5	120	118	49	61	5	120	134	65	71	
6	150	178	109	170	6	150	225	156	227	
7	180	166	97	267	7	180	149	80	307	
8	210	123	54	321	8	210	107	38	345	
9	240	91	22	343	9	240	87	18	363	
10	270	80	11	354	10	270	76	7	370	
11	300	76	7	361	11	300	74	5	375	
12	330	73	4	365	12	330	75	6	381	
13	360	72	3	368	13	360	78	9	390	
14	390	72	3	371	14	390	69	0	390	
15	420	71	2	373	15	420	69	0	390	
16	450	69	0	373	16	450	69	0	390	
							Continúa.....			

.....Viene									
Sedimentador N° 3					Sedimentador N° 4				
Muestra	T (seg.)	Conduct. (μs/cm)	C-Co (μs/cm)	Σ(C-Co) (μs/cm)	Muestra	T (seg.)	Conduct. (μs/cm)	C-Co (μs/cm)	Σ(C-Co) (μs/cm)
1	0	69	0	0	1	0	69	0	0
2	30	70	1	1	2	30	153	84	84
3	60	227	158	159	3	60	510	441	525
4	90	330	261	420	4	90	344	275	800
5	120	223	154	574	5	120	186	117	917
6	150	136	67	641	6	150	154	85	1002
7	180	116	47	688	7	180	109	40	1042
8	210	89	20	708	8	210	91	22	1064
9	240	87	18	726	9	240	76	7	1071
10	270	75	6	732	10	270	72	3	1074
11	300	73	4	736	11	300	71	2	1076
12	330	70	1	737	12	330	70	1	1077
13	360	70	1	738	13	360	69	0	1077
14	390	70	1	739	14	390	69	0	1077
15	420	69	0	739	15	420	69	0	1077

Tabla 59. Relación de caudales reales para cada unidad de sedimentación.

SEDIMENTADOR	Σ (C-Co) μs/cm	% TRAZADOR	Q (Lps)
1	373	14,4	54.72
2	390	15,1	57.38
3	739	28,7	109.06
4	1077	41,8	158.84
TOTAL	2579	100	380

Para el siguiente análisis se aplico como trazador 20 Kg de sal común disuelto en 60 Litros de agua, y fueron aplicados instantáneamente a la entrada del sedimentador N° 2. Inmediatamente se tomaron mediciones de conductividad a la salida del sedimentador y los resultados se consignaron en la tabla 60.

3.8.1.1.3.4 Tiempo de retención teórico.

Volumen de la unidad: 570 m³ aproximados

Caudal de trabajo: 120 L / seg.= 0.12 m³ / seg.

$$t_0 = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / \text{seg})} = \frac{570m^3}{0.12m^3 / \text{seg}} = 4750\text{seg} = 79.166 \text{ min.}$$

Tiempo de retención teórico: 79.166 minutos.= 79 minutos 10 segundos.

Conductividad inicial Co = 70 μS/cm.

Tabla 60. Resultado de prueba con trazadores. Sedimentador convencional optimizado.

Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida (μs/cm.)	C-Co (μs/cm.)	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
1	0	0,00	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	0,03	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3	4	0,05	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4	6	0,08	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5	8	0,10	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
6	10	0,13	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
7	12	0,15	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
8	14	0,18	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
9	16	0,20	70,00	0,00	0,00	0,00	100,00
10	18	0,23	73,00	3,00	3,00	0,11	99,89
11	20	0,25	85,00	15,00	18,00	0,68	99,32
12	22	0,28	92,00	22,00	40,00	1,51	98,49
13	24	0,30	100,00	30,00	70,00	2,64	97,36
14	26	0,33	105,00	35,00	105,00	3,95	96,05
15	28	0,35	108,00	38,00	143,00	5,38	94,62
16	30	0,38	115,00	45,00	188,00	7,08	92,92
17	32	0,40	119,00	49,00	237,00	8,92	91,08
18	34	0,43	123,00	53,00	290,00	10,92	89,08
19	36	0,45	125,00	55,00	345,00	12,99	87,01
					Continúa.....		

.....Viene							
Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida ($\mu\text{s/cm.}$)	C-Co ($\mu\text{s/cm.}$)	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
20	38	0,48	129,00	59,00	404,00	15,21	84,79
21	40	0,51	130,00	60,00	464,00	17,47	82,53
22	42	0,53	131,00	61,00	525,00	19,77	80,23
23	44	0,56	137,00	67,00	592,00	22,29	77,71
24	46	0,58	146,00	76,00	668,00	25,15	74,85
25	48	0,61	150,00	80,00	748,00	28,16	71,84
26	50	0,63	154,00	84,00	832,00	31,33	68,67
27	52	0,66	154,00	84,00	916,00	34,49	65,51
28	54	0,68	147,00	77,00	993,00	37,39	62,61
29	56	0,71	137,00	67,00	1060,00	39,91	60,09
30	58	0,73	135,00	65,00	1125,00	42,36	57,64
31	60	0,76	134,00	64,00	1189,00	44,77	55,23
32	62	0,78	133,00	63,00	1252,00	47,14	52,86
33	64	0,81	130,00	60,00	1312,00	49,40	50,60
34	66	0,83	127,00	57,00	1369,00	51,54	48,46
35	68	0,86	125,00	55,00	1424,00	53,61	46,39
36	70	0,88	123,00	53,00	1477,00	55,61	44,39
37	72	0,91	120,00	50,00	1527,00	57,49	42,51
38	74	0,93	118,00	48,00	1575,00	59,30	40,70
39	76	0,96	116,00	46,00	1621,00	61,03	38,97
40	78	0,99	114,00	44,00	1665,00	62,69	37,31
41	80	1,01	112,00	42,00	1707,00	64,27	35,73
42	82	1,04	111,00	41,00	1748,00	65,81	34,19
43	84	1,06	110,00	40,00	1788,00	67,32	32,68
44	86	1,09	109,00	39,00	1827,00	68,79	31,21
45	88	1,11	108,00	38,00	1865,00	70,22	29,78
46	90	1,14	109,00	39,00	1904,00	71,69	28,31
47	92	1,16	109,00	39,00	1943,00	73,16	26,84
48	94	1,19	108,00	38,00	1981,00	74,59	25,41
49	96	1,21	107,00	37,00	2018,00	75,98	24,02
50	98	1,24	106,00	36,00	2054,00	77,33	22,67
51	100	1,26	106,00	36,00	2090,00	78,69	21,31
52	102	1,29	104,00	34,00	2124,00	79,97	20,03
					Continúa.....		

.....Viene							
Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida ($\mu\text{s/cm.}$)	C-Co ($\mu\text{s/cm.}$)	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
53	104	1,31	104,00	34,00	2158,00	81,25	18,75
54	106	1,34	103,00	33,00	2191,00	82,49	17,51
55	108	1,36	101,00	31,00	2222,00	83,66	16,34
56	110	1,39	100,00	30,00	2252,00	84,79	15,21
57	112	1,41	100,00	30,00	2282,00	85,92	14,08
58	114	1,44	98,00	28,00	2310,00	86,97	13,03
59	116	1,47	97,00	27,00	2337,00	87,99	12,01
60	118	1,49	95,00	25,00	2362,00	88,93	11,07
61	120	1,52	94,00	24,00	2386,00	89,83	10,17
62	122	1,54	93,00	23,00	2409,00	90,70	9,30
63	124	1,57	92,00	22,00	2431,00	91,53	8,47
64	126	1,59	91,00	21,00	2452,00	92,32	7,68
65	128	1,62	91,00	21,00	2473,00	93,11	6,89
66	130	1,64	90,00	20,00	2493,00	93,86	6,14
67	132	1,67	90,00	20,00	2513,00	94,62	5,38
68	134	1,69	89,00	19,00	2532,00	95,33	4,67
69	136	1,72	87,00	17,00	2549,00	95,97	4,03
70	138	1,74	85,00	15,00	2564,00	96,54	3,46
71	140	1,77	84,00	14,00	2578,00	97,06	2,94
72	142	1,79	82,00	12,00	2590,00	97,52	2,48
73	144	1,82	81,00	11,00	2601,00	97,93	2,07
74	146	1,84	80,00	10,00	2611,00	98,31	1,69
75	148	1,87	79,00	9,00	2620,00	98,64	1,36
76	150	1,89	78,00	8,00	2628,00	98,95	1,05
77	154	1,95	77,00	7,00	2635,00	99,21	0,79
78	164	2,07	76,00	6,00	2641,00	99,44	0,56
79	184	2,32	75,00	5,00	2646,00	99,62	0,38
80	200	2,53	74,00	4,00	2650,00	99,77	0,23
81	216	2,73	73,00	3,00	2653,00	99,89	0,11
82	230	2,91	72,00	2,00	2655,00	99,96	0,04
83	242	3,06	71,00	1,00	2656,00	100,00	0,00
84	288	3,64	70,00	0,00	2656,00	100,00	0,00
85	290	3,66	70,00	0,00	2656,00	100,00	0,00
86	292	3,69	70,00	0,00	2656,00	100,00	0,00

3.8.1.1.3.5 Análisis por el Método de Wolf – Resnick.

Se elabora el Grafico 33 para obtener los siguientes parámetros.

$$\theta = 0.41 \quad t_1 / t_0 = 0.4 \quad t_2 / t_0 = 1.74$$

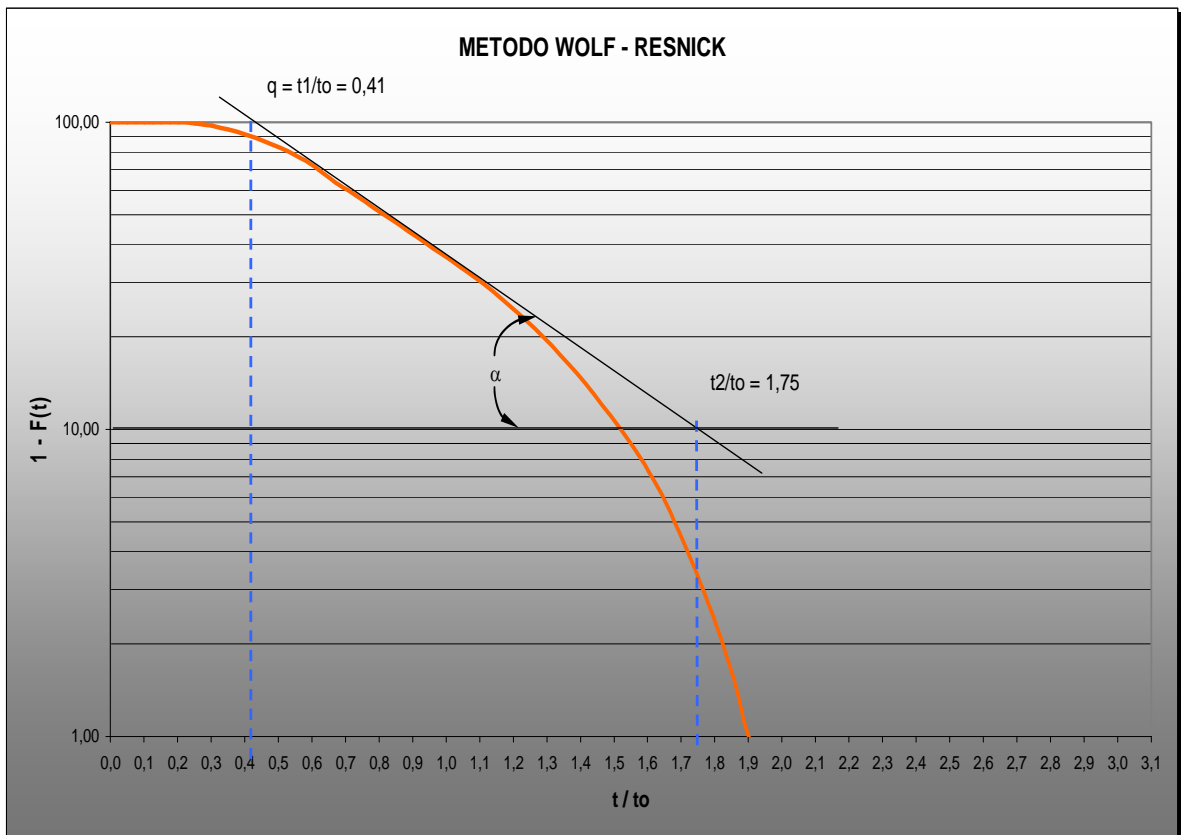
Ahora, se obtiene la pendiente de esta recta dada por:

$$\text{Tan} \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 0.7518 \quad \text{Tan} \alpha = 0.7518$$

3.8.1.1.3.5.1 Determinación del flujo Pistón (p):

$$P = \frac{\theta * \text{tan} \alpha}{0.435 + \theta * \text{tan} \alpha} = \frac{0.41 * 0.7518}{0.435 + 0.41 * 0.7518} = 0.4147$$

Grafico 33. Método de Wolf – Resnick. Floculador N° 2. Sección Antigua.



Esta unidad tiene un flujo Pistón del **41.47 %**.

3.8.1.1.3.5.2 Determinación de espacios muertos (m):

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 1 - \frac{0.41}{0.4147} = 0.01145$$

En esta unidad los espacios muertos son de **m = 1.145 %**.

3.8.1.1.3.5.3 Determinación del flujo mezclado (M):

El flujo mezclado implica una mezcla parcial o total del fluido entrante a la unidad con el fluido que esta en la unidad.

$$M = 1 - P = 1 - 0.4147 = 0.5852$$

Se tiene un flujo mezclado del **58.52 %**.

3.8.1.1.3.6 Análisis siguiendo procedimientos convencionales.

Se elabora el grafico 34 con las columnas de **tiempo (min)** y **C – Co (μs/cm)**, del cual se determinan los siguientes valores:

Tiempo de aparición del trazador (t1) = 18 minutos.

Tiempo modal (máxima conductividad) = 51 minutos.

Tiempo para que atraviese la totalidad el trazador = 242 minutos.

Valores auxiliares=

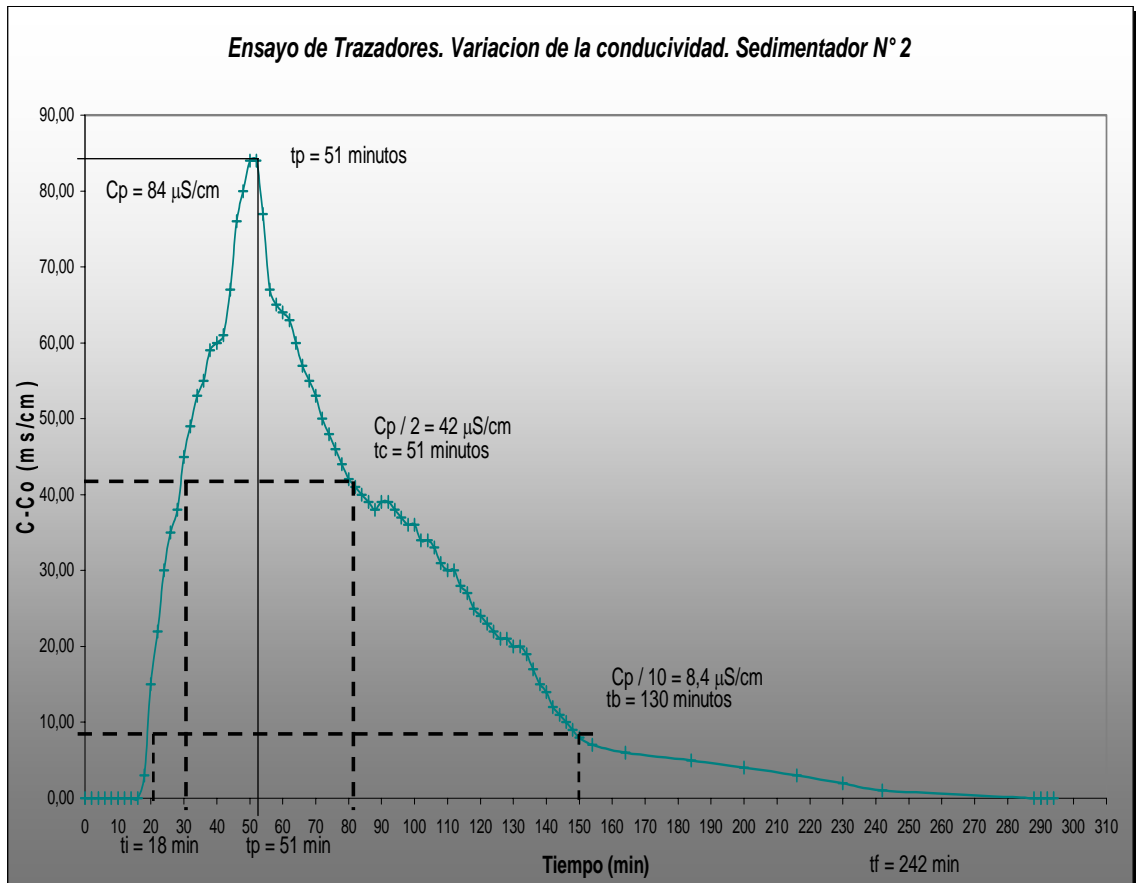
Conductividad Pico = Cp = 84 μs/cm.

Tiempo de concentración (tc) = 51 minutos

Tiempo Base (tb) = 130 minutos.

Tiempo Mediano (t_m) = corresponde al paso del 50 % del trazador, obtenido por la interpolación de los datos de **tiempo (min)** y $\Sigma(C - C_0)$.

Grafico 34. Variación de la conductividad del trazador. Sedimentador N° 2. Sección antigua



De la tabla 59 se tiene los valores de tiempo $t = 64$ y 66 minutos para obtener un tiempo mediano **$T_m = 64.56$ minutos**.

3.8.1.1.3.7 Índice de Morrill.

