

**DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR DE PLACA PARALELA CON FLUJO
HORIZONTAL BAJO EL CONCEPTO DE LA TASA DE DESBORDAMIENTO
SUPERFICIAL**

CÉSAR AUGUSTO BLANCO SALAZAR

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C.
2004**

**DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR DE PLACA PARALELA CON FLUJO
HORIZONTAL BAJO EL CONCEPTO DE LA TASA DE DESBORDAMIENTO
SUPERFICIAL**

CÉSAR AUGUSTO BLANCO SALAZAR

TESIS DE GRADO

**ASESOR
ING. ÁLVARO OROZCO JARAMILLO**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ, D.C.
2004**

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRIUNFO A DIOS, A MIS PADRES, A MI HIJA Y A DIANA MARCELA, QUIENES SIEMPRE MOTIVARON LA REALIZACIÓN Y CULMINACIÓN DE ESTA ETAPA DE MI VIDA.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES POR SU COMPRENSIÓN, PACIENCIA Y APOYO ECONÓMICO, SIN LOS CUALES NO HUBIESE PODIDO REALIZAR MI SUEÑO DE CULMINAR ESTA TESIS Y LA MAESTRÍA.

AL INGENIERO ÁLVARO OROZCO POR COMPARTIR SUS IDEAS CONMIGO Y SERVIRME DE GUÍA Y ORIENTACIÓN A TRAVÉS DE ESTE PROYECTO.

A MIS PROFESORES POR PROPORCIONARME LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MI VIDA PROFESIONAL Y LABORAL

A LA EAAB, AMIGOS Y PROFESIONALES EN LA PLANTA DE "EL DORADO", QUIENES INCONDICIONALMENTE ME COLABORARON EN TODO MOMENTO PARA LA CULMINACIÓN DEL PROYECTO.

A DIANA MARCELA, POR SU APOYO PARA SUPERAR TODOS MIS RETOS E IMPULSARME A SEGUIR ADELANTE EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1. MARCO TEÓRICO	8
1.1 SEDIMENTACIÓN	8
1.1.1 Sedimentación con coagulante	9
1.1.2 Carga superficial	9
1.1.3 Sedimentadores de alta tasa o de placas paralelas	9
1.1.4 Tasa de desbordamiento superficial (TDS)	12
1.2 Turbiedad	12
1.3 LEGISLACIÓN	14
1.3.1 Decreto número 475	14
1.4 GENERALIDADES DE LA PLANTA EL DORADO	15
1.4.1 Ubicación	15
1.4.2 Esquema tecnológico de la planta	17
1.4.2.1 Sedimentadores	18
2. DESARROLLO	21
2.1 SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS A 45°	21
2.1.1 Diseño	21
2.1.2 Montaje del sistema	22
2.1.3 Operación del sistema con distintas TDS	24
2.1.4 Identificación de problemas	49
2.1.4.1 Tolva de lodos	49
2.1.4.2 Floculación	49
2.1.4.3 Vertedero de entrada	50

2.1.4.4 Acumulación de sólidos	51
2.1.5 Soluciones	52
2.1.5.1 Tolva de lodos	52
2.1.5.2 Floculación	52
2.1.5.3 Vertedero de entrada	52
2.1.5.4 Acumulación de sólidos	53
2.2 SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS A 60°	53
2.2.1 Diseño	53
2.2.2 Montaje del sistema	53
2.2.3 Operación del sistema con distintas TDS	54
2.2.4 Identificación de problemas	73
2.2.5 Soluciones	73
3. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE LA PLANTA EL DORADO CON EL PROTOTIPO DE DECANTADOR	74
3.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA EL DORADO	74
3.2 COMPARACIÓN DE SISTEMAS	75
4. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	76
5. CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	81