Se elabora el gráfico 35 que relaciona las columnas de **tiempo (min)** y **F (t)** en escala probabilidad – logarítmica

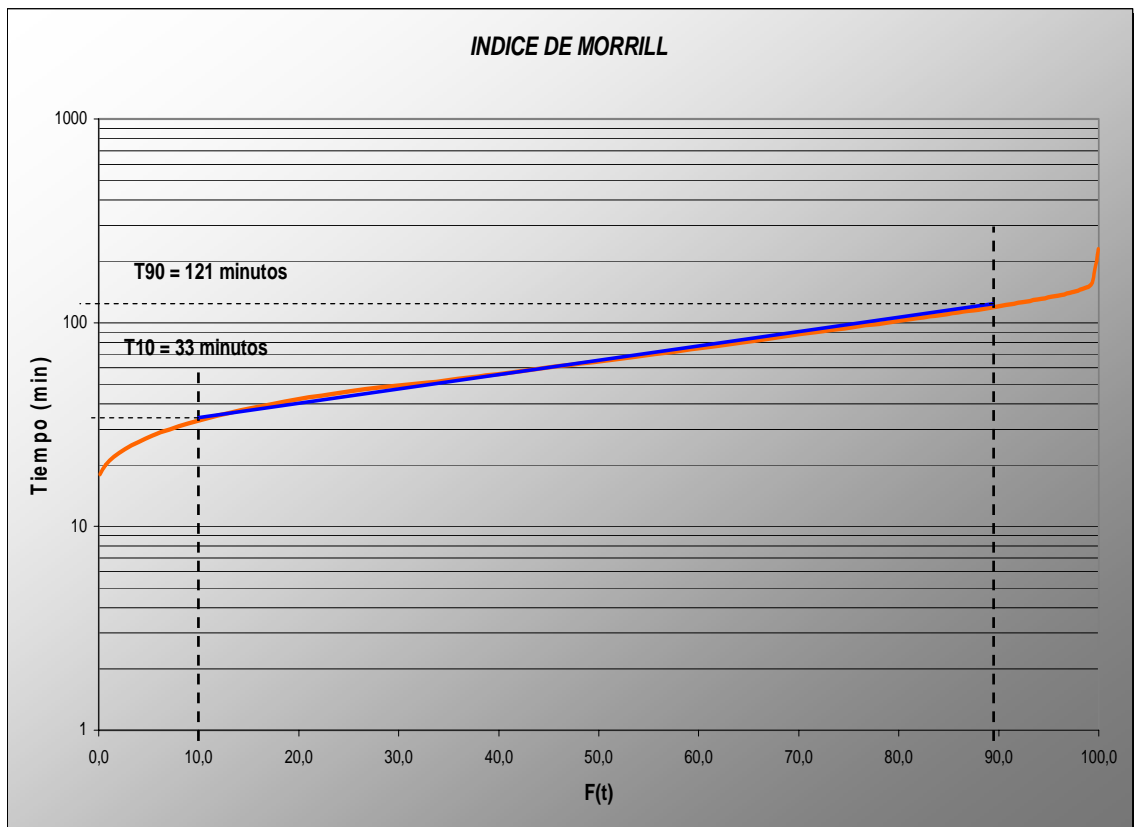
Tiempo en que pasa el 90% (T90) = 121 minutos.

Tiempo en que pasa el 10% (T10) = 33 minutos.

$$\text{Índice de Morrill (Im)} = \frac{T90}{T10} = \frac{121}{33} = 3.66$$

Índice de Morrill (Im) = 3.66.

Gráfico 35. Índice de Morrill. Sedimentador Nº 2. Sección Antigua.



3.8.1.1.3.8 Determinación de la carga superficial real.

La carga superficial real se obtiene dividiendo la profundidad del sedimentador dada en centímetros por el tiempo de detención en segundos, así:

$$q = \frac{H \times 100}{t_o \times 60} \times 864$$

Donde:

q = carga superficial real. (m³/m²/día)

H = Profundidad del sedimentador (m).

t_o = tiempo real de detención. (min)

Reemplazando en la formula se obtiene:

$$q = \frac{3.66 \times 100}{64.56 \times 60} \times 864 = 81.63 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$$

Esta es la carga superficial real del sedimentador, **q = 81,63 m³/m²/día.**

La carga superficial teórica se obtiene de la misma manera, pero para el tiempo teórico de retención:

$$q = \frac{3.66 \times 100}{79.166 \times 60} \times 864 = 66.57 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$$

La carga superficial teórica es de **q = 66,57 m³/m²/día.**

3.8.1.2 Diagnostico.

- Se puede concluir que el 99 % del tiempo la unidad de sedimentación tiene una excelente eficiencia según la clasificación del CEPIS, ya que produce

turbiedades inferiores a **5 U.N.T.** teniendo en cuenta que el parámetro de tolerancia para turbiedad en el filtro es de 8 U.N.T.

- Del gráfico N° 28, que relaciona la turbiedad de agua cruda con la turbiedad de agua sedimentada se obtiene una planta tipo A según la clasificación del CEPIS, con eficiencia de normal a buena. Según la tendencia de la curva, para turbiedades menores a **1000 U.N.T** se obtendrían turbiedades de agua sedimentada menores a **4 U.N.T.** lo que muestra estadísticamente una muy buena eficiencia en el proceso de sedimentación.

Tabla 60. Resumen de los resultados de la evaluación por el Método Convencional- sedimentador N° 2.

CRITERIO	CONSECUENCIA
$\frac{t_i}{t_o} = \frac{18 \text{ min}}{79.166 \text{ min}} = 0.227 > 0.3$	- <i>Baja presencia de cortocircuitos.</i>
$\frac{t_m}{t_o} = \frac{64.56 \text{ min}}{79.166 \text{ min}} = 0.815$	- <i>Presencia de corto-circuitos.</i>
$\frac{t_p}{t_o} = \frac{51 \text{ min}}{79.166 \text{ min}} = 0.644$	- <i>Tendencia al flujo mezclado.</i>
$\frac{t_c}{t_o} = \frac{51 \text{ min}}{79.166 \text{ min}} = 0.644$ $\frac{t_b}{t_o} = \frac{130 \text{ min}}{79.166 \text{ min}} = 1.64$	- <i>Presencia de flujo mezclado.</i>
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_1)}{t_o} = \frac{(242 - 51) - (51 - 18)}{79.166} = 1.99$ $e = 1.99$	- <i>Flujo mezclado: Predominio de flujo mezclado.</i>
$l_m = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{121}{33} = 3.66$	- <i>Presencia de flujo mezclado.</i>

- Según la evaluación, la velocidad de conducción en el canal de conexión entre la salida de los floculadores y la entrada de los sedimentadores es menor a la velocidad de conducción crítica $V= 0.15 \text{ m/seg.}$ (CEPIS), por lo que se presentan depósitos de floculos en una sección muy extensa del canal hasta el punto donde alcanza el área necesaria para mantener una velocidad mayor a la crítica de conducción (ver grafico N° 32), lo que comprueba lo observado en la planta. Se debe variar las dimensiones del canal en esta zona para evitar esta acumulación de sedimento fuera de la zona indicada, por lo menos en la dimensión especificada en el grafico.

- De los gráficos de variación de las líneas de flujo dentro del sedimentador se observan problemas en la zona de entrada donde el flujo se distribuye de forma irregular, esto debido a dos factores principales:
 - Las compuertas de entrada a los sedimentadores no tienen una apertura controlada para asegurar un flujo bien distribuido.
 - Y el diseño inadecuado de la pantalla difusora a la entrada del sedimentador.

También se encuentran variaciones importantes en la zona de entrada al sedimentador optimizado debidas al cambio brusco en la dirección del flujo, haciendo que parte del floc que no ha sido decantado se aglomere e incremente la turbiedad en esta zona. Ver grafico 30.

- Se presenta una distribución muy variada de los caudales que entran a cada unidad de sedimentación debido a varios factores:
 1. La abertura de las compuertas de acceso a los sedimentadores, varía según la consideración de los operarios respecto al desempeño de los filtros y los sedimentadores, es decir, la prioridad que le dan a cada filtro en el tratamiento.
 2. Acumulación de lodos en el canal.
 3. La dimensión variable del canal de conducción.

4. El filtro N° 1 se encuentra en malas condiciones.

- La distribución de caudales no es siempre la misma debido a que se están variando las condiciones de filtrado, pero esta distribución da una idea general del comportamiento bajo funcionamiento típico de esta sección.
- En esta unidad hay predominio de flujo mezclado con un 58.52% comparado con un flujo Pistón de 41.48%, cuando según el CEPIS, deben tener por lo menos un 60% de flujo Pistón y un 40% de flujo mezclado.
- En la tabla 60 se consignan los resultados del análisis por método convencional.
- El sedimentador analizado presenta un comportamiento de flujo mixto, con baja presencia de espacios muertos, pero con un alto índice de cortocircuitos representado en el desfase entre el tiempo real de retención y el tiempo de retención teórico, de aquí se obtiene que el 64% del total del trazador pasa antes del periodo teórico de retención.
- Se observa también que el volumen útil en el sedimentador es de **64.4%** del volumen total tratado.
- Las condiciones hidráulicas no son óptimas, pero estas condiciones son solo preponderantes en la zona del decantador sin llegar a influir de forma importante en el tratamiento ya que se cuenta con la sección del sedimentador de placas planas paralelas o de alta rata, lo que se observa en el alto rendimiento del proceso.
- Se presenta gran número de placas vencidas y otras deflectadas en las diferentes unidades de sedimentación, además, las estructuras de soporte

de las placas se encuentran en un alto grado de deterioro lo que podría conllevar a una posible falla estructural.

- Se puede observar que la carga superficial real es **1.22** veces la carga teórica para la totalidad del sedimentador, lo que representaría una eficiencia regular de la unidad, pero la eficiencia del sedimentador se ve afectada por la presencia de la sección con placas inclinadas.

3.8.2 Sección Ampliación

3.8.2.1 Determinación de la Eficiencia.

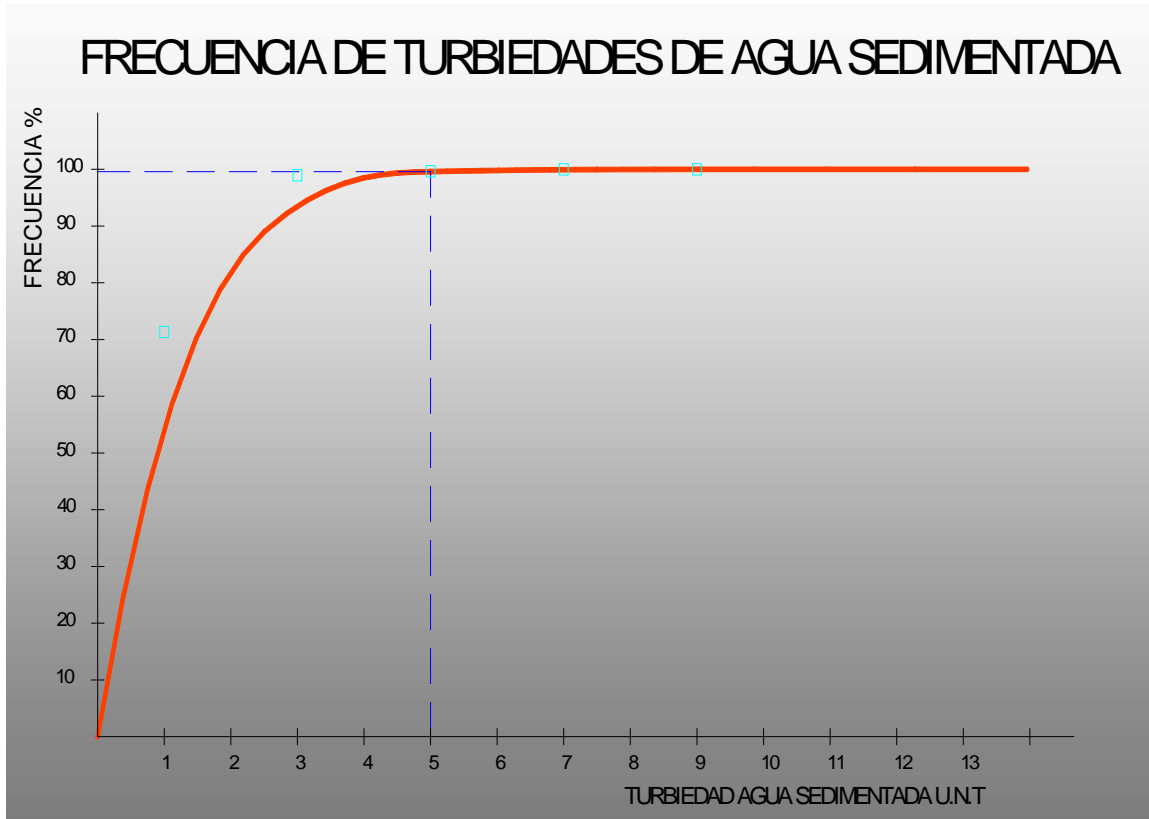
3.8.2.1.1 En Función de la Calidad del Agua Sedimentada.

En la tabla 61 se presentan los datos de calidad de agua sedimentada relativos a la turbiedad en el periodo Febrero 2004 – Diciembre 2004.

Tabla 61. Frecuencias de Agua Sedimentada- Sección Ampliación.

Rango	Valor Medio	Frecuencia		
		Parcial	Acumulada	%
0-1,99	1	204	204	71,3286713
2 - 3,99	3	79	283	98,951049
4 - 5,99	5	2	285	99,6503497
6 - 7,99	7	1	286	100
8 -9,99	9	0	286	100

**Grafico 36. Frecuencia de turbiedad de agua sedimentada.
Sección Ampliación.**



3.8.2.1.2 En Función de la calidad del Agua Cruda.

De la revisión de los datos de operación de la planta en el periodo de Febrero 2004 a Diciembre 2004 se obtuvo la tabla 62, donde se agruparon los valores de calidad, tanto de agua Cruda como de agua sedimentada para la sección antigua como para la de ampliación.

Tabla 62. Turbiedades Agua Cruda y Agua Sedimentada. Sección Ampliación.

Turbiedad del Agua Cruda (U.N.T)		Valores promedios de Turbiedad de Agua Sedimentada (U.N.T)	Log (T _{AC})
Rango	Valor medio		
0 - 20	10	1,73	1
20 - 40	30	2,016	1,477121255
40 - 60	50	2,14	1,698970004
60 - 80	70	3,076	1,84509804
80 - 100	80	-	-
> 100	100	4.295	2

Analizando los datos agrupados en las anteriores tablas y de los gráficos obtenidos, se obtiene la ecuación de eficiencia de los sedimentadores en relación a la Turbiedad, dada por:

$$T_{AB} = \frac{\text{Log}(T_{AC}) - a}{b}$$

Donde:

T_{AS}: Turbiedad del Agua Sedimentada.

T_{AC}: Turbiedad del Agua Cruda.

De la grafica se obtiene para la sección Antigua:

Por el método de los mínimos cuadrados se obtiene la ecuación de la recta :

$$y = 0.3052 * x + 0.7949$$

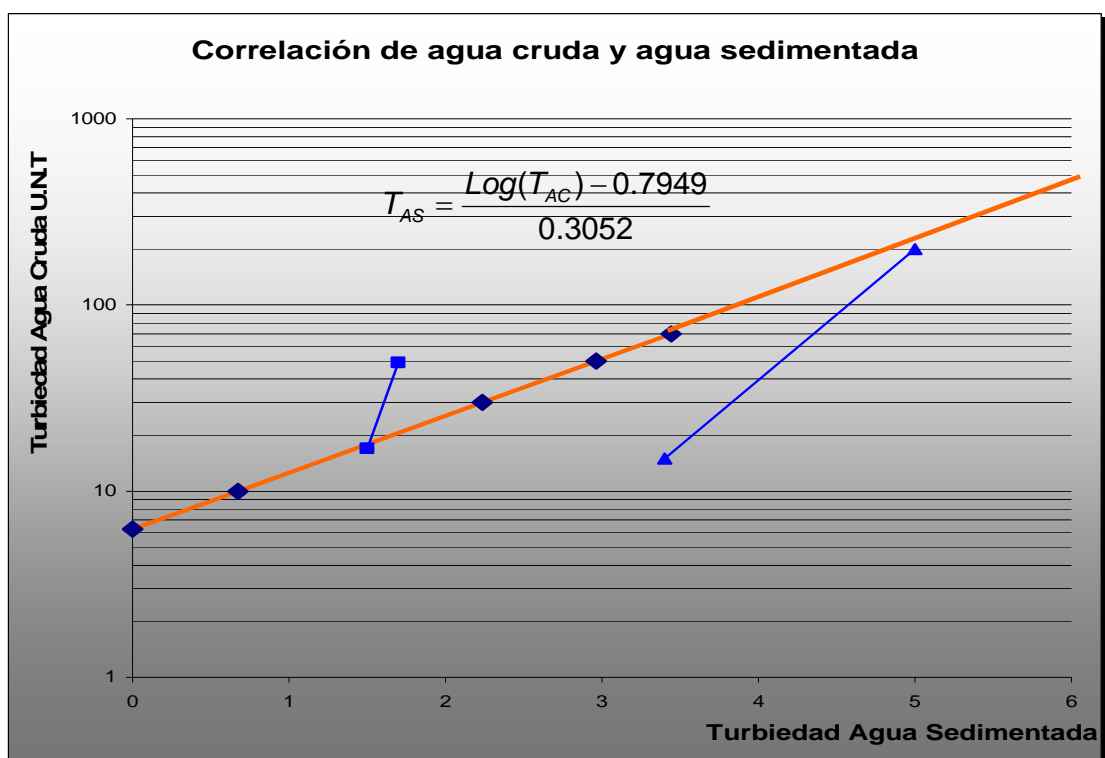
Donde : y = Log (T_{AC})

x = T_{AS}

Luego de despejar T_{AS} se obtiene la ecuación de correlación de Agua Cruda y Agua sedimentada:

$$T_{AS} = \frac{\text{Log}(T_{AC}) - 0.7949}{0.3052}$$

Grafico37. Correlación Agua Cruda- agua sedimentada. Sección Ampliación.



3.8.2.2 Determinación de las Condiciones Hidráulicas.

3.8.2.2.1 Líneas de Flujo

El canal de conducción está dividido en varias secciones con profundidades variables para la distribución de los caudales a cada sedimentador. Se obtienen a continuación las velocidades de conducción en cada sección:

$$\text{Velocidad de Conducción} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área}}$$

Sección N° 1

Caudal Q = 183 L/seg.

Altura de agua = 1.34 m

Ancho de canal = 0.84 m

Área = 1.34 * 0.84 = 1.13 m²

Velocidad:

$$\frac{0.183 \text{ m}^3 / \text{seg}}{1.13 \text{ m}^2} = 0.162 \text{ m/seg}$$

Sección N° 2

Caudal Q = 75.72 L/seg.