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable	15
Tabla 2. Determinación del área superficial para las placas de 45°	24
Tabla 3. Datos día 1 con TDS = 0.365 m ³ /h/m ²	25
Tabla 4. Datos día 2 con TDS = 0.053 m ³ /h/m ²	27
Tabla 5. Datos día 3 con TDS = 0.053 m ³ /h/m ²	29
Tabla 6. Datos día 4 con TDS = 0.22 m ³ /h/m ²	31
Tabla 7. Datos día 5 con TDS = 0.22 m ³ /h/m ²	33
Tabla 8. Datos día 6 con TDS = 0.22 m ³ /h/m ²	35
Tabla 9. Datos día 7 con TDS = 0.11 m ³ /h/m ²	37
Tabla 10. Datos día 8 con TDS = 0.11 m ³ /h/m ²	39
Tabla 11. Datos día 9 con TDS = 0.053 m ³ /h/m ²	41
Tabla 12. Datos día 10 con TDS = 0.017 m ³ /h/m ²	43
Tabla 13. Datos día 11 con TDS = 0.017 m ³ /h/m ²	45
Tabla 14. Remoción de aluminio de los 11 días	47
Tabla 15. Remoción de sólidos totales de los 11 días	48
Tabla 16. Datos día 12 con TDS = 0.23 m ³ /h/m ²	55
Tabla 17. Datos día 13 con TDS = 0.23 m ³ /h/m ²	57
Tabla 18. Datos día 14 con TDS = 0.136 m ³ /h/m ²	59
Tabla 19. Datos día 15 con TDS = 0.136 m ³ /h/m ²	61
Tabla 20. Datos día 16 con TDS = 0.065 m ³ /h/m ²	63
Tabla 21. Datos día 17 con TDS = 0.065 m ³ /h/m ²	65
Tabla 22. Datos día 18 con TDS = 0.025 m ³ /h/m ²	67
Tabla 23. Datos día 19 con TDS = 0.025 m ³ /h/m ²	69
Tabla 24. Remoción de aluminio de los 8 días con placas a 60°	71
Tabla 25. Remoción de sólidos totales de los 8 días con placas a 60°	72
Tabla 26. Comparación de dimensiones sedimentador	75

LISTA DE GRAFICAS

	pág
Gráfica 1. Datos día 1 con TDS = $0.365 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	26
Gráfica 2. Datos día 2 con TDS = $0.053 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	28
Gráfica 3. Datos día 3 con TDS = $0.053 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	30
Gráfica 4. Datos día 4 con TDS = $0.22 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	32
Gráfica 5. Datos día 5 con TDS = $0.22 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	34
Gráfica 6. Datos día 6 con TDS = $0.22 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	36
Gráfica 7. Datos día 7 con TDS = $0.11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	38
Gráfica 8. Datos día 8 con TDS = $0.11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	40
Gráfica 9. Datos día 9 con TDS = $0.053 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	42
Gráfica 10. Datos día 10 con TDS = $0.017 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	44
Gráfica 11. Datos día 11 con TDS = $0.017 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	46
Gráfica 12. Remoción de aluminio de los 11 días	47
Gráfica 13. Remoción de sólidos totales de los 11 días	48
Gráfica 14. Datos día 12 con TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	56
Gráfica 15. Datos día 13 con TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	58
Gráfica 16. Datos día 14 con TDS = $0.136 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	60
Gráfica 17. Datos día 15 con TDS = $0.136 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	62
Gráfica 18. Datos día 16 con TDS = $0.065 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	64
Gráfica 19. Datos día 17 con TDS = $0.065 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	66
Gráfica 20. Datos día 18 con TDS = $0.025 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	68
Gráfica 21. Datos día 19 con TDS = $0.025 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	70
Gráfica 22. Remoción de aluminio de los 8 días con placas a 60°	71
Gráfica 23. Remoción de sólidos totales de los 8 días con placas a 60°	72

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág
Fotografía 1. Vista frontal del decantador	21
Fotografía 2. Vista en planta del decantador	21
Fotografía 3. Vista general de sitio de ubicación del decantador	22
Fotografía 4. Vista general del montaje del sistema	22
Fotografía 5. Vista de la toma de agua	23
Fotografía 6. Vista salida del sedimentador	23
Fotografía 7. Vista de orificio debajo de la placa perforada	49
Fotografía 8. Vista del vertedero de entrada	50
Fotografía 9. Vista del floc acumulado en las placas	51
Fotografía 10. Vista del floc acumulado en las placas y en la tolva	51
Fotografía 11. Vista de los agujeros en las zonas más bajas.	76
Fotografía 12. Vista de placas sin lodos y el lodo en el fondo de la tolva	76