Altura de agua = 0.66 m

Ancho de canal = 0.84 m

Área = 0.66*0.84 = 0.554 m²

Velocidad:

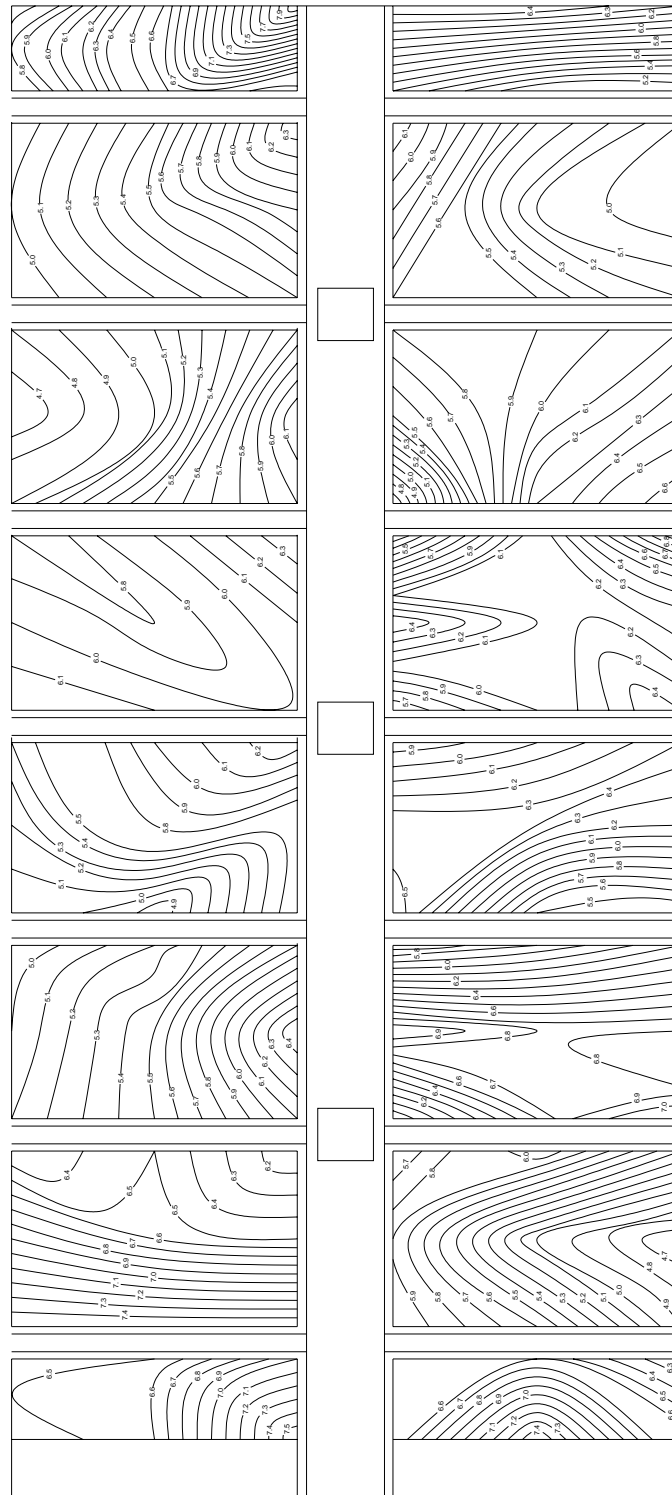
$$\frac{0.07572 \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.554 \text{ m}^2} = 0.137 \text{ m/seg}$$

Tabla 63. Topograma de turbiedades para el sedimentador de alta Rata. Sección Ampliación.

Muestra N°	Turbiedad De Agua sedimentada	Muestra N°	Turbiedad De Agua Sedimentada	Muestra N°	Turbiedad De Agua sedimentada	Muestra N°	Turbiedad De Agua Sedimentada
1	7.5	16	5.6	31	5.5	46	5.6
2	6.5	17	5.2	32	5.3	47	5.1
3	6.6	18	5.9	33	5.4	48	5.5
4	6.0	19	6.0	34	4.6	49	5.8
5	6.5	20	6.0	35	4.7	50	5.1
6	6.1	21	6.5	36	5.1	51	5.6
7	8.5	22	5.2	37	6.1	52	5.6
8	6.5	23	5.1	38	5.0	53	5.5
9	6.2	24	6.0	39	4.8	54	5.6
10	6.0	25	5.5	40	5.2	55	5.9
11	5.6	26	6.0	41	5.3	56	5.0
12	5.9	27	5.7	42	6.0	57	5.0
13	6.6	28	5.0	43	5.6	58	5.5
14	6.3	29	5.4	44	5.4	59	8.0
15	6.0	30	5.5	45	5.0	60	5.8

Grafico 37. Topograma de turbiedades – sedimentador de alta rata.

Topograma de Turbiedades. To= 54 U.N.T
 Sedimentador N° 5 - Zona placas paralelas



De la tabla 63 se obtiene la grafica 37 con el topograma de turbiedad de la unidad de sedimentación

ENSAYO CON TRAZADORES

3.8.2.2.2 Caudal real de trabajo del sedimentador de Alta Rata.

El trazador empleado fue sal común de consumo humano, disolviendo 6 Kg de sal en 30 Litros de agua, para emplear esta solución en una dosis instantánea aplicada a la salida de la unidad de floculación.

Los resultados de las mediciones se consignan en la tabla 64.

Tabla 64. Resultados de la prueba de trazadores. Sedimentador de Alta Rata. Distribución real de caudales.

Sedimentador N° 1					Sedimentador N° 2				
Muestra	T (seg.)	Conducti (μs/cm)	C-Co (μs/cm)	Σ(C-Co) (μs/cm)	Muestra	T (seg.)	Conduct (μs/cm)	C-Co (μs/cm)	Σ(C-Co) (μs/cm)
1	30	77	7	7	1	30	91	21	21
2	60	78	8	15	2	60	79	9	30
3	90	74	4	19	3	90	73	3	33
4	120	76	6	25	4	120	75	5	38
5	150	71	1	26	5	150	74	4	42
6	180	72	2	28	6	180	72	2	44
7	210	71	1	29	7	210	72	2	46
8	240	73	3	32	8	240	72	2	48
9	270	72	2	34	9	270	71	1	49
10	300	70	0	34	10	300	70	0	49
11	330	72	2	36	11	330	70	0	49
12	360	70	0	36	12	360	72	2	51

Tabla 65. Relación de caudales reales para cada unidad de sedimentación.

SEDIMENTADOR	$\Sigma (C-Co) \mu S/cm$	% TRAZADOR	Q (Lps)
1	51	58,62	107,28
2	36	41,38	75,72
TOTAL	87	100	183

Para el siguiente análisis se aplicó como trazador 15 Kg de sal común disuelto en 60 Litros de agua, y fueron aplicados instantáneamente a la entrada del sedimentador de alta tasa N° 5. Inmediatamente se tomaron mediciones de conductividad a la salida del sedimentador y los resultados se consignaron en la tabla 66.

Tabla 66. Resultado de prueba con trazadores. Sedimentador de Alta Tasa.

Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida ($\mu S/cm.$)	C-Co ($\mu S/cm.$)	$\Sigma C-Co$	F(t)	1-F(t)
1	0	0,00	70	0	0	0,00	100,00
2	2	0,05	70	0	0	0,00	100,00
3	4	0,09	71	1	1	0,05	99,95
4	6	0,14	71	1	2	0,10	99,90
5	8	0,18	74	4	6	0,29	99,71
6	10	0,23	79	9	15	0,74	99,26
7	12	0,28	92	22	37	1,82	98,18
8	14	0,32	105	35	72	3,53	96,47
9	16	0,37	131	61	133	6,53	93,47
10	18	0,41	164	94	227	11,14	88,86
11	20	0,46	188	118	345	16,93	83,07
12	22	0,50	211	141	486	23,85	76,15
13	24	0,55	205	135	621	30,47	69,53
14	26	0,60	198	128	749	36,75	63,25
15	28	0,64	192	122	871	42,74	57,26
16	30	0,69	180	110	981	48,14	51,86
17	32	0,73	176	106	1087	53,34	46,66
					CONTINUA....		

.....VIENE							
Muestra	Tiempo (min.)	T/To	Concent. Medida ($\mu\text{S/cm.}$)	C-Co ($\mu\text{S/cm.}$)	Σ C-Co	F(t)	1-F(t)
18	34	0,78	166	96	1183	58,05	41,95
19	36	0,83	157	87	1270	62,32	37,68
20	38	0,87	143	73	1343	65,90	34,10
21	40	0,92	139	69	1412	69,28	30,72
22	42	0,96	133	63	1475	72,37	27,63
23	44	1,01	126	56	1531	75,12	24,88
24	46	1,06	122	52	1583	77,67	22,33
25	48	1,10	121	51	1634	80,18	19,82
26	50	1,15	118	48	1682	82,53	17,47
27	52	1,19	114	44	1726	84,69	15,31
28	54	1,24	112	42	1768	86,75	13,25
29	56	1,29	106	36	1804	88,52	11,48
30	58	1,33	106	36	1840	90,28	9,72
31	60	1,38	102	32	1872	91,85	8,15
32	65	1,49	101	31	1903	93,38	6,62
33	70	1,61	92	22	1925	94,46	5,54
34	75	1,72	90	20	1945	95,44	4,56
35	80	1,84	88	18	1963	96,32	3,68
36	85	1,95	85	15	1978	97,06	2,94
37	90	2,07	83	13	1991	97,69	2,31
38	95	2,18	81	11	2002	98,23	1,77
39	100	2,29	78	8	2010	98,63	1,37
40	105	2,41	77	7	2017	98,97	1,03
41	110	2,52	76	6	2023	99,26	0,74
42	120	2,75	76	6	2029	99,56	0,44
43	135	3,10	75	5	2034	99,80	0,20
44	150	3,44	74	4	2038	100,00	0,00
45	165	3,79	70	0	2038	100,00	0,00
46	180	4,13	70	0	2038	100,00	0,00
47	185	4,25	70	0	2038	100,00	0,00

3.8.2.2.3 Tiempo teórico de retención.

Volumen de la unidad: 198 m³ aproximados

Caudal de trabajo: 75.72 L / seg: 0.7572 m³ / seg

$$t_0 = \frac{V(m^3)}{Q(m^3 / \text{seg})} = \frac{198m^3}{0.07572m^3 / \text{seg}} = 2614,9\text{seg} = 43.58 \text{ min.}$$

Tiempo de retención teórico: 43,58 minutos.

Conductividad inicial Co = 70 μS/cm

3.8.2.2.4 Análisis por el Método de Wolf – Resnick.

Los siguientes parámetros se obtienen del gráfico 38

$$\theta = 0.39 \quad t_1 / t_0 = 0.39 \quad t_2 / t_0 = 1.42$$

Ahora, se obtiene la pendiente de esta recta dada por:

$$\text{Tan}\alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = 0.97 \quad \text{Tan } \alpha = 0.97$$

3.8.2.2.4.1 Determinación del flujo Pistón (p):

$$p = \frac{\theta * \text{tan}\alpha}{0.435 + \theta * \text{tan}\alpha} = \frac{0.39 * 0.97}{0.435 + 0.39 * 0.97} = 0.4653$$

Esta unidad tiene un flujo Pistón del **46.53 %**.

3.8.2.2.4.2 Determinación de espacios muertos (m):

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} = 1 - \frac{0.39}{0.4653} = 0.1619$$

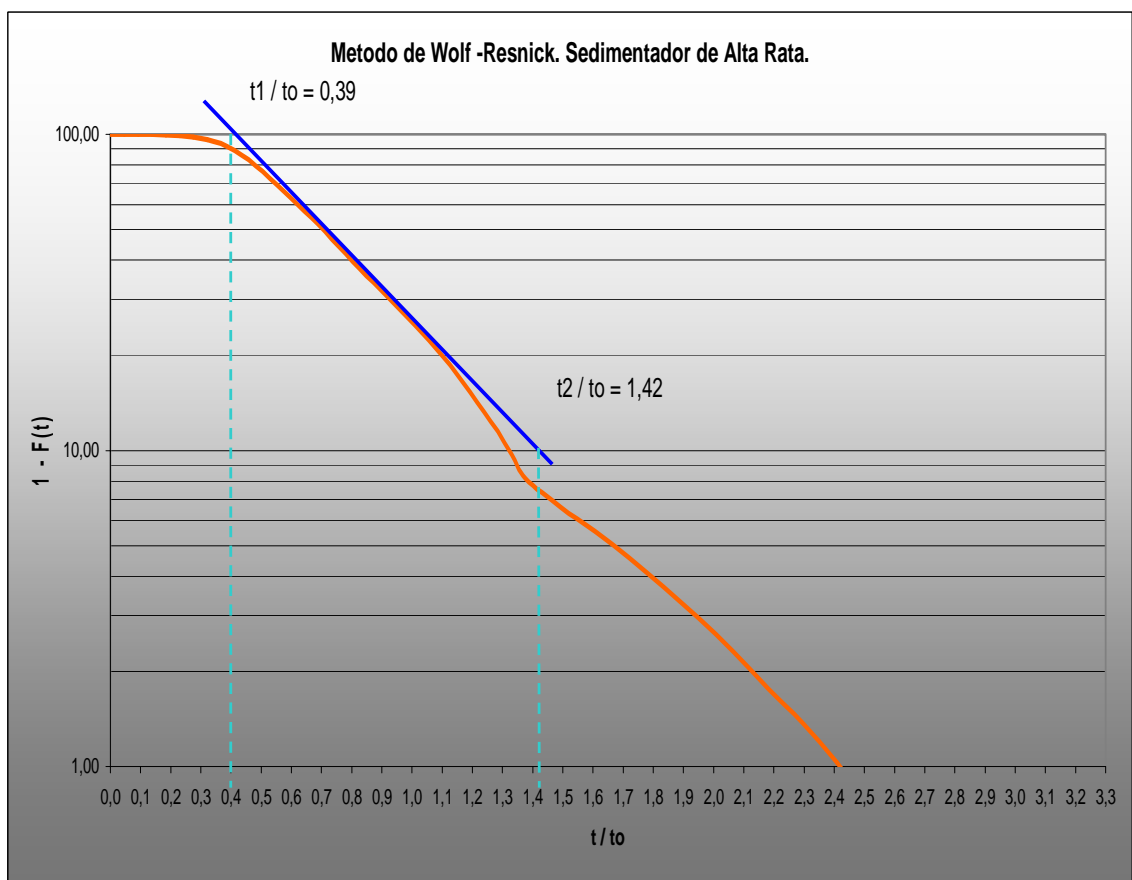
En esta unidad los espacios muertos son de ***m = 16.19 %***.

3.8.2.2.4.3 Determinación del flujo mezclado (M):

$$M = 1 - P = 1 - 0.4653 = 0.5347$$

Se tiene un flujo mezclado del **53.47 %**.

Gráfico 38. Método de Wolf – resnick. Sección Ampliación



3.8.2.2.5 Análisis Siguiendo Procedimientos Convencionales.

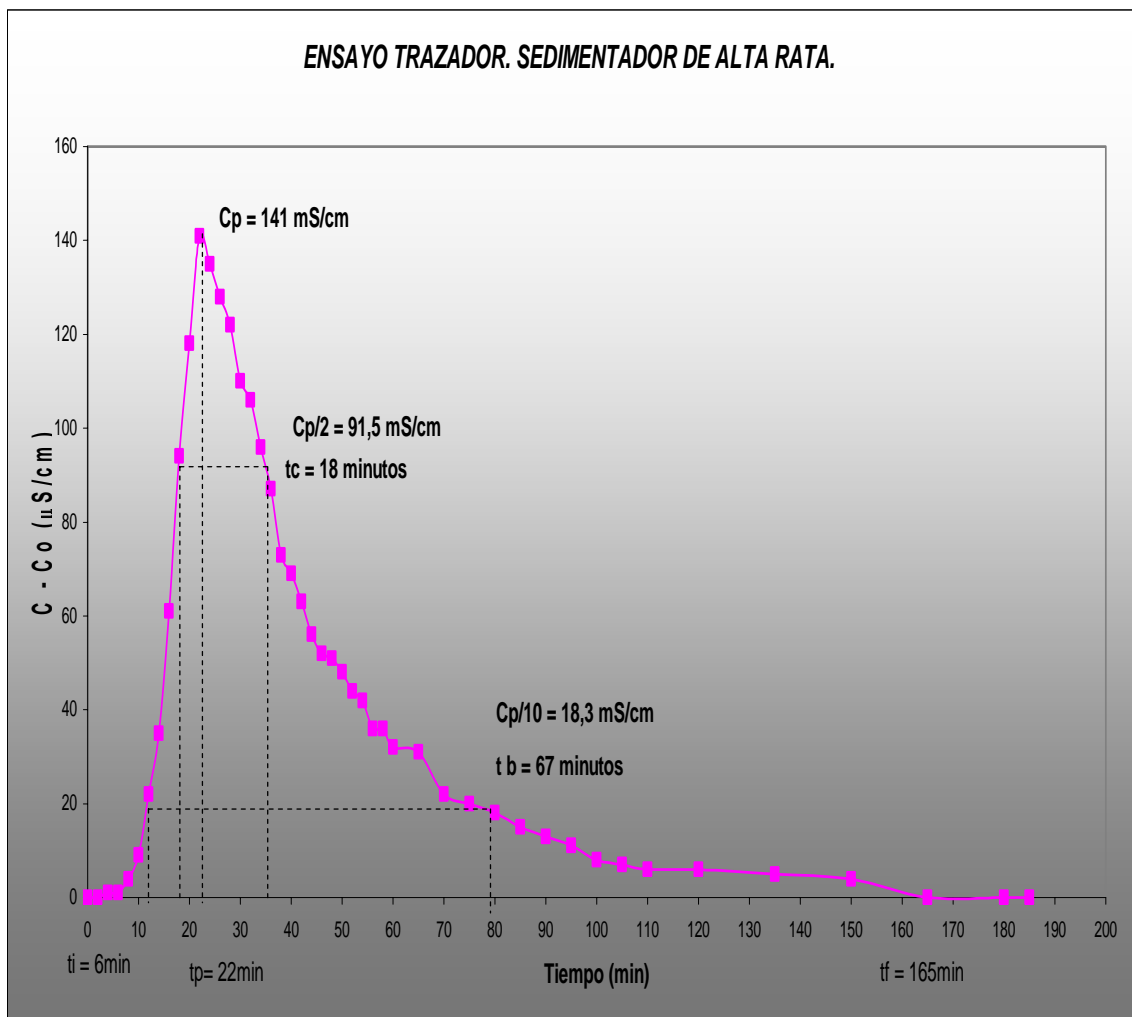
Se elabora el gráfico 39 con las columnas de **tiempo (min)** y **C – Co (μs/cm)**, del cual se determinan los siguientes valores:

Tiempo de aparición del trazador (t1) = 6 minutos.

Tiempo modal (máxima conductividad) = 22 minutos.

Tiempo para que atraviese la totalidad el trazador = 165 minutos.

Grafico 39. Variación de la conductividad del trazador. Sección Ampliación.



Valores auxiliares=

Conductividad Pico = Cp = 141 μ s/cm.

Tiempo de concentración (Tc) = 18 minutos

Tiempo Base (Tb) = 67 minutos.

Tiempo Mediano (tm) = De la tabla 66 se tiene los valores de tiempo t = 30 y 32 minutos para obtener un tiempo mediano $tm = 30.717$ minutos.

3.8.2.2.6 Índice de Morrill.

Se elabora el grafico 43 que relaciona las columnas de **tiempo (min)** y **F (t)** en escala probabilidad – logarítmica

Tiempo en que pasa el 90% (T90) = 58 minutos.

Tiempo en que pasa el 10% (T10) = 17.5 minutos.

$$\text{Índice de Morrill (Im)} = \frac{T90}{T10} = \frac{58}{17.5} = 3.314$$

Índice de Morrill (Im) = 3.314.