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Modelo de un sedimentador de placa paralela flujo vertical	10
Figura 2. Canal por donde fluye el agua en un sedimentador de placa paralela flujo vertical	11
Figura 3. Ubicación planta EL DORADO	16
Figura 4. Distribución de unidades en la planta EL DORADO	18
Figura 5. Detalle en el sedimentador de placas y vertederos planta EL DORADO	20

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A	81
Anexo B	87

INTRODUCCIÓN

La calidad y cantidad del agua son aspectos fundamentales para determinar el nivel y bienestar de vida de una población. El mal uso del agua y su degradación ponen en peligro la disponibilidad del agua potable para los años venideros, debido a que la demanda de agua en Colombia aumenta en promedio un 1.8% anual. Para el año 2003 la demanda total de agua potable para Colombia es de 2591 millones de metros cúbicos, divididos en 79% para consumo urbano y el 21 % restante para consumo rural; de los cuales, más del 35% de ese consumo urbano y el 70% del rural, tienen un tratamiento de potabilización pobre y en muchos casos deficiente, tanto así que en algunos municipios el agua únicamente pasa por un tanque que realiza la labor de sedimentación discreta, removiendo sólo las arenillas presentes en ella.

El objetivo de esta investigación es el diseño y estudio de un nuevo modelo de sedimentador de alta tasa, con el cual se espera mejorar los estándares de calidad y eficiencia de los sedimentadores que se están utilizando en la actualidad.

En este documento se encuentran contenidos los diferentes diseños que se probaron con esta nueva idea, los resultados obtenidos con cada uno de ellos y la comparación de los mismos con las salidas de los sedimentadores de la planta EL DORADO; también se presentan los parámetros de diseño, condiciones de funcionamiento y procedimiento de operación de este tipo de sedimentador.

Los sedimentadores de alta tasa fueron diseñados para disminuir los tiempos de operación, así como el tamaño de los mismos, pero la mayoría de ellos presentan grandes problemas debido a que la colocación de sus placas o tubos impiden un buen desarrollo hidráulico, por esta causa se experimentó con este tipo de sedimentador de alta tasa, que presenta una idea

totalmente nueva en la colocación de las placas, las cuales no van perpendiculares al flujo sino paralelas a él, con flujo horizontal para un mejor comportamiento hidráulico.

Con este trabajo se invita al lector a entrar en esta nueva concepción de sedimentadores de placas paralelas y flujo horizontal, en donde la característica primordial de sedimentación es el uso de una adecuada Tasa de Desbordamiento Superficial.

OBJETIVO GENERAL

Comprobar y determinar la teoría de la tasa de desbordamiento superficial (**TDS**), el comportamiento hidráulico y la calidad de remoción de partículas suspendidas en el agua (sólidos totales), del nuevo modelo de un sedimentador de alta tasa de placa paralela, con flujo horizontal paralelo a las placas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir en acrílico un modelo del sedimentador de alta tasa con placa paralela y flujo horizontal, para poder observar y estudiar todos los fenómenos y acontecimientos que sucedan dentro de él.

Realizar las mediciones de la turbidez del agua cruda de entrada a la planta, la de la salida del sedimentador de la misma y por último, al salir del sedimentador experimental después de su proceso de decantamiento, para evaluar el nivel y la calidad de la remoción.

Ejecutar muestreos para determinar la concentración de sólidos totales en el agua de salida del sedimentador experimental

Identificar problemas que se presenten en el desarrollo del proyecto, como son: de diseño, de funcionamiento o de operación del mismo, al igual que plantear posibles soluciones para ellos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es uno de los procesos más antiguos en el tratamiento del agua, ya que ésta provoca una disminución en la velocidad del flujo, lo que facilita la deposición o sedimentación de materiales sólidos de peso específico mayor al del agua que los contiene.

Existen cinco tipos de sedimentación que se clasifican según su clase de partículas, características superficiales y concentración de las mismas.