3.8.2.2.7 Determinación De Carga Superficial La Real.

$$q = \frac{3.55 \times 100}{30.72 \times 60} \times 864 = 166.4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$$

Esta es la carga superficial real del sedimentador, **q = 166.4 m³/m²/día.**

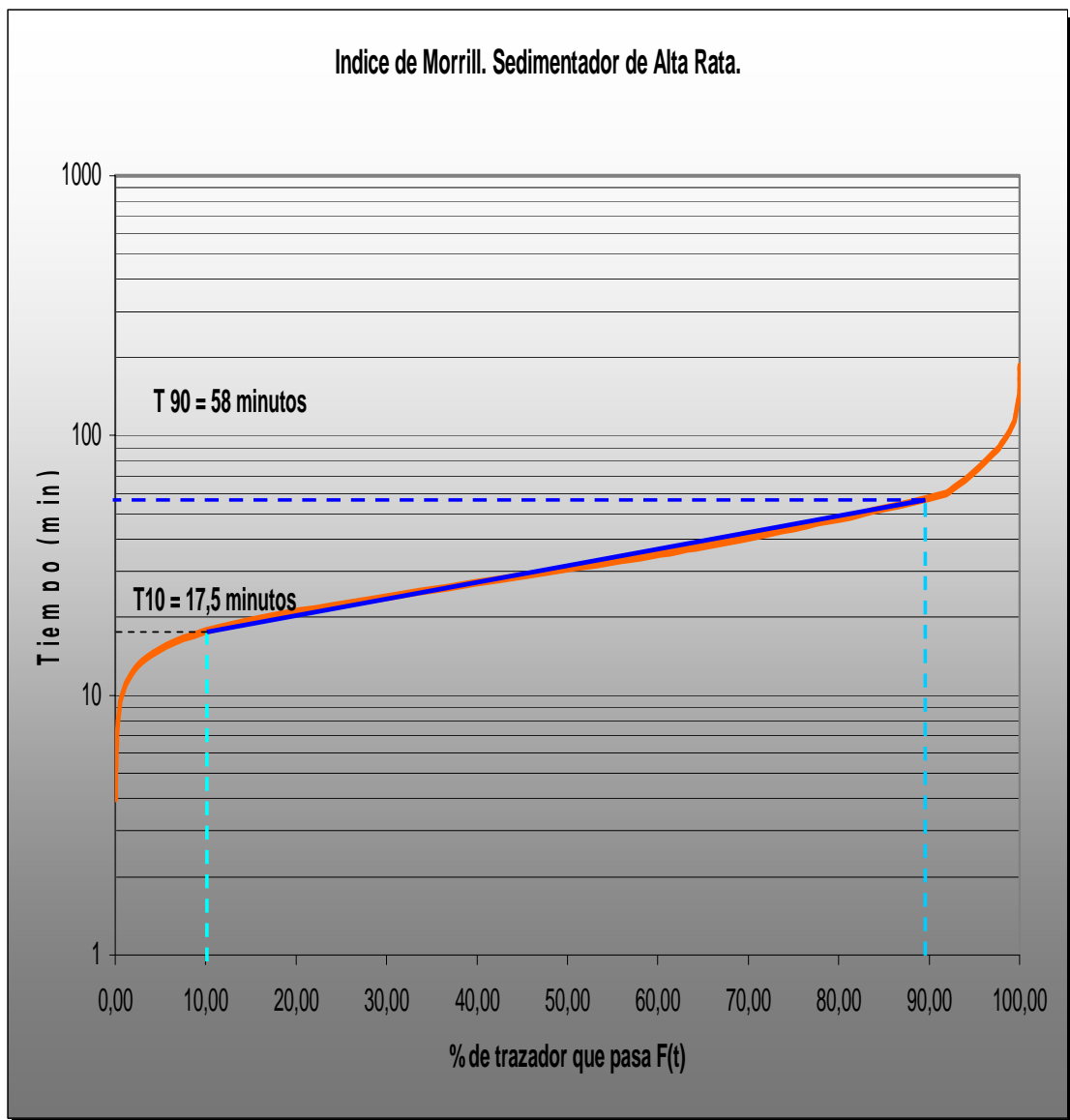
Para el tiempo teórico de retención se tiene:

$$q = \frac{3.55 \times 100}{43.58 \times 60} \times 864 = 117.30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$$

La carga superficial teórica es de $q = 117.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Se observa que la carga superficial real es **1.42** veces la carga superficial teórica para el ensayo de trazadores.

Grafico 40. Índice de Morrill. Sección Ampliación.



3.8.2.3 Diagnostico.

Tabla 67. Resumen de los resultados de la evaluación por el Método Convencional- sedimentador Alta Rata.

<i>CRITERIO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>
$t_1 / t_o = 0.137$	- <i>Presencia de cortocircuitos.</i>
$t_m / t_o = 0.705$	- <i>Presencia de cortocircuitos.</i>
$t_p / t_o = 0.504$	- <i>Predominio de flujo mezclado.</i>
$t_c / t_o = 0.413$ $t_b / t_o = 1.54$	- <i>Presencia de flujo mezclado.</i>
$e = ((t_f - t_p) - (t_p - t_1)) / t_o = 2.915$	- <i>Flujo mezclado: Predominio de flujo mezclado.</i>
$\text{Índice de Morrill (Im)} = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{58}{17.5} = 3.314$	- <i>Presencia de flujo mezclado.</i>

- Hay predominio de flujo mezclado (53.47%) sobre flujo pistón (46.53%), según el CEPIS, los valores para un sedimentador deben estar en flujo pistón de 60% y flujo mezclado de 40%.
- Según el método convencional, este sedimentador tiene un comportamiento de flujo mezclado con alta presencia de cortocircuitos. Un **75.12 %** del total de trazador ha pasado antes del tiempo teórico de retención, esto muestra una gran cantidad de cortocircuitos.

- Presenta un **16.19** % de espacios muertos.
- Este tipo de ensayo no es muy acertado para este tipo de unidad ya que se presentan varias derivaciones a la salida del procedo de sedimentación. Fue útil para observar el comportamiento del trazador a lo largo del tiempo y observar como se distribuye el flujo en el sedimentador por secciones.
- Se presentan gran cantidad de placas quebradas y otras con grandes deflexiones que superan los parámetros de tolerancia para este tipo de estructuras (deflexión de placa < 0.05 m).
- En el topograma se puede observar una distribución de turbiedades uniformes con muy pocas variaciones de turbiedades altas, solo se presentan variaciones visibles en la zona del afluente y hacia la parte final de la unidad.

3.9 FILTRACION

3.9.1. CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE FILTRACION.

3.9.1.1 Velocidad y caudal de filtración.

OBJETIVO: Determinar la velocidad y el caudal de filtración reales de las unidades de filtrado.

METODOLOGIA: se mide el tiempo que tarda el nivel de agua en descender 10 cm en la unidad de filtración sin permitir la entrada de agua por el afluente.

El análisis se realizó a los filtros N° 2, 3, 5 y 6 ya que estos son los filtros de más regularidad en su funcionamiento.

$$\text{Caudal de filtrado: } Q = \frac{Af * 0.1}{t} (m^3 / \text{seg})$$

$$\text{Velocidad de filtrado: } V = \frac{Q(m^3 / \text{seg}) * 86400}{A_L} (m^3 / m^2 * \text{dia})$$

Tabla 68. Velocidades y caudales de filtrado.

FILTRO Nº	Tiempo promedio (seg)	Área del filtro (m²)	h (m)	Caudal de filtrado (L/seg)	Velocidad de filtración (m³/m² / día)	Caudal leído en la consola (L/seg)
2	22.54	21.175	0.10	93,9	268.2	120
3	49.54	30.25	0.10	61,06	174.404	120
5	35.48	34.02	0.10	99,26	251.95	100
6	35.48	34.02	0.10	95.87	243.49	100

- Los caudales obtenidos para los filtros son mucho menores a los caudales mostrados por las consolas de control de caudal de filtración, con lo que se puede apreciar una mala calibración en los instrumentos de medición en el proceso de filtrado de los filtros.
- Los valores de velocidad y de caudal de filtración son muy variables debido a que las tasas de filtración se están variando ocasionalmente dependiendo del estado de mantenimiento de cada uno.
- Se observa que la tasa de filtración de la planta se encuentra sobre los límites propuestos por el CEPIS de 120 – 240 m³/m²/día. Y de todos ellos el filtro Nº 2 presenta la mayor velocidad debido a que fue cambiado hace poco tiempo.

3.9.1.2 Pérdida de Carga.

OBJETIVO: Determinar la pérdida de carga de los filtros para caracterizar el comportamiento del mismo.

METODOLOGIA: Se instalan dos miras graduadas, una en la caja del filtro y otra en el efluente de agua filtrada. Se nivelan las dos miras para hacer coincidir el

cero con el punto máximo de pérdida de carga en el filtro. Se hacen lecturas de los niveles cada hora luego del lavado y durante toda la carrera de filtración.

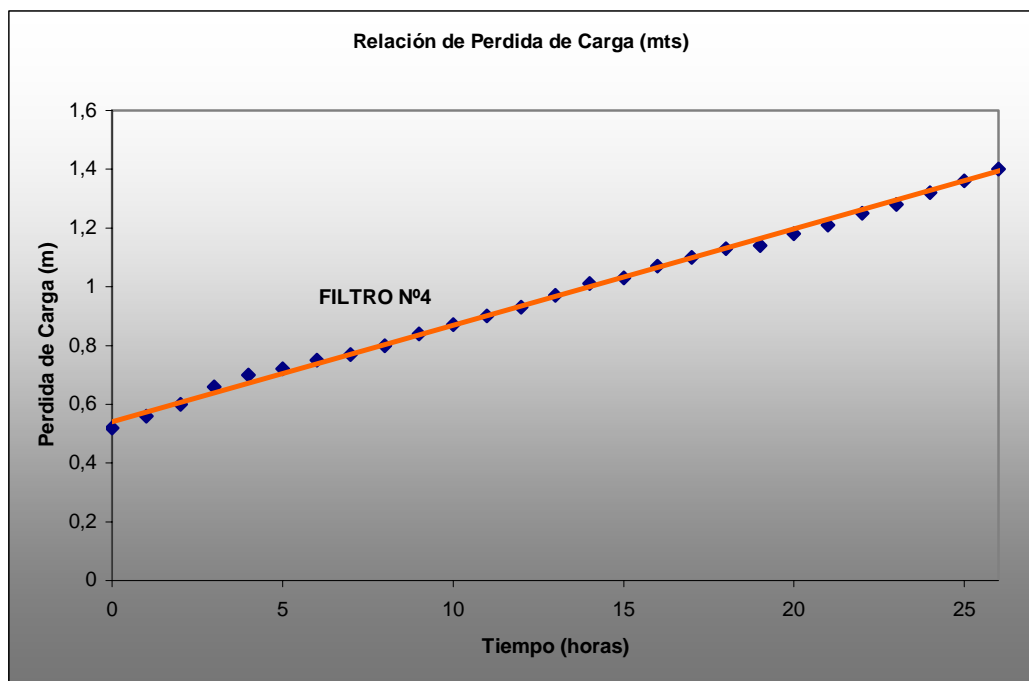
Se evalúa la pérdida de carga medida por piezómetros en el filtro N° 3 y el N° 6, y se grafican los valores de la pérdida de carga en función del tiempo.

Tabla N° 69. Relación de Pérdida de carga y turbiedad en el efluente para el filtro N° 3

Duración de la carrera (hrs)	Pérdida de carga (mts) piezómetro	Turbiedad (NTU)	
		Afluente	Efluente
0	0.52	3	0.5
1	0.56	2.8	0.55
2	0.6	2.8	0.62
3	0.66	2.8	0.65
4	0.7	2.8	0.68
5	0.72	2.7	0.71
6	0.75	2.5	0.75
7	0.77	2.5	0.8
8	0.8	2.3	0.82
9	0.84	2.3	0.82
10	0.87	2.3	0.82
11	0.9	2	0.9
12	0.93	2	0.9
13	0.97	2	0.9
14	1.01	2	0.95
15	1.03	2	0.95
16	1.07	2	0.95
		Continua...	

.....Viene			
17	1.1	2	0.9
18	1.13	2	0.9
19	1.14	2	0.9
20	1.18	2	0.9
21	1.21	2.3	0.9
22	1.25	2.3	0.9
23	1.28	2.3	0.9
24	1.32	2.3	0.9
25	1.36	2.7	1.5
26	1.4	2.7	1.5
27	1.45	2.7	1.5
28	1.5	2.7	1.5

**Grafico 41. Relación entre pérdida de carga y tiempo de carrera de filtración.
Filtro Nº 4.**



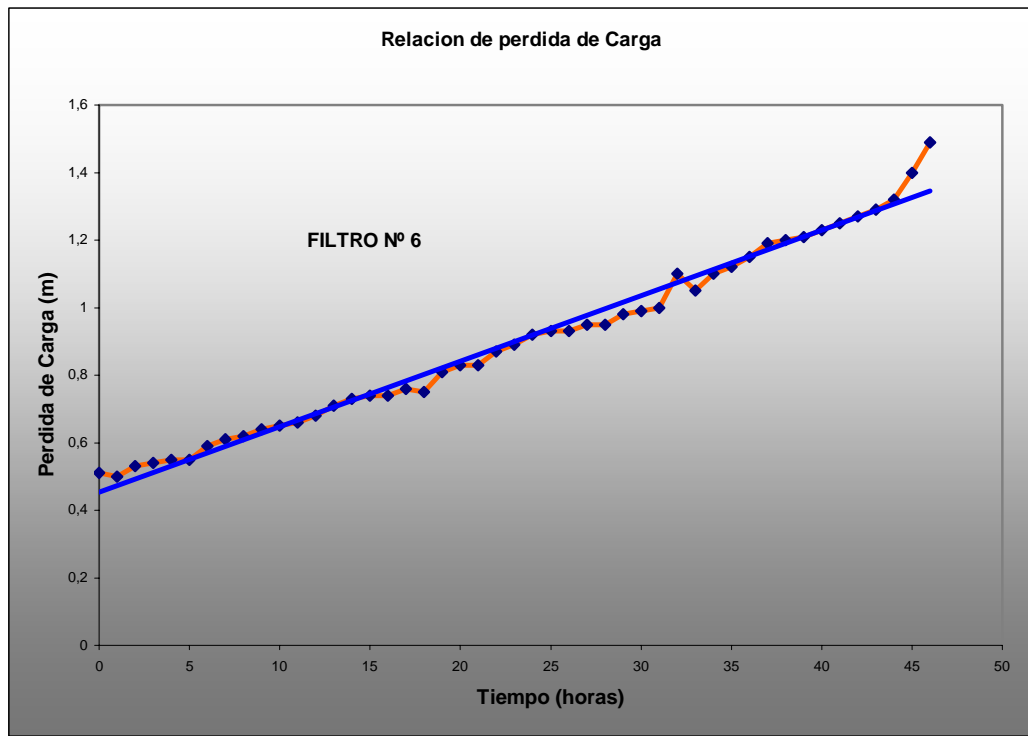
- Al analizar la curva de perdida de carga y al compararla con las rectas de referencia (CEPIS), se deduce que el floc es relativamente débil y que hay entradas considerables de flocs dentro del medio filtrante.(CEPIS)

Tabla N° 70. Relación de Perdida de carga y turbiedad en el efluente para el filtro N° 6

Duración de la carrera	Perdida de carga (mts)		Turbiedad (NTU)	
	(hrs)	piezómetro	equipo	Afluente
0	0.51	0.5	1.4	0.45
1	0.5	0.5	1.4	0.45
2	0.53	0.5	1.4	0.4
3	0.54	0.55	1.3	0.5
4	0.55	0.55	1.3	0.5
5	0.55	0.55	1.3	0.5
6	0.59	0.65	1.4	0.55
7	0.61	0.65	1.4	0.58
8	0.62	0.65	1.6	0.6
9	0.64	0.65	1.7	0.62
10	0.65	0.65	1.8	0.65
11	0.66	0.65	1.9	0.66
12	0.68	0.7	2	0.7
13	0.71	0.7	2	0.71
14	0.73	0.8	1.8	0.8
15	0.74	0.8	1.8	0.9
16	0.74	0.8	1.8	0.9
17	0.76	0.8	1.8	0.8
18	0.75	0.8	1.8	0.8
			Continua.....	

.....viene				
19	0.81	0.8	1.5	0.9
20	0.83	0.85	1.5	0.9
21	0.83	0.85	1.5	0.9
22	0.87	0.9	1.5	0.9
23	0.89	0.9	1.5	0.9
24	0.92	0.95	1.5	1
25	0.93	0.95	1.5	1
26	0.93	0.95	1.5	1
27	0.95	0.95	1.5	1
28	0.95	1	1.5	1
29	0.98	1	1.5	1
30	0.99	1	1.6	1.06
31	1	1	1.6	1.06
32	1.1	1	1.7	1.06
33	1.05	1	1.8	1.07
34	1.1	1	1.8	1.07
35	1.12	1	1.9	1.07
36	1.15	1	1.9	1.08
37	1.19	1	2	1.1
38	1.2	1.2	2	1
39	1.21	1.2	2	1
40	1.23	1.2	1.8	1
41	1.25	1.2	1.5	1
42	1.27	1.2	1.6	1
43	1.29	1.2	1.5	1
44	1.32	1.3	1.3	1
45	1.4	1.4	1.5	1
46	1.49	1.5	1.6	1.1

**Grafico 42. Relación entre pérdida de carga y tiempo de carrera de filtración.
Filtro N° 6**



- Las rápidas variaciones en curva de perdida de carga muestra perturbaciones en el flujo, lo que ocasiona el traspaso de material depositado en el lecho.
- La forma de la curva proviene, según el CEPIS de un floc relativamente débil y que hay entradas considerables de flocs dentro del medio filtrante.

3.9.1.3 Número de Mintz.

OBJETIVO: Determinar los tiempos en los cuales se cumplen las condiciones críticas de funcionamiento de las unidades de filtración.

METODOLOGIA: Se toman, además de los valores de pérdida de carga, los valores de turbiedad para la carrera de filtración completa cada hora y se realiza una relación entre los valores de tiempo para la máxima pérdida de carga y el parámetro crítico de turbiedad.

De la tabla de perdidas, se relacionan los valores de turbiedad del efluente con los valores de pérdida de carga durante la carrera. El Número de Mintz se determina por los siguientes tiempos:

- Para el filtro N° 3
 - T1: tiempo en que se alcanza la máxima pérdida de carga: **28 horas.**
 - T2: tiempo en que se obtienen las condiciones limites de calidad de agua: **37 horas.**

El límite de turbiedad empleado fue de **3,0 U.N.T.** que es el parámetro interno del acueducto.

Número de Mintz = $T1/T2 = 28 / 37 = 0.756$

- Para el Filtro N° 6
 - T1: tiempo en que se alcanza la máxima pérdida de carga: **46 horas.**
 - T2: tiempo en que se obtienen las condiciones limites de calidad de agua: **58 horas.**

El límite de turbiedad empleado fue de **2,0 U.N.T.**

Número de Mintz = $T1/T2 = 46 / 58 = 0.793$

Gráfico 43. Determinación del número de Mintz. Filtro N° 4.

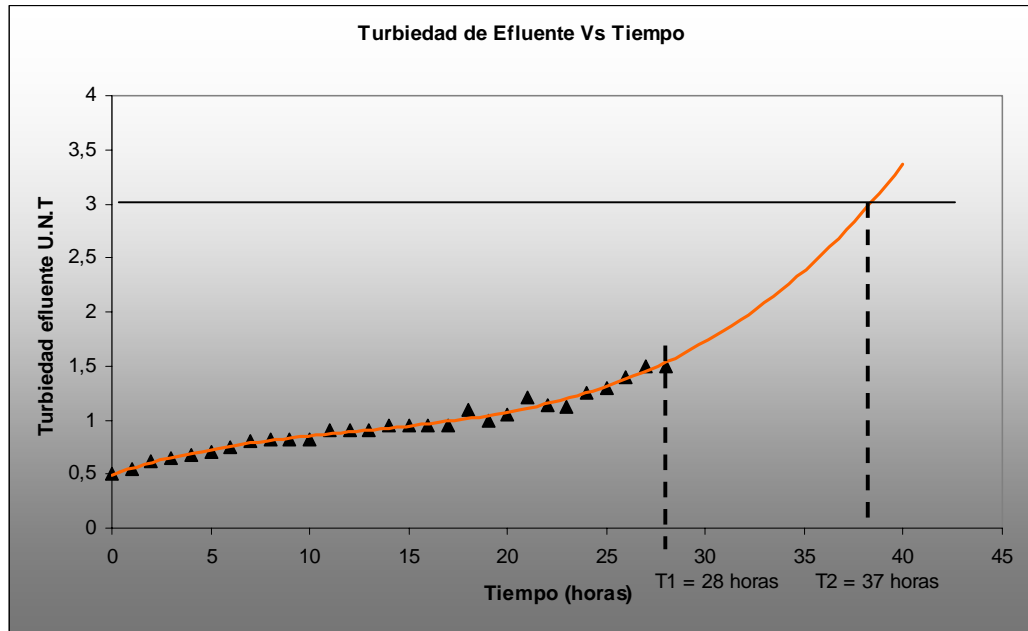
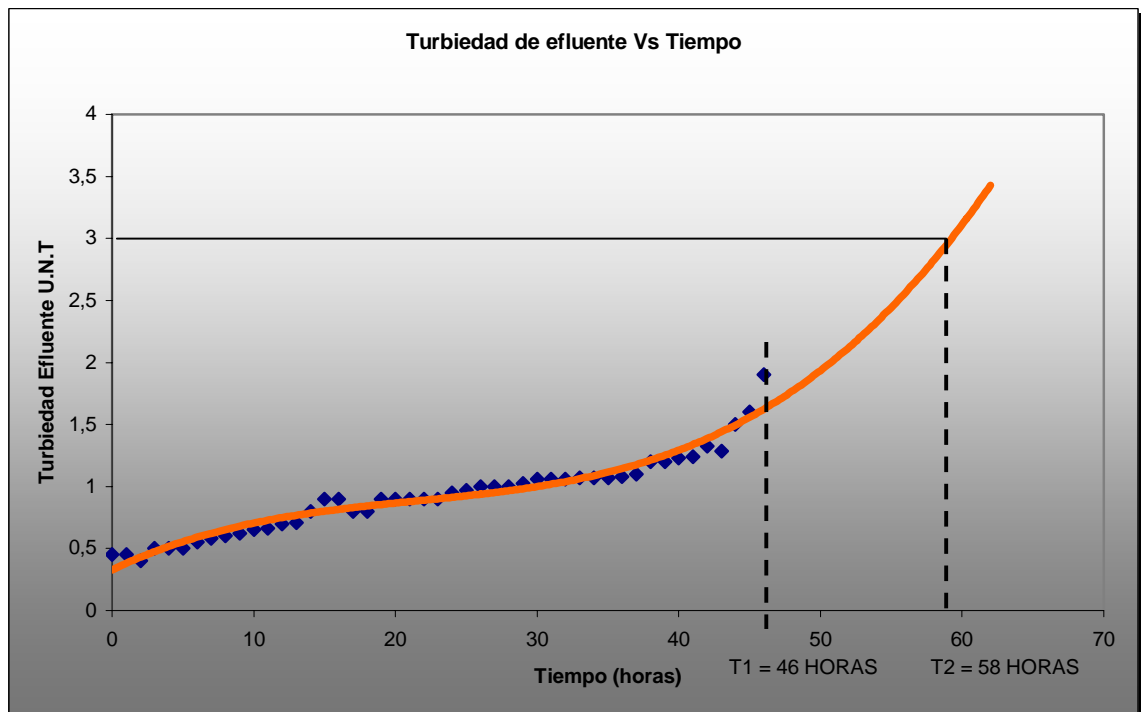


Gráfico 44. Determinación del número de Mintz. Filtro N° 6.



- Se tiene que el T1 (tiempo de turbiedad límite) es menor que el T2 (tiempo de pérdida de carga máxima), lo que indica que se pueden estar presentando los siguientes problemas, tanto para el filtro N° 4 como para el N°6:

- Dosis muy baja de coagulante.
- Necesidad de incrementar la altura del lecho filtrante.
- Uso de arena muy fina.

Esto muestra que cuando se alcanza la máxima pérdida de carga, la calidad del agua filtrada empieza a desmejorar.

3.9.1.4 Calidad del filtrado inicial.

OBJETIVO: Observar el comportamiento del filtro al inicio de la carrera de filtración y determinar el tiempo que tarda en alcanzar la turbiedad normal.

METODOLOGIA: Se toman muestras del efluente luego de terminado el proceso de retrolavado durante 15 minutos y se analizan las turbiedades de las respectivas muestras.

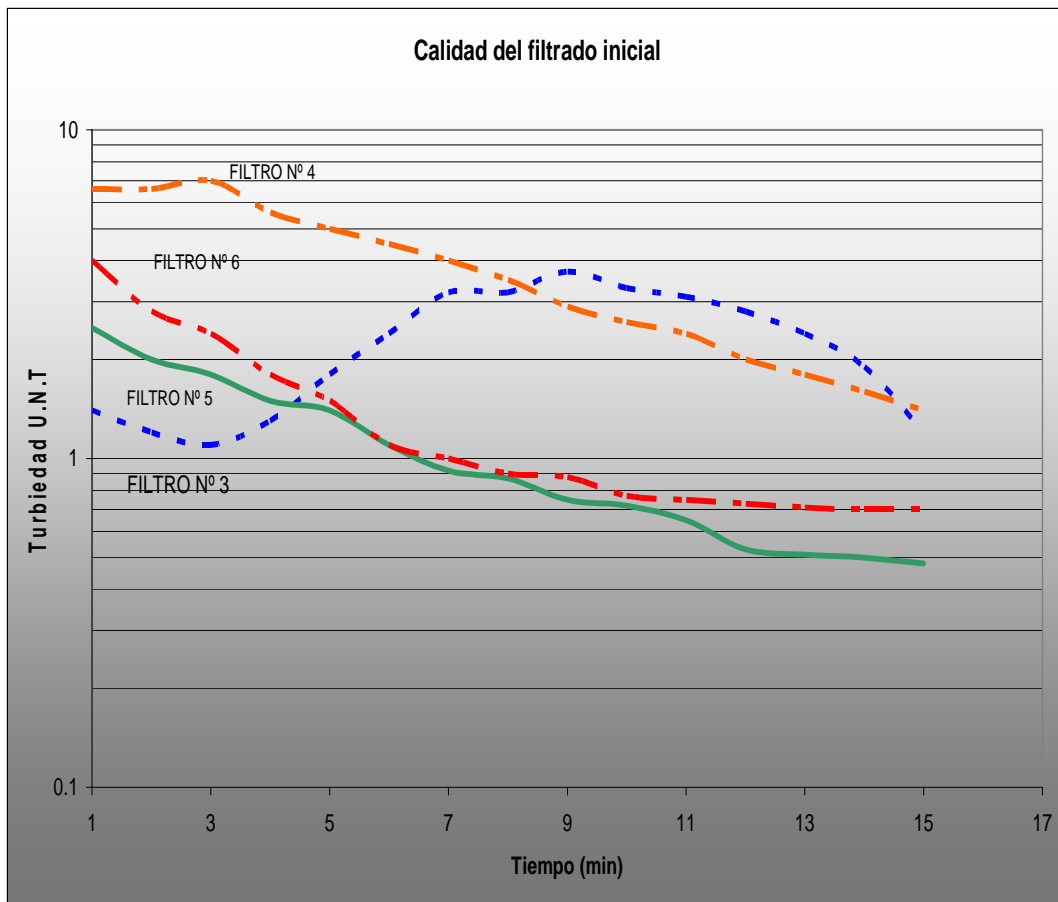
Se sigue el proceso de filtrado luego del proceso de lavado tomando las turbiedades durante un tiempo corto al inicio de la carrera de filtración.

Tabla 71. Turbiedad inicial de la primera agua filtrada.

	FILTRO N° 3	FILTRO N°4	FILTRO N°5	FILTRO N°6
Tiempo (min)	Turbiedad U.N.T	Turbiedad U.N.T	Turbiedad U.N.T	Turbiedad U.N.T
1	1.4	6.6	2.5	4.0
2	1.2	6.6	2.0	2.8
3	1.1	7.0	1.8	2.4
4	1.3	5.6	1.5	1.8
			Continua.....	

.... viene				
5	1.8	5.0	1.4	1.5
6	2.4	4.5	1.1	1.1
7	3.2	4.0	0.92	1.0
8	3.2	3.5	0.87	0.9
9	3.7	2.9	0.75	0.88
10	3.3	2.6	0.72	0.77
11	3.1	2.4	0.65	0.75
12	2.8	2.0	0.53	0.73
13	2.4	1.8	0.51	0.71
14	1.9	1.6	0.5	0.70
15	1.2	1.4	0.48	0.70

Grafico 45. Calidad del Filtrado inicial.



- En el filtro N° 4 se observa que la turbiedad del agua al inicio de la carrera de filtración es alta, debido muy probablemente a un mal proceso de lavado (falta tiempo de lavado).
- En el filtro N° 3 también se presenta una falla en el lavado del filtro ya que se presentan valores de turbiedad inicial por encima de los parámetros internos del acueducto (Turbiedad mínima de agua filtrada: **3,0 U.N.T**).
- Los filtros N° 5 y 6 presentan un mejor comportamiento en el proceso de lavado ya que los valores de turbiedad inicial son mucho menores que los de la sección antigua.

3.9.2 Eficiencia del proceso.

3.9.2.1 Calidad de agua filtrada.

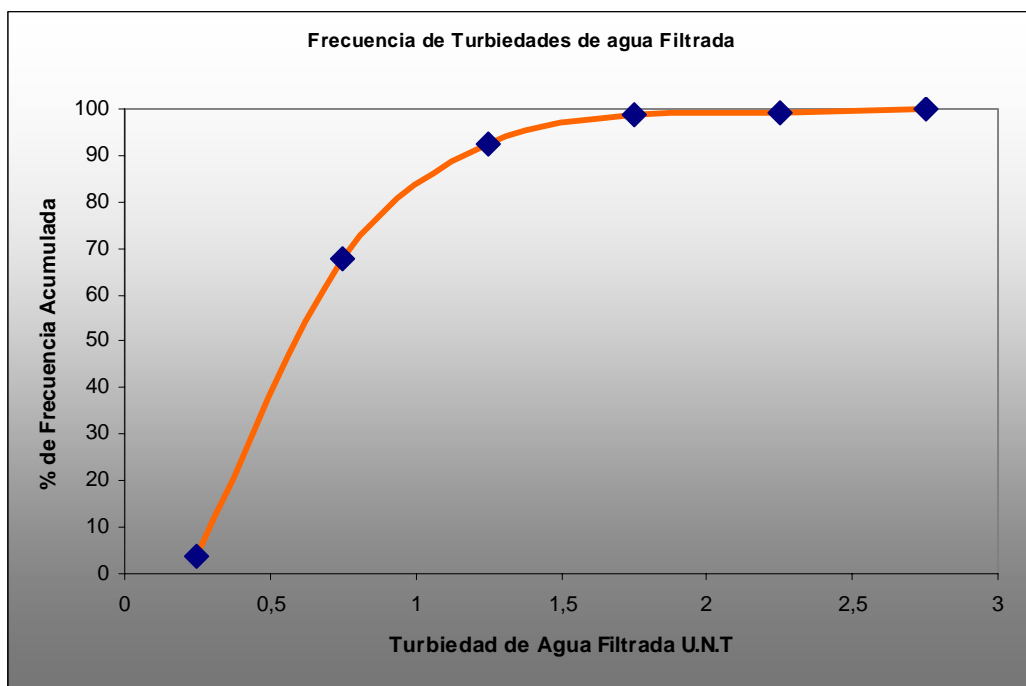
OBJETIVO: Determinar el porcentaje de tiempo en que la calidad de agua filtrada se encuentre entre los límites establecidos por las normas.

METODOLOGIA: Se realiza un estudio de frecuencia a un grupo de registro de datos de por lo menos un año.

Tabla 72. Datos de frecuencia acumulada para turbiedad de agua filtrada.

Turbiedad	Datos	Frecuencia Parcial	% Frecuencia Acumulada
0-0.49	11	3.87	3.87
.5-0.99	181	63.73	67.61
1-1.49	71	25.00	92.61
1.5-1.99	17	5.99	98.59
2-2.49	2	0.70	99.30
2.5-3	2	0.70	100.00
Total	284	100	

Gráfico 47. Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el agua filtrada



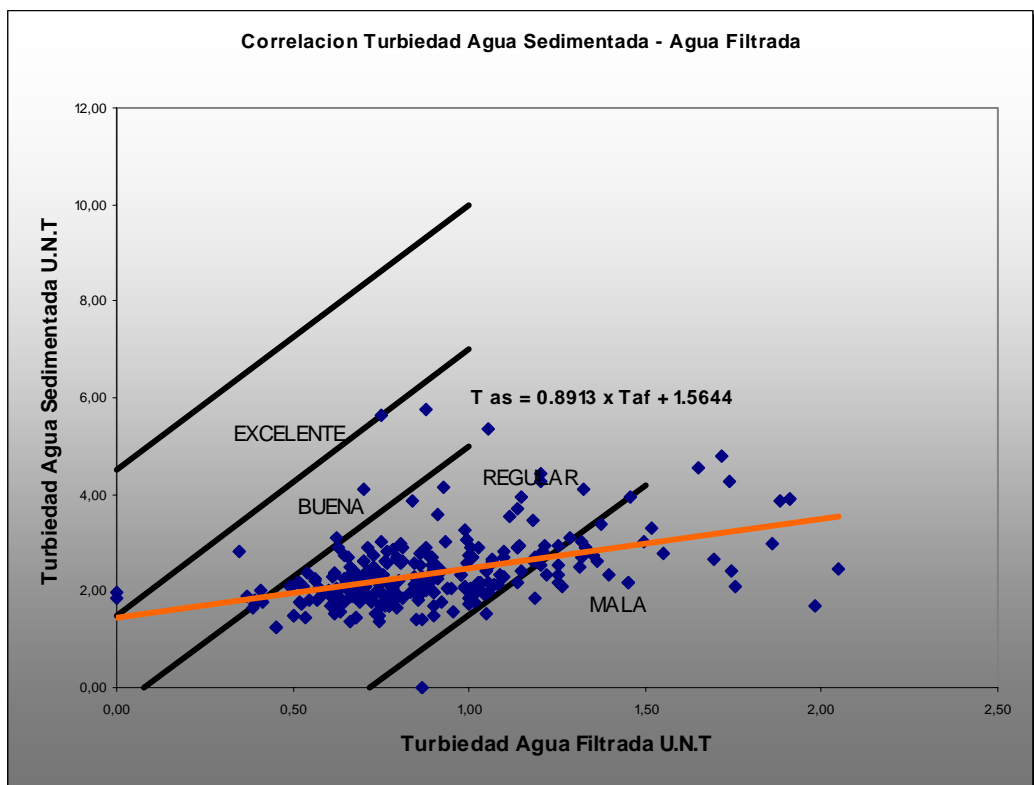
- De la grafica se puede observar que se están cumpliendo tanto los parámetros generales de turbiedad admisible, como los parámetros internos de calidad de agua filtrada en un 100 % del tiempo.

3.9.2.2 Correlación Turbiedad de agua sedimentada – turbiedad de agua filtrada.

OBJETIVO: Determinar la capacidad de reducción de turbiedad de los filtros y su eficiencia con patrones internacionales.

METODOLOGIA: Se grafican las turbiedades de agua Sedimentada Vs Turbiedades de Agua Filtrado y se establece la ecuación de correlación.

Gráfico 48. Criterio de eficiencia de Filtros rápidos en condiciones normales.



Se obtiene la ecuación de correlación:

$$T_{as} = 0.8913 \times T_{af} + 1.5644$$

Donde: T_{as} = Turbiedad de agua sedimentada.

T_{af} = Turbiedad de agua filtrada.

- De la anterior grafica se aprecia que la unidad de filtración tiene regular capacidad de reducción de turbiedad en el filtro comparada con los estándares de plantas mas desarrolladas.
- De la ecuación obtenida de la correlación vemos que para obtener turbiedades menores a **1 U.N.T.** es necesario que la turbiedad de agua sedimentada sea mínimo de **2.45 U.N.T.** Para obtener turbiedades menores a **3 U.N.T.** se requiere una turbiedad de agua sedimentada menor a **4.24 U.N.T.**
- Los valores máximo y promedio de turbiedad de agua sedimentada no son tan críticos, lo que no afecta demasiado el proceso de filtración.

3.9.2 CARACTERISTICAS DEL LECHO FILTRANTE.

3.9.2.1 GRANULOMETRIA DEL MEDIO FILTRANTE.

OBJETIVO: Determinar el tamaño de los granos que componen una muestra tomada del lecho filtrante.

METODOLOGIA: Se toman muestras del lecho filtrante de cada filtro, se secan y se tamizan para determinar los diferentes tamaños de grano y porcentaje en peso.

El tamizado se realiza por tamices estándar del N° 4 al N° 200.

Los resultados se comparan con los siguientes parámetros:

Tamaño efectivo = 0.4 a 0.5 mm. para la arena.

0.9 a 1.1 mm para la antracita

Coefficiente de uniformidad = menor de 1.65 para arena

menor de 1.4 para la antracita.

Gráfico 49. Granulometría del lecho filtrante.