- a) Sedimentación discreta. Las partículas no se unen ni chocan entre sí, mantienen su tamaño e individualidad generalmente son arenillas
- b) Sedimentación floculenta. Las partículas floculan y se aglomeran durante el proceso, entre más crecen las partículas mayor es la velocidad de sedimentación
- c) Sedimentación másica. La concentración de partículas es tan grande que éstas chocan entre sí, sedimentando como una masa
- d) Sedimentación por compresión. La concentración de partículas es tan grande que cada una reposa sobre la otra, presentándose una especie de soporte entre cada una de ellas, el peso de las partículas de arriba compacta a las de abajo haciendo que el fluido presente en estas se desplace
- e) Sedimentación de alta tasa. Es una variación de la sedimentación discreta, en la que se insertan placas paralelas con el fin de aumentar la eficiencia de remoción de partículas

1.1.1 Sedimentación con coagulantes

Se efectúa la decantación de partículas obtenidas en las cámaras de floculación; el tamaño y densidad de las partículas y la viscosidad del agua desempeñarán un papel importante en el dimensionamiento de los sedimentadores. Las unidades podrán ser circulares o de flujo radial, cuadradas y rectangulares. Si los tanques sedimentadores se diseñan en dos o más pisos, podrán ser de flujos independientes o de flujo en zig-zag, de manera que el flujo recorra todos los pisos de la unidad. Se deben evitar columnas interiores o paredes rugosas que creen turbulencias en el sedimentador.

1.1.2 Carga superficial

De acuerdo con la carga superficial los sedimentadores se pueden clasificar en sedimentadores de tasa normal y de alta tasa; los de tasa normal pueden ser horizontales y verticales y trabajan con cargas superficiales de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, los de alta tasa pueden trabajar hasta $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ de carga superficial con periodos de retención de pocas horas inclusive de minutos.

Los sedimentadores poseen zonas de concentración de lodos, los que pueden ser retirados por bombeo, presión hidrostática, gravitación, etc. Los sedimentadores deben ser limpiados periódicamente para mantenerlos en buenas condiciones de funcionamiento permanente.

1.1.3 Sedimentadores de alta tasa o de placas paralelas

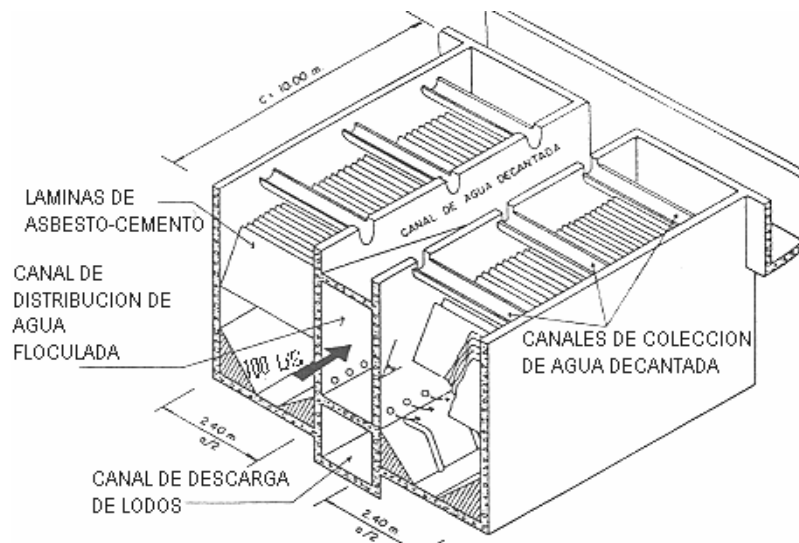
Los sedimentadores de placas no son nuevos, el primero en estudiarlos fue Hazen A, quien en 1904 dijo: “como la acción del tanque sedimentador depende de su área y no de su profundidad, una subdivisión horizontal produciría una superficie doble para reunir

sedimentos en lugar de una sencilla, y duplicaría la cantidad de trabajo”¹ luego en la década de los 70’s Hazen y Culp (1969) y en Colombia Jorge Arboleda Valencia (1970 y 1979) han ensayado repetidas veces con resultados variables, pero siempre con la constante de flujo vertical

Las diferencias básicas entre los sedimentadores de tasa normal y alta tasa son:

- El fondo del decantador no es horizontal