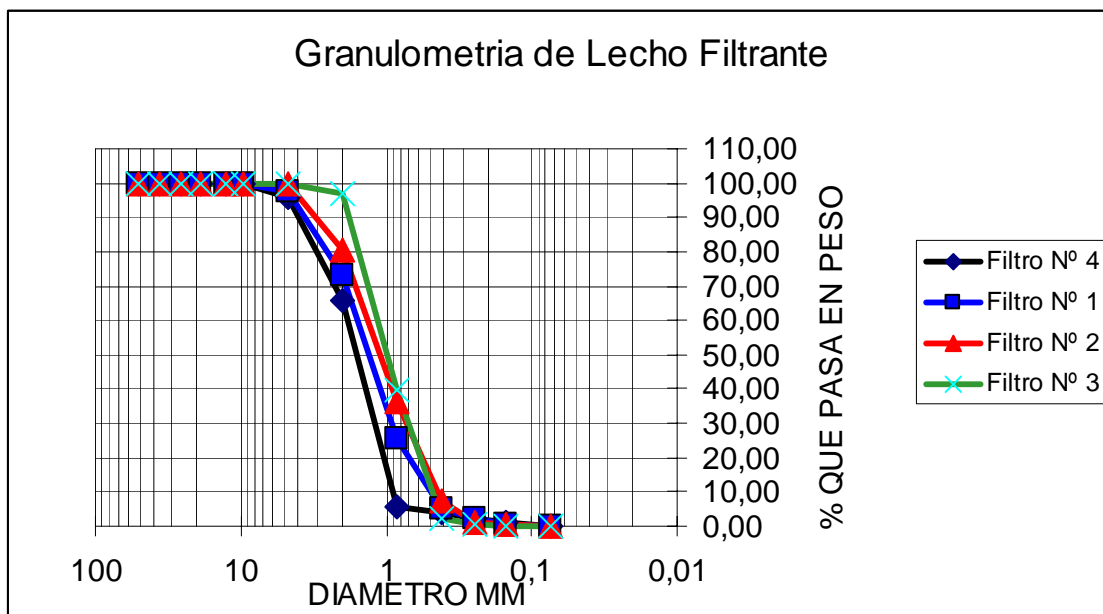


Tabla 73. Granulometría del lecho filtrante.

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	Kg	%	%
<i>FILTRO N° 4</i>				
No 4	4.75	0.0085	4.04	95.96
10	2	0.0635	30.03	65.93
20	0.84	0.1272	60.22	5.71
40	0.42	0.0039	1.86	3.85
			Continua.....	

.....viene				
60	0.25	0.0029	1.35	2.50
100	0.149	0.0026	1.24	1.26
200	0.074	0.0026	1.23	0.03
PASA 200	*****	0.0001	-	-
FILTRO N° 1				
No 4	4.75	5.80	2.33	97.67
10	2	0.0614	24.64	73.03
20	0.84	0.1190	47.75	25.28
40	0.42	0.0508	20.39	4.90
60	0.25	0.0067	2.67	2.23
100	0.149	0.0038	1.52	0.70
200	0.074	0.0014	0.56	0.14
PASA 200	*****	0.0004	-	-
FILTRO N° 2				
10	2	0.0411	19.56	80.44
20	0.84	0.0923	43.93	36.51
40	0.42	0.0613	29.18	7.33
60	0.25	0.0127	6.02	1.31
100	0.149	0.0015	0.71	0.59
200	0.074	0.0010	0.48	0.12
PASA 200	*****	0.0003	-	-
FILTRO N° 3				
10	2	0.0056	2.85	97.15
20	0.84	0.1121	57.22	39.93
40	0.42	0.0740	37.79	2.14
60	0.25	0.0033	1.67	0.46
100	0.149	0.0004	0.20	0.26
200	0.074	0.0003	0.16	0.10
PASA 200	*****	0.0002	-	-

Tabla 74. Diámetros efectivos (D10) y Coeficientes de Uniformidad (Cu)

<i>Filtro N°</i>	<i>D60 (mm)</i>	<i>D10 (mm)</i>	<i>Coefficiente de Uniformidad</i>
1	1.70	0.51	3.33
2	1.40	0.45	3.11
3	1.25	0.48	2.60
4	1.60	0.51	3.14

- En el análisis de la granulometría del lecho filtrante, el diámetro efectivo de la arena y la antracita presenta un promedio de 0.49 mm, lo que muestra un tipo de filtro con un lecho de gradación fina. Esto implica que la pérdida de carga en el filtro sea mayor.
- El coeficiente de uniformidad es tan grande debido a la presencia de material muy mal gradado, ya que en el lecho se encuentran mezclados los componentes de antracita y arena, lo que dificultó su análisis por separado.

3.9.2.2 BOLAS DE BARRO

OBJETIVO: Determina el contenido de barro existente en el lecho filtrante.

METODOLOGIA: Se toman muestras de material del lecho filtrante, se secan, se pesan y luego se lavan quitándoles el exceso de barro, para determinar el porcentaje de barro que contenía inicialmente la muestra.

Tabla 75. Porcentaje de bolas de Barro.

FILTRO Nº	VOLUMEN		% DE BARRO	CONDICIONES DEL LECHO
	Peso de Muestra (g)	Peso de Barro (g)		
1	267.21	18.01	6.74	MALO
2	210.8	3.69	1.75	REGULAR – MALO
3	200.7	6.21	3.094	MALO
4	211.27	8.662	4.1	MALO

- Los resultados muestran el estado actual de los lechos filtrantes. Se puede observar un mal estado de los lechos filtrantes por la excesiva presencia de barro en las unidades debido al mal proceso de lavado.
- La presencia de más del 5% de contenido de barro en el medio filtrante indica que se debe realizar la reconstrucción del lecho o aplicar un tratamiento.

3.9.3 PROCESO DE LAVADO

3.9.3.1 Caudal y velocidad de lavado.

OBETIVO: Determinar las velocidades y los caudales de lavado de los filtros.

METODOLOGIA: Se ubica una mira graduada en la caja del filtro, se cierran las compuertas del afluente y del efluente cuando el nivel de agua en el filtro halla alcanzado el nivel de las canaletas de conducción de agua, luego de iniciado el

proceso de lavado se toma el tiempo que tarda en subir el nivel de agua una determinada altura.

Tabla 76. Caudales y velocidades de lavado.

<i>FILTRO Nº</i>	<i>Tiempo promedio (seg)</i>	<i>Área del filtro (m²)</i>	<i>h (m)</i>	<i>Caudal de lavado (L/seg)</i>	<i>Velocidad de lavado (m/min)</i>
5	6.17	34.02	0.10	551.37	0.972
2	18	30.25	0.10	350	0.694
4	7.43	30.25	0.1	407.13	0.807

- En la prueba se obtuvieron velocidades de lavado entre 0.8 y 1.0 m/min, valores que exceden el valor de velocidad de lavado recomendado por el CEPIS de 0.6 – 0.8 m/min.
- El filtro con mayor velocidad de lavado es el filtro N° 5. este factor es importante ya que a estas velocidades se generan expansiones del lecho muy grandes.
- El caudal de lavado y la velocidad en el filtro N° 2 es mas controlado ya que fue reconstruido recientemente.

3.9.3.2 Proceso de Lavado.

OBJETIVO: Determinar la turbiedad del agua lavada durante el proceso para encontrar el tiempo optimo de duración de la operación.

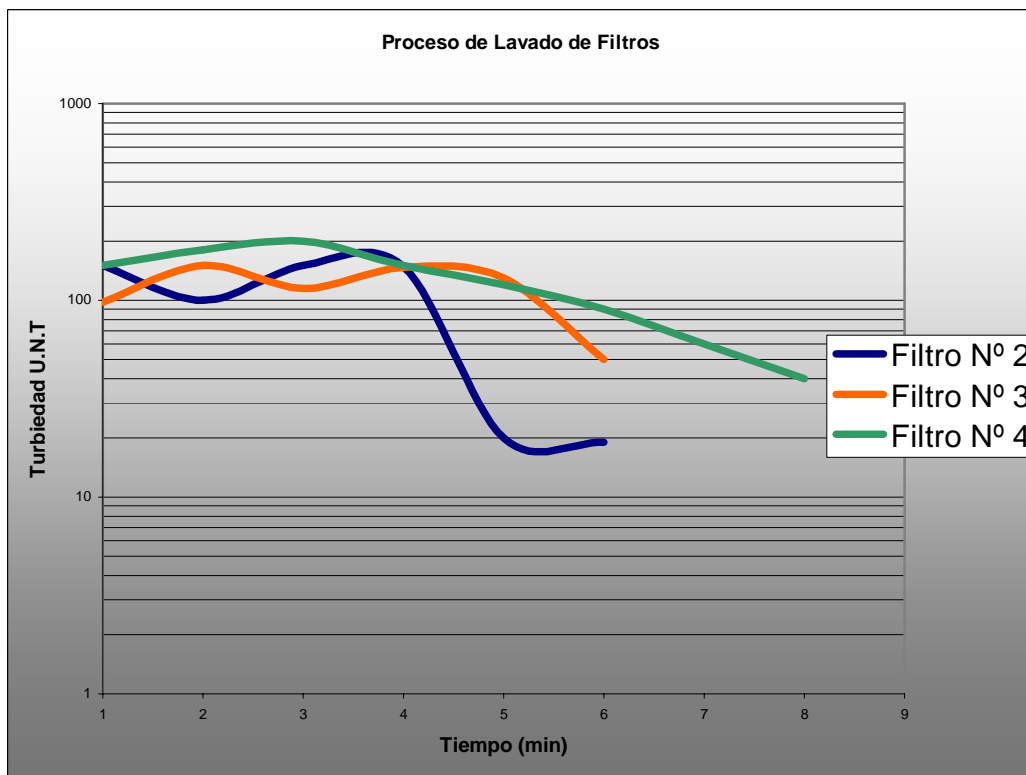
METODOLOGIA: Se toman muestras de agua durante el tiempo de lavado determinando la turbiedad de las muestras y se grafican los valores de turbiedad contra tiempo de lavado.

Tabla 77. Turbiedad de agua de lavado durante el tiempo de lavado.

Turbiedades (U.N.T)

FILTRO Nº	TIEMPO (min)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	150	100	150	148	20	19	-	-
3	98	150	115	147	130	50	-	-
4	150	180	200	150	120	90	60	40

Grafico 50. Proceso de lavado de los filtros.



- Se observa de la prueba anterior que el tiempo de lavado empleado en la planta para los filtros no es el adecuado, ya que luego de los 6 primeros minutos de lavado no desciende la turbiedad por debajo de los niveles de turbiedad para el funcionamiento optimo de los filtros (**10 U.N.T**), factor que se observa en la prueba de bolas de barro.
- En el proceso de lavado se puede observar que las turbiedades de lavado no disminuyen lo suficientemente rápido, lo que muestra problemas en la velocidad y en el caudal de lavado.
- El caudal de lavado no esta bien distribuido en el intervalo de duración del proceso de lavado.
- De la grafica se puede suponer un tiempo de lavado optimo de 12 minutos.

3.9.3.3 Expansión del lecho filtrante.

OBJETIVO: Determinar el porcentaje de aumento del espesor del lecho filtrante durante la operación de lavado.

METODOLOGIA: Con una varilla diseñada para medir la altura de expansión del lecho se toman mediciones de expansión durante el proceso de lavado del filtro.

El porcentaje de expansión se determina de la siguiente forma:

$$\% \text{expansion} = \frac{\Delta h}{h} * 100$$

Tabla 78. Expansión del lecho filtrante.

Filtro N°	Altura del lecho (m)	Altura de expansión (m)	% de expansión
2	0.70	0.90	128.6
4	0.70	1.40	200
5	0.70	1.60	228.58

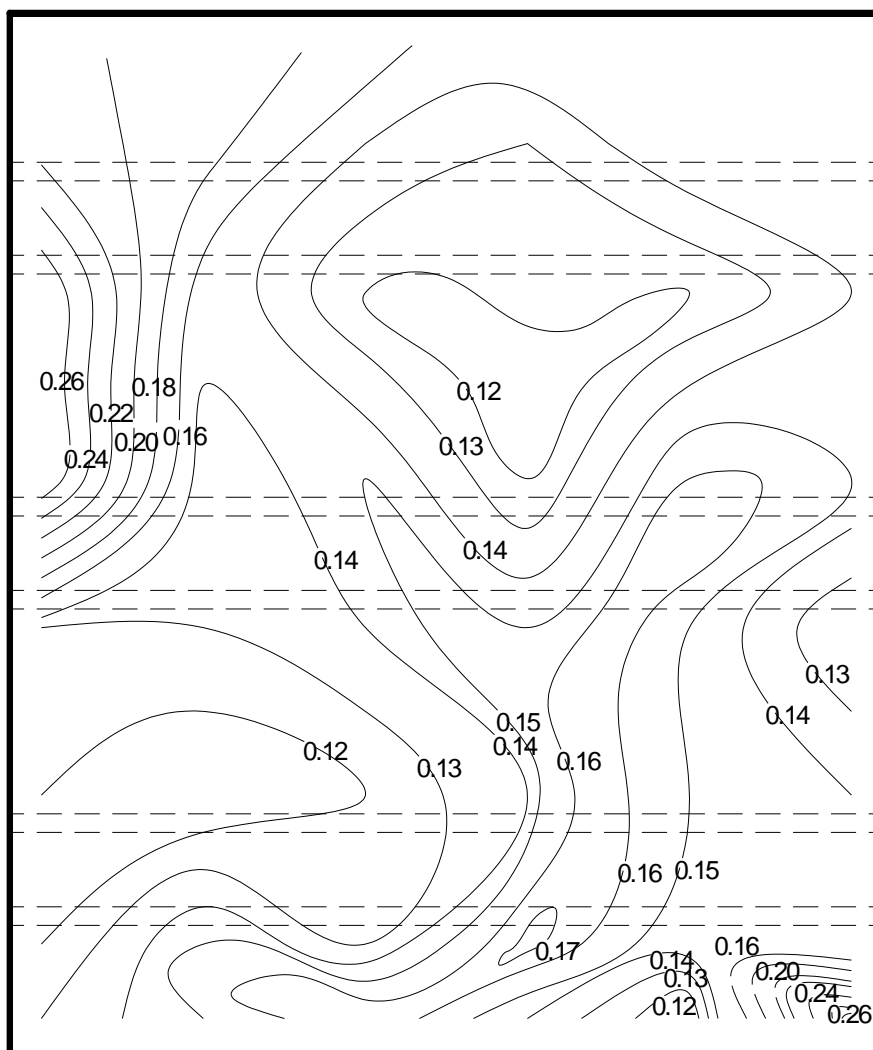
- Las expansiones encontradas en los filtros superan enormemente los parámetros establecidos por el CEPIS de expansión del 15 al 25 %.
- Las anteriores expansiones implican una perdida de material filtrante en el momento del lavado.
- Estas expansiones conllevan a un mal lavado de los filtros, debido a que en estos rangos no se presenta la suficiente fricción entre las partículas que forman el lecho.

3.9.4 Lecho de grava

OBJETIVO: Determinar la magnitud de los movimientos del lecho de grava.

METODOLOGIA: En un esquema de los filtros se ubican diferentes puntos en toda el área del filtro. En cada uno de ellos se determina la profundidad del lecho desde una altura en el nivel de agua de 10 cms y se miden las curvas de nivel del lecho de grava por la diferencia de alturas con el fondo.

Grafico 51. Curvas de nivel del lecho de grava.



- Se han obtenido diferencias de nivel mayores a 5 cms como esta definido por el CEPIS para las diferencias de nivel, con una diferencia máxima de **14 cms** entre la cota mayor y la mas baja.
- Se observan puntos dentro del filtro con espesores de grava de 12 cms, lo que muestra una perdida de material debido a fallas en el fondo de la unidad que están permitiendo la fuga de grava, también puede ser debido a los excesos en la velocidad de lavado.

- La topografía del lecho muestra una gran variación de niveles debido a la mala distribución del agua en el proceso de retrolavado, mostrando zonas donde el nivel de grava es mucho menor. También presenta zonas de altos relieves en las esquinas de los filtros donde posiblemente no está actuando el lavado.

3.10 DESINFECCION.

En la planta se emplea actualmente como desinfectante Cloro Liquido aplicado en la línea de conducción de agua filtrada hacia los tanques de almacenamiento.

3.10.1 Cloro Residual.

Tabla 80. Promedios mensuales de cloro residual. Periodo de enero 2004 – mayo 2005.

Cloro (p.p.m)	Máximo	Mínimo	Promedio
febrero	0,95	0,83	0,89
Marzo	0,94	0,82	0,88
Abril	0,93	0,72	0,85
Mayo	0,92	0,78	0,86
Junio	1,2	0,81	0,94
Julio	1,27	0,83	0,92
Agosto	0,94	0,84	0,89
Septiembre	0,93	0,83	0,88
Octubre	1,09	0,84	0,94
Enero	1,06	0,93	1,02
Marzo	1,07	0,94	1,02
Abril	1,07	0,9	0,99
Mayo	1,08	0,95	1

- Los residuos de Cloro que garantizan una buena destrucción bacteriana en el agua potable debe estar en un rango de 0.9 a 1.2 ppm. De acuerdo con los registros de cloro residual mostrados en la tabla 80, para el 98 % del tiempo el cloro residual se mantiene dentro de los parámetros admisibles.
- El anterior porcentaje indica un excelente eficiencia en el proceso de desinfección.

4. VULNERABILIDAD.

4.1 Definición:

Se llama así, a la susceptibilidad de perder o de ser dañado uno o más de los elementos que forman un sistema, como resultado de la ocurrencia directa o indirecta de un desastre natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede causar resultados adversos a las personas, los bienes y al medio ambiente. Específicamente para una un sistema de tratamiento de agua potable los tipos de amenaza con mayor importancia son las siguientes:

- **Amenazas naturales**
- **Amenazas de origen tecnológico**
- **Amenazas de origen social**

4.1.1 Las amenazas naturales.

Las amenazas naturales son de tipo geológico o de tipo meteorológico. En la región andina las principales amenazas de tipo geológico son los sismos, las erupciones volcánicas y los deslizamientos y las de tipo climático son las inundaciones y las sequías. En otras regiones deben incluirse, los huracanes, tornados y otros fenómenos climáticos.

Las amenazas pueden estar interrelacionadas y sus efectos magnificados. Por ejemplo, los sismos provocan deslizamientos, los cuales a su vez ocasionan represamiento de ríos e inundaciones progresivas aguas arriba, y la rotura de los represamientos causan inundaciones turbulentas y crecidas aguas abajo.

El impacto de las amenazas naturales sobre los sistemas de agua potable y sus componentes puede ser muy variado y depende fundamentalmente de la magnitud y localización del fenómeno natural y de la vulnerabilidad del sistema y sus componentes, tanto en el aspecto físico como en el operativo, administrativo y organizativo. El impacto de las amenazas es directo en los componentes físicos del sistema e indirecto en los aspectos organizativos, administrativos y en la capacidad de operación.

Sismos o Terremotos

- Evento súbito, no predecible, no controlable ni alterable por el hombre.
- La gravedad del impacto se relaciona con la magnitud de la energía liberada, la distancia y ubicación del epicentro del terremoto en relación con el elemento expuesto y las condiciones locales del terreno.
- El tamaño del área afectada está directamente relacionada con la cantidad de energía liberada por el evento e inversamente con la profundidad del sitio de liberación de energía.
- El terremoto es capaz de modificar y destruir el entorno físico de la región.
- Un terremoto tiene efectos directos y secundarios. Los efectos directos son aquellos causados por el sacudimiento producido por el paso de la onda sísmica y los secundarios por las deformaciones permanentes del terreno, como: asentamientos diferenciales del suelo, deslizamientos y correntadas de lodo, licuación del suelo, avalanchas, maremotos o tsunamis.

Erupciones Volcánicas

- Evento gradual, no controlable ni alterable por el hombre y predecible, se poseen técnicas adecuadas de vigilancia de los volcanes. Súbito si se trata de volcanes no conocidos o no vigilados.
- La gravedad del impacto se relaciona con el volumen del material arrojado, carácter explosivo, duración de la erupción, espesor de los depósitos, radio de cobertura por la caída de los productos aéreos como la ceniza; y con la ubicación

de los sistemas y la trayectoria de los flujos en la cercanía del volcán o a distancias considerables, a través de sus drenajes.

Deslizamientos

- Evento gradual o súbito, en ocasiones predecible, controlable y alterable. Las fallas súbitas del terreno pueden ocurrir sin advertencia. Las fallas lentas presentan signos precursores que pueden ser reconocidos y vigilados en base a la instrumentación adecuada.
- La gravedad del impacto se relaciona con el volumen del material deslizado, la velocidad y trayectoria de la masa en movimiento, el tamaño de las rocas y el tipo de movimiento, todo esto en función a la ubicación geográfica del sistema.
- Los macro-deslizamientos y los movimientos de terreno desencadenados por sismos o lluvias pueden cambiar localmente la topografía de la zona.
- Los deslizamientos presentan efectos directos causados por la deformación y el impacto de la masa en movimiento y secundarios, producidos por las inundaciones aguas arriba de un deslizamiento/represamiento y las crecidas ocasionadas aguas abajo después de la rotura del deslizamiento/represamiento.

Inundaciones

- Evento gradual o súbito, que puede ser predecible si se cuentan con los medios técnicos adecuados, y controlable si se hacen las obras físicas correspondientes. Puede ocurrir en ríos y en el borde del mar. En la zona costera las inundaciones están relacionadas con los tsunamis y marejadas mientras que tierra adentro con las fuertes lluvias y las llanuras de inundación de los ríos. En zonas de alta pendiente pueden darse crecidas instantáneas de rápido surgimiento y desaparición.
- La gravedad del impacto se relaciona con el área inundada, el calado o altura de la inundación, velocidad del flujo del agua, cantidad de sedimento transportado, la duración y la frecuencia de ocurrencia de inundaciones.

- En caso de tsunamis o marejadas el impacto en la zona costera depende de la altura de las olas que, a su vez, depende de la forma local del fondo marino y del terremoto que lo originó.
- La inundación en llanura cambia el curso del río y deposita sedimentos. La crecida erosiona el cauce y puede provocar deslizamientos nuevos o reactivar antiguos.

Sequías

- Evento gradual de inicio lento en período de años, predecible si se cuenta con los medios técnicos adecuados, controlable si se toman las medidas correspondientes en el largo plazo.
- La gravedad del impacto se relaciona con el déficit de lluvias, el nivel de las precipitaciones, el período de sequía, el área de erosión de la superficie del terreno y la extensión de la zona climática desértica.
- La sequía cambia el entorno bioclimático de la región y las condiciones del agua subterránea.

4.1.1.1 Efectos de las amenazas naturales en los sistemas

Sismos o terremotos

Dos son los parámetros comúnmente utilizados para la caracterización del potencial destructor de un sismo en un sitio determinado: la intensidad del sacudimiento y la aceleración sísmica.

La escala de Intensidades describe los efectos o el daño provocado por un sismo en un sitio determinado, tanto en el hombre y en la naturaleza, como en las construcciones. Estos efectos varían de un lugar a otro y dependen en gran medida de la distancia hipocentral y de la respuesta sísmica de los suelos. La Intensidad se la mide generalmente en la Escala de Mercalli Modificada que tiene grados fijos que van del I (no sentido) al XII (destrucción total), o en otras

similares. Es común encontrar mapas que sintetizan las máximas intensidades históricas registradas en un país o en una región. Estos mapas deben ser entendidos como las intensidades mínimas esperadas en el área abarcada por el mapa durante un período similar al período histórico.

La aceleración sísmica en un sitio dado, en cambio, se representa como un porcentaje del valor de la aceleración de la gravedad actuando en dirección horizontal o vertical hacia arriba por efecto del paso de la onda sísmica. La aceleración se obtiene en función de las máximas magnitudes sísmicas esperadas en las fallas geológicas circundantes y la atenuación de las ondas sísmicas desde el hipocentro hasta un sitio de interés. Los mapas de peligro sísmico, calculados para una determinada zona, en general representan este peligro en función de una probabilidad de excedencia del nivel de aceleración dibujado en el mapa durante la vida útil del proyecto (Ej. 10% de probabilidad que, durante los próximos 50 años la aceleración sísmica en un sitio dado exceda de 200 gals o, lo que es lo mismo, el 20% de la gravedad).

Hay varias fórmulas empíricas que describen la relación entre la intensidad y la aceleración en un sitio dado, por ejemplo Richter (1958), Trifunac (1975) y otros; de tal manera que teniendo el mapa de intensidades o de aceleración, se pueda transformar los valores de acuerdo con los propósitos que se tengan (diseño, aplicación de tablas de daños, etc.).

Los efectos del sismo en los sistemas son:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Rotura de las tuberías de conducción y distribución y daños en las uniones, entre tuberías o con los tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.
- Modificación de la calidad del agua por deslizamientos en áreas de topografía montañosa.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.

- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.

Tabla 81. Factores de daño sísmico.

INTENSIDAD ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA	FACTORES DE DAÑO daño en porcentaje	FACTORES DE DAÑO				
		VI	VII	VIII	IX	X
Pozos	%	1.04	4.60	6.66	14.78	23.56
Acueductos	%	0.57	1.05	2.66	4.42	8.80
Estaciones de Bombeo	%	2.35	5.85	11.73	20.74	30.77
Tanques de Almacenamiento	%	1.10	4.10	6.45	10.63	24.11
Plantas de Tratamiento	%	1.09	3.33	6.67	13.38	20.59
Red de Conducción de Agua	roturas/km	0.00	0.69	1.56	5.21	9.13

Erupciones Volcánicas

El potencial destructor de las erupciones volcánicas varía en relación a los cuatro tipos de productos esperados en una erupción volcánica: flujos de lava, flujos piroclásticos o nubes ardientes, flujos de lodos o lahares (mezcla de agua y diversos materiales como cenizas, bloques y bombas volcánicas, suelo, vegetación y troncos de árboles de diferentes dimensiones) y caídas de ceniza.

Los dos primeros comprenden corrientes de roca fundida y nubes densas de gas, ceniza y fragmentos de roca respectivamente, que tienen temperaturas de al menos varios cientos de grados centígrados y que viajan restringidos por la topografía, generalmente hasta el pie del edificio volcánico. En condiciones muy especiales pueden alcanzar distancias mayores. Estos dos productos volcánicos destruyen todo lo que se encuentra a su paso, de tal manera que estructuras y tuberías resultan arrasadas, enterradas o quemadas, siendo la única posibilidad de no verse afectadas si se ubican fuera del camino de los flujos.

Los flujos de lodo, al contrario de los anteriores, no son calientes, pero tienen un volumen y una movilidad mucho mayor, pudiendo viajar decenas o cientos de kilómetros a velocidades de decenas y hasta de cientos de kilómetros por hora a

lo largo de los drenajes que nacen en el volcán. Toda obra que se encuentre a su paso, es decir dentro de los primeros metros por encima del nivel del agua de dichos drenajes en condición normal, podría ser enterrada, destrizada o arrastrada por el flujo. La única protección contra este fenómeno es nuevamente mantenerse fuera de su camino.

Los efectos de las erupciones volcánicas en los sistemas son:

- Destrucción total de los componentes en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.
- Obstrucción de las obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros, por caídas de cenizas.
- Modificación de la calidad del agua en captación de agua superficial y en reservorios por caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de deposición de los lodos o lahares.
- Destrucción de caminos de acceso a los componentes y de las líneas de transmisión de energía eléctrica y de comunicación.
- Incendios.

Las caídas de cenizas cubren de manera uniforme áreas mucho mayores que los productos anteriores al ser éstas transportadas por el aire y no estar condicionadas por la topografía existente. Mientras más lejos está la fuente de emisión, menor es el tamaño de la ceniza y menor el espesor depositado, que puede ser medido en el rango de los milímetros a centímetros. El principal efecto de la caída de cenizas se produce en las plantas de tratamiento y acueductos a cielo abierto, por la contaminación producida por la depositación de este material de características ácidas. Colateralmente hay impactos indirectos como suspensión de energía eléctrica y corte de caminos y comunicaciones.

En mapas de amenaza volcánica se pueden encontrar delineados los límites de las posibles áreas de influencia. Estos mapas generalmente presentan a escala local las zonas potencialmente afectadas por flujos piroclásticos, de lava y por

caídas de ceniza, mientras que por la naturaleza del fenómeno los lahares se presentan a escala regional.

Cuando el componente se encuentra dentro de los límites de flujos piroclásticos, de lava y de lahares su destrucción debe ser considerada total y el factor de daño es de 100%. En caso de las caídas piroclásticas el factor de daños depende solamente del volumen de cenizas.

Si el componente se encuentra dentro de los límites de caída de cenizas se debe analizar únicamente la posibilidad de contaminación del agua por la acumulación de sólidos en suspensión en depósitos abiertos (plantas de tratamiento y captaciones superficiales). El impacto a considerar será la suspensión del servicio y el reemplazo de filtros de arena por colmatación en plantas de tratamiento, dependiendo de la duración e intensidad del fenómeno.

Cabe indicar que éste es un fenómeno progresivo, por lo que se podrían tomar medidas de emergencia en función de la información existente en los organismos responsables de controlar la evolución del proceso eruptivo.

Deslizamientos

El potencial destructor de los deslizamientos depende principalmente del volumen de la masa en movimiento, de la velocidad del movimiento, del tipo de movimiento y de la disgregación de la masa inestable.

Los tipos de movimientos más comunes son: caída de rocas, deslizamientos de tierra rotacionales o traslacionales, flujos de lodo o escombros, y reptación de laderas, siendo los primeros extremadamente rápidos (movimientos probables mayores a 5 m/s) y de tamaño variado; los segundos pueden ser extremadamente rápidos a extremadamente lentos (velocidades entre 5 m/s a menos de 16 mm/año) profundos o superficiales; los terceros generalmente rápidos a muy rápidos (velocidades entre 1.8 m/hora a 5 m/s) y; los últimos, extremadamente lentos (menos que 16 mm/año) y superficiales.

Los efectos de los deslizamientos en los sistemas son:

- Destrucción total o parcial de todas las obras en especial de captación y de conducción ubicadas sobre o en la trayectoria principal de deslizamientos activos, especialmente en terrenos montañosos inestables con fuerte pendiente o en taludes muy inclinados o susceptibles a deslizamientos.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas.
- Colateralmente a impactos indirectos como la suspensión del servicio eléctrico, corte de caminos y comunicaciones.

El volumen está relacionado con el espesor y la extensión de la masa inestable. La velocidad que es un aspecto muy difícil de cuantificar, se determina por medio de monitoreo con equipos o de estimaciones relacionadas con los rasgos morfodinámicos y desplazamientos de estructuras (cercas, caminos, etc.). Estos dos parámetros son los más directamente relacionados con el poder destructor de los deslizamientos. La disgregación del material tiene relación con la dinámica del movimiento, el tamaño de las rocas y los bloques de material inestable.

En mapas de fenómenos de inestabilidad de terrenos o de peligrosidad por deslizamiento, a escala local o regional, se muestran los límites del área, la tipología, el espesor promedio o el de varios puntos de la zona inestable y el grado de actividad o peligrosidad relacionados con la velocidad probable. En algunos casos estos mapas y los geotécnicos contienen los fenómenos de carcavamiento, hundimiento por colapso de cavernas, asentamiento por arcillas expansivas, licuación de terrenos granulares y saturados entre otros. Estos fenómenos y sus características pueden también estar localizados y descritos en informes técnicos elaborados durante el estudio de proyectos específicos. El potencial destructor de estos fenómenos depende de su intensidad y extensión.

Cuando el componente está sobre un deslizamiento activo extremadamente rápido, o en su trayectoria principal, su destrucción puede ser considerada total y el factor de daño es de 100%.

Cuando el componente se encuentra sobre o en el camino de un deslizamiento activo con velocidad menor a 1.6 m/año los daños son menores y pueden ser reparados, y el factor de daño es incierto. Cuando el componente se encuentra en la superficie y en el camino de caídas de rocas (velocidad mayor a 5 m/s), los daños son seguros, pero el factor de daño es difícil de precisar. Cuando el componente está sobre o en el camino de movimientos con velocidad menor a 16 mm/año, posiblemente las estructuras no sufrirán daños.

Inundaciones

El impacto de la amenaza por inundaciones podrá ser caracterizado por el área de influencia y los niveles máximos de inundaciones y crecidas. Estos datos se encuentran en mapas de inundaciones de ríos o zonas costeras, a escala local, donde se ubican los límites del área inundable. En los anuarios hidrometeorológicos y en los informes técnicos de proyectos especiales (hidroeléctricos, de irrigación, etc.) puede encontrarse información adicional para evaluar el fenómeno.

Los efectos de las inundaciones y crecidas en los sistemas son:

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos o quebradas.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio del cauce del río.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de quebradas y/o ríos.
- Rotura de tuberías de distribución y conexiones en las áreas costeras debido al embate de marejadas y en áreas vecinas a cauces de agua.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Daño de equipos de bombeo al entrar en contacto con el agua.
- Colateralmente hay impactos indirectos como la suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.

Cuando el componente está en el cauce de un río con crecidas continuas, de fuerte velocidad (>1 m/s) o de larga duración, su destrucción puede ser total (factor de daño puede ser 100%); si está en la llanura de inundación el impacto puede ser parcial por contaminación, erosión, enterramiento o impacto de materiales arrastrados y el factor de daño es incierto.

Cuando se conocen los límites y las características de la inundación para varios períodos de retorno se pueden determinar índices de vulnerabilidad del sistema y sus componentes a través de análisis semicuantitativos como el presentado en el *“Manual sobre Preparación de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado para Afrontar Situaciones de Emergencia”* (OPS, 1990).

Sequías

El impacto de la amenaza por sequías podrá ser caracterizado por el área de influencia, los períodos de sequía y los niveles de precipitación y disminución del nivel del agua subterránea.

Esta información se encuentra generalmente en registros hidrometeorológicos, mapas de condiciones hidrogeológicas y en pocos casos en mapas de amenaza. Una información sintetizada puede ser muy difícil tener en este tema.

Períodos de sequía continuos y de larga duración pueden reducir considerablemente el caudal de captación y determinar un factor de daño del sistema del 100% (cambio de sistema).

Períodos de sequía cíclicos y de corta duración influyen en la continuidad y cantidad del servicio de manera incierta.

Los efectos de las sequías en los sistemas son:

- Pérdida o disminución del caudal del agua superficial y/o subterránea.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Abandono del sistema.

Por otra parte los desastres de origen antrópico pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar fallas en serie causando un desastre de gran magnitud.

Entre otros desastres de origen antrópico pueden mencionarse los siguientes:

- **De origen tecnológico:** Incendios, derrames y fugas, corto-circuitos, accidentes de tránsito.
- **De origen social:** terrorismo, asalto o robo.

La calificación de ocurrencia de la amenaza se realiza mediante la inspección previa de las instalaciones de la planta y la asignación de colores teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia, de la siguiente forma:

POSIBLE: Si el evento no ha ocurrido, pero puede suceder, es **VERDE**

PROBABLE: Si el evento ya ocurrió bajo ciertas condiciones, es **AMARILLO**

INMINENTE: Si el evento tiene predisposición a ocurrir, es evidente y detectable, es **ROJO**.

4.2 Análisis De Vulnerabilidad Para Los Sistemas De Agua Potable

El análisis de vulnerabilidad es el método que permite determinar las debilidades de los componentes de un sistema frente a una amenaza, con un doble objetivo: establecer las medidas de mitigación necesarias para corregir esas debilidades, y proponer las medidas de emergencia para dar una respuesta adecuada cuando el impacto de la amenaza se produce.

El objetivo del análisis de vulnerabilidad y de la identificación de las medidas de mitigación para los sistemas de agua potable es tener sistemas sostenibles y seguros frente a las amenazas naturales.

Para conseguir este objetivo es necesario primero conocer las características de los niveles organizativo, administrativo y de operación (características

administrativo-funcionales) y las de los componentes físicos (características estructurales); así como aquellas relacionadas con las amenazas naturales de la zona y su impacto potencial. Con esta información se procede a identificar las vulnerabilidades del sistema y las medidas de mitigación.

Las características administrativo-funcionales permiten identificar los diferentes niveles organizativos y administrativos, sus jerarquías, normas vigentes y sus responsabilidades con respecto al buen funcionamiento del sistema. Esto permite delinear las estrategias para establecer las medidas de mitigación y ubicar los recursos disponibles que pudieran ser usados para la implementación de dichas medidas. Este conocimiento de la organización institucional, de la administración y capacidad de operación locales lleva a establecer las vulnerabilidades administrativo-funcionales, muy importantes de resolver para lograr la sostenibilidad de los sistemas de agua potable.

Las características estructurales identifican los componentes, el funcionamiento físico del sistema y las características de las amenazas, determinan su posible impacto sobre el mismo, estableciéndose una relación directa entre las características estructurales del sistema y las amenazas naturales. Esta relación se visualiza por medio de la sobre-posición de las amenazas con respecto a los componentes del sistema y determina la capacidad de resistencia del mismo y por consiguiente, su vulnerabilidad física y su capacidad operativa ante la ocurrencia del fenómeno.

Es necesario conocer las vulnerabilidades administrativo-funcionales en los diferentes niveles, especialmente en aquellos administrativos y operativos, pues son los encargados de garantizar la operación, mantenimiento y administración con un mínimo de ayuda externa.

El esquema organizativo institucional en el cual se involucran los sistemas de abastecimiento de agua potable es el primer nivel donde la vulnerabilidad puede ser identificada. El segundo nivel corresponde a la forma administrativa local de los sistemas, que puede estar relacionada con el esquema organizativo institucional y ser la misma para todos los sistemas de una región, pero diferente

entre regiones. El tercer nivel corresponde a la operatividad del sistema que es asumida principalmente por un operador, y tiene estrecha relación con el segundo nivel.

Conociendo la vulnerabilidad del sistema es posible determinar las medidas de mitigación, tanto para los aspectos físicos como para los administrativo/funcionales. Las medidas de mitigación para la vulnerabilidad física tienden a fortalecer el estado actual del sistema y sus componentes, así como a mejorar las condiciones de los mismos frente al impacto de una amenaza determinada.

Las medidas de mitigación para la vulnerabilidad administrativa-funcional tienden a mejorar la organización, gestión local, capacidad de operación, para fortalecer el funcionamiento del sistema en condiciones normales o frente al impacto de una amenaza.

El análisis de vulnerabilidad demanda conocer y determinar lo siguiente:

- La organización institucional para el abastecimiento de agua potable y la administración local.
- La forma de operación de los sistemas.
- Los componentes del sistema y su funcionamiento.
- Las amenazas, sus características e impactos.
- La vulnerabilidad administrativa/funcional y física.
- Las medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad identificadas.

Reconociendo que la ejecución de las medidas de mitigación demandan disponibilidad de recursos humanos, materiales y económicos, es necesario estimar los costos, priorizar su ejecución y visualizar la capacidad de respuesta actual de los sistemas. Los datos así obtenidos sirven para la formulación de un plan de implementación de las medidas de mitigación.

4.3 Analisis De Vulnerabilidad

Una vez definidas las amenazas principales, se realiza el análisis de vulnerabilidad, determinando las acciones prácticas de prevención encaminadas a disminuir los posibles daños causados por cualquiera de las eventualidades analizadas. Los elementos que se consideran bajo riesgo para los cuales se hace el análisis de vulnerabilidad son los siguientes:

Tabla 82. Clasificacion De La Amenaza Para La P.T.A.P. De Floridablanca

TIPO	CAUSAS	CALIFICACION
NATURAL		
MOVIMIENTOS SISMICOS	Presencia de fallas geológicas pertenecientes al grupo de fallas que pasan por la ciudad de Bucaramanga, con alto nivel de sismisidad. Liberación frecuente de energía en forma de pequeños sismos generando posible fallas estructurales en la edificación, taques de tratamiento, almacenamiento, pozos y tuberías.	POSIBLE
DESLIZAMIENTOS DE TIERRA	La planta de Floridablanca se encuentra ubicada en una zona montañosa, con alto riesgo de deslizamiento.	POSIBLE
INUNDACIONES	Acumulación de gran cantidad de agua en los tanques de tratamiento y almacenamiento los cuales pueden presentar desbordamiento por acumulación excesiva o fallas en las estructuras.	POSIBLE
TECNOLOGICO		
INCENDIOS	Presencia de materiales combustibles (papel y cartones, plásticos, maderas, y sistemas eléctricos energizados)	POSIBLE
DERRAMES Y FUGAS	Escape de gases tóxicos provenientes de la conducción del cloro y de los tanques almacenados en la caseta de cloración.	PROBABLE
CORTO CIRCUITO	Algunas de las instalaciones eléctricas se encuentran deterioradas.	POSIBLE
ACCIDENTES DE TRANSITO	Transito de vehículos por las vías internas de las instalaciones y en la vía de acceso a la planta.	POSIBLE
SOCIAL		
TERRORISMO	Atentados, bombas, pánico telefónico, teniendo en cuenta la situación actual del país.	POSIBLE
ASALTO O ROBO	Ubicación de la planta en una zona donde se encuentran asentamiento de invasiones.	POSIBLE

PERSONAS: Organización, Capacitación y Dotación.

RECURSOS: Elementos y equipos.

RECURSOS: Servicios públicos, Sistemas alternos y Recuperación.

Dándole una calificación ala vulnerabilidad de la siguiente manera:

CERO (0): cuando el aspecto a calificar es **BUENO**.

CERO CINCO (0.5): cuando el aspecto as calificar es **REGULAR**.

UNO (1): cuando el aspecto a calificar es **MALO**.

Se realiza la suma de la calificación de cada uno de los aspectos y según la cantidad obtenida se clasifica con un nivel y un color la vulnerabilidad como se presenta la siguiente tabla.

Tabla 83. Clasificación de la vulnerabilidad.

CALIFICACION	VULNEREBILIDAD	COLOR
0 - 1	BAJA	VERDE
1.1 - 2	MEDIA	AMARILLO
2.1 - 3	ALTA	ROJO

Tabla 84. Analisis De Vulnerabilidad En Las Personas

PUNTO VULNERABLE A CALIFICAR	DESCRIPCIÓN	CALIFICACION			TOTAL
		B	R	M	
	(SI o NO)	0	0.5	1	
1. ORGANIZACIÓN					
Existe una política general en Salud ocupacional donde se indica la prevención y preparación para afrontar una emergencia	SI		X		
Existe comité de emergencias o estructura responsable del plan y tiene funciones asignadas	NO			X	
La Empresa participa y promueve activamente a sus trabajadores el Programa de preparación para emergencias	SI		X		
Los empleados han adquirido responsabilidades específicas en caso de emergencias	NO			X	
Existe brigada de emergencias	SI		X		
Existen instrumentos o formatos para realizar inspecciones a las áreas para identificar condiciones inseguras que puedan generar emergencias	SI		X		
Existen instrumentos o formatos para realizar inspecciones a los equipos utilizados en emergencias.	NO			X	
TOTAL		0	2	3	5/7=0.71
2. CAPACITACIÓN					
Se cuenta con un programa de capacitación en prevención y control de emergencias	NO			X	
El comité de emergencias se encuentra capacitado	NO			X	
Las personas han recibido capacitación general en temas básicos de emergencias y en general saben las personas autoprotgerse	NO			X	
El personal de la brigada ha recibido entrenamiento y capacitación en temas de prevención v control de emergencias	SI		X		
Esta divulgado el plan de emergencias y evacuación	NO			X	
Se cuenta con manuales, folletos como material de difusión en temas de prevención y control de emergencias	NO			X	
TOTAL		0	0,5	5	5.5/6=0.92
3. DOTACIÓN					
Existe dotación personal para el personal de la brigada y del comité de emergencias	SI		X		
Se tienen implementos básicos de primeros auxilios en caso de requerirse	SI	X			
Se cuenta con implementos básicos para el control de incendios tales como herramientas manuales, extintores, palas entre otros de acuerdo con las necesidades específicas y realmente necesarias para la empresa	SI	X			
Se cuenta con implementos básicos para el rescate de personas y bienes	SI		X		
TOTAL		0	1	0	1/4=0.25

Tabla 85. Analisis De Vulnerabilidad En Los Recursos

PUNTO VULNERABLE A CALIFICAR	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN			TOTAL
		B	R	M	
	(SI o NO)	0	0.5	1	
1. MATERIALES					
Existe elementos fácilmente combustibles e inflamables	SI			X	
Se cuenta con extintores portátiles	SI	X			
Se cuenta con camillas	SI	X			
Se cuenta con botiquines portátiles	SI		X		
TOTAL		0	0.5	1	1.5/4=0.37
2. EDIFICACIONES					
El tipo de construcción es sismorresistente	SI	X			
Existen puertas y muros corta fuego	NO			X	
Existe más de una salida de emergencia	NO			X	
Existen rutas de evacuación definidas	NO			X	
Se cuenta con parqueaderos	SI	X			
Están señalizadas vías de evacuación y equipos contra incendio	NO			X	
TOTAL		0	0	4	4/6=0.67
3. EQUIPOS					
Se cuenta con algún sistema de alarma	NO			X	
Se cuenta con sistemas automáticos de detección de incendios	NO			X	
Se cuenta con sistemas automáticos de control de incendios	NO			X	
Se cuenta con un sistema de comunicaciones internas	SI	X			
Se cuenta con paneles de control para emergencias	SI	X			
Se cuenta con una red contra incendio	SI	X			
Existen hidrantes públicos y/o privados	SI	X			
Se cuenta con gabinetes contra incendio	SI	X			
Se cuenta con vehículos de la empresa para caso de emergencia	SI	X			
Se cuenta con programa de mantenimiento preventivo para los equipos de emergencia	SI		X		
TOTAL		0	0.5	3	3.5/10=0.35

Tabla 86. Analisis De Vulnerabilidad En Los Sistemas Y Procesos

PUNTO VULNERABLE A CALIFICAR	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN			TOTAL
		B	R	M	
	(SI o NO)	0	0.5	1	
1. SERVICIOS PÚBLICOS					
Se cuenta con buen suministro de energía	SI	X			
Se cuenta con buen suministro de agua	SI	X			
Se cuenta con un buen programa de recolección de basura	SI	X			
Se cuenta con buen servicio de radio comunicaciones	SI	X			
TOTAL		0	0	0	0
2. SISTEMAS ALTERNOS					
Se cuenta con un tanque de reserva de agua	SI	X			
Se cuenta con planta de emergencia	SI	X			
Se cuenta con bombas hidroneumáticas	SI	X			
Se cuenta con hidrantes exteriores	SI	X			
Sistema de iluminación de emergencia	NO			X	
Se cuenta con un buen sistema de vigilancia física	SI	X			
Se cuenta con un sistema de comunicación diferente al publico	SI	X			
TOTAL		0	0	1	1/7=0,14
3. RECUPERACIÓN					
Se cuenta con algún sistema de seguro para los funcionarios					
Se encuentra asegurada la edificación en caso de terremoto, incendio ,atentado terrorista, etc.					
Se cuenta con un sistema alterno para asegurar los expedientes en medio magnético con alguna compañía aseguradora					
Se encuentran asegurados todos los equipos y bienes en general.					
TOTAL		0	0,5	0	0,5/4=0,12

Tabla 87. Consolidado Del Análisis De Vulnerabilidad

PUNTO VULNERABLE A CALIFICAR	RIESGO			CALIFICACIÓN	INTERPRETACION	COLOR
	BUENO	REGULAR	MALO			
	0	0.5	1			
EN LAS PERSONAS						
Organización			71		MEDIA	AMARILLO
Capacitación			0.92			
Dotación			0.25			
SUBTOTAL			1,88	1,88		
EN LOS RECURSOS						
Materiales		0.37			MEDIA	AMARILLO
Edificación		0.67				
Equipos		0.35				
SUBTOTAL		1.39		1.39		
SISTEMAS Y PROCESOS						
Servicios públicos	0				BAJA	AMARILLO
Sistemas alternos	0.14					
Recuperación	0.12					
SUBTOTAL	0.26			0.26		

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a la estadística llevada por la planta respecto a turbiedades, se encontró que la mayor parte del tiempo se están tratando turbiedades bajas. Solo en épocas de invierno se encuentran turbiedades altas y esporádicamente en horas nocturnas. El parámetro de color es controlado fácilmente por el tratamiento normal.

Se presenta un nivel de almacenamiento suficiente de sustancias para mantener el buen funcionamiento de la planta por periodos programados. Se recomienda mejorar la distribución del espacio en las bodegas de almacenamiento y definir una mejor ubicación para los tanques de polímero.

La dosificación de las sustancias químicas se realizaba de forma poco controlada, debido a que no existían curvas de calibración de los equipos y no se realizaban pruebas de dosis optimas, por esto la calibración de la dosis se realizaba por tanteos poco exactos que retrasaban los procesos y disminuían la eficiencia.

Las concentraciones de las soluciones aplicadas no son las adecuadas ya que no se tiene un control adecuado en los caudales de mezcla y arrastre.

Se recomienda emplear las curvas de calibración obtenidas para facilitar el manejo manual de los equipos para aplicar la dosis exacta.

Se deben adecuar zonas de aforo de caudales en las conducciones de las diferentes soluciones y también dosificadores más precisos de agua y es necesario aumentar la frecuencia de mantenimiento de los aparatos y las conducciones de las soluciones químicas.

La canaleta Parshall no es una estructura confiable en cuanto a la medición del caudal de agua a tratar en la planta debido a que cualquier variación en sus dimensiones afecta directamente la lectura del caudal en su zona de aforo y al no ser una estructura estandarizada, no cuenta con referencias de calibración exactas.

Se obtuvo una gran diferencia entre las lecturas de caudales medidos por el equipo SCADA y las realizadas por el aforo de calibración por molinete, lo que conlleva a una aplicación mayor de sulfato de aluminio. Se recomienda recalibrar los aparatos de medición del sistema SCADA de acuerdo a los resultados obtenidos en el aforo y reacomodar la mira en el pozo de medición de acuerdo a lo obtenido en la calibración.

Ninguna de las estructuras ubicadas en la planta para el proceso de mezcla rápida está funcionando eficientemente, lo que implica que los procesos siguientes presenten grandes falencias en cuanto a su eficiencia debido a la mala coagulación del agua cruda.

Para la sección antigua se recomienda reparar, poner en funcionamiento y realizar mantenimiento preventivo a los motores que realizan la agitación en las cámaras de mezcla rápida calibrados con las velocidades de agitación recomendadas para el proceso.

El resalto hidráulico que se forma en la sección de ampliación no presenta las condiciones necesarias para una eficiente mezcla rápida debido a que se presenta una pequeña turbulencia superficial que no dispersa el coagulante en toda la masa de agua. Se recomienda adecuar una estructura que garantice un resalto hidráulico de tipo permanente con valores de Froude entre 4.5 y 9 para que el gradiente de agitación sea óptimo.

Debido a la sobredosisificación y la ineficiente mezcla rápida, se presenta un gran desperdicio de sulfato de aluminio que se acumula en las paredes del canal, por esto es recomendable realizar mantenimientos frecuentes en los mismos.

La baja eficiencia en las unidades de floculación están ligadas al bajo rendimiento de la coagulación; en la sección antigua el proceso de formación del floc muestra ser ineficiente pues en ocasiones su formación se realiza en la unidad de sedimentación y el tamaño del mismo no es el adecuado y en la sección de ampliación, el floc generado es demasiado disperso y de baja densidad. Al mejorar el proceso de mezcla rápida se garantiza una mejor formación inicial del floc.

Los gradientes aplicados en el proceso de floculación están por debajo de los óptimos, debido a esto la floculación no es la más adecuada. En la sección antigua los floculadores mecánicos deben ser calibrados de forma tal que los gradientes varíen de forma escalonada descendente en la totalidad del reactor y acordes a los óptimos, así también adecuar las pantallas de separación de los compartimientos para asegurar los tiempo óptimos de retención.

El floculador hidráulico presenta un buen comportamiento hidráulico con gradientes similares a los óptimos, aunque presenta una variación importante en los tiempos de retención ya que no se presentan estructuras de disipación de velocidad a la entrada de la unidad. También se presenta material sedimentado en varios de los canales producto de variaciones de velocidad no controladas. Se recomienda realizar mantenimientos frecuentes para evitar la acumulación de material sedimentado y colmatado en los tabiques, también se requiere la ubicación de un desagüe intermedio para facilitar las labores de lavado y limpieza de lodos.

En el canal de conducción de agua floculada de la sección antigua se presentan velocidades inferiores a las críticas para el transporte de floculos representadas en el exceso de material sedimentado. Se recomienda variar la sección transversal del canal a la sección determinada para asegurar que la velocidad mínima en la sección sea la crítica de conducción.

La eficiencia de los sedimentadores es en general, buena.

En la sección antigua se recomienda:

- Realizar mantenimiento estructural en los muros de los decantadores ya que estos presentan agrietamientos que son críticos en el momento del lavado.
- Evitar que el agua pase del nivel de rebose en el muro que separa las secciones de decantación y de sedimentación optimizada.
- Mantener una abertura constante en las compuertas de afluente.
- Revisar las estructuras de soporte de las placas y realizar los mantenimientos requeridos para evitar colapsos.

También es recomendable ajustar la presión de lavado para evitar que las placas sufran desgastes, agrietamiento o rupturas.

Se deben reemplazar las placas que se encuentran deflectadas en una medida mayor a 0.05m y las que se encuentren quebradas.

Los filtros presentan un nivel de eficiencia regular debido a que no se esta llevando a cabo un efectivo proceso de lavado.

La pérdida de carga en el filtro nos muestra que, aunque los niveles de turbiedad son bajos, el filtro se colmata rápidamente, debido a que el lecho filtrante presenta una configuración de gradación fina, con alta presencia de barro.

Se debe mejorar el proceso de lavado del filtro, ajustando los caudales y las velocidades de lavado para que no se presenten los altas expansiones en el lecho filtrante que produzcan perdidas en el mismo, y también emplear el tiempo de lavado adecuado (cambiar de 8 a 12 minutos).

Se recomienda cambiar el lecho filtrante del filtro N° 1 y reacomodar el lecho de los otros filtros ya que por el continuo lavado se encuentran desacomodadas todas sus capas.

Se recomienda reparar la consola de control de los filtros, ya que esta es parte importante en todo el proceso pues permite determinar con exactitud la cantidad

real de agua tratada por cada sección de la planta y también por que permite controlar más eficientemente la pérdida de carga de los filtros.

Se recomienda la ubicación de miras graduadas en algunas secciones del tratamiento para facilitar el control visual del proceso como en el floculador hidráulico en cada uno de sus sectores, en las cajas de filtración y en la galería de conducción de agua filtrada para determinar visualmente la pérdida de carga en los filtros.

No se presenta ningún tratamiento aplicado a los principales residuos que se generan en el proceso de tratamiento. Actualmente se están vertiendo todos estos residuos directamente a las unidades colectoras de aguas negras de la C.D.M.B. Se recomienda realizar un estudio para determinar los principales residuos generados en el tratamiento y determinar cual es el método de manejo apropiado para cada uno de ellos para hacer del tratamiento algo integral.

En cuanto a la vulnerabilidad la planta de tratamiento presenta inconvenientes con la adecuación de laderas y taludes en el recorrido desde la bocatoma hasta la planta, se deben hacer estudios de estabilización para prevenir deslizamientos y obstrucciones en los canales de conducción de agua cruda.

Por otro lado, la planta debido a su ubicación presenta problemas de inseguridad ya que se encuentra en una zona donde se hallan sectores de invasión, delincuencia común y pandillas organizadas, se recomienda ubicar un campamento en la zona de captación para evitar la proliferación de visitantes no autorizados y ayudar con las tareas de mantenimiento del sector.

Se debe realizar un mantenimiento general y preventivo del edificio donde están ubicadas las oficinas y el laboratorio, así como de una revisión estructural profunda de los compartimientos que conforman las dos plantas.

5. BIBLIOGRAFIA

- O.P.S / E.H.P / CEPIS, Curso Sobre Operación Y Mantenimiento De Plantas De Tratamiento De Agua Para Consumo Humano, versión preliminar, 1981.
- ARBOLEDA VALENCIA JORGE, Teoría y Practica de la Purificación del Agua. Tomo I y II, Colombia. McGraw – Hill. 2000
- ARBOLEDA VALENCIA JORGE, Teoría, Diseño Y Control De Los Procesos De Clarificación Del Agua. Lima. CEPIS/OPS, serie técnica 13. 1.973.
- GAVILAN LEON GERMAN EDUARDO, Guía de Laboratorio de Hidráulica de Canales Abiertos, Bucaramanga, 2001.
- REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO” RAS – 2000, Título C.
- DECRETO 475/98, Normas Técnicas de Calidad del Agua Potable, del Ministerio de Salud Pública.
- PARAMETROS INTERNOS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A, E.S.P,
- SEMINARIO INTERNACIONAL DE ACTUALIZACION Y NUEVAS TECNICAS EN POTABILIZACION DE AGUA, Memorias Técnicas, Santiago de Cali, 2004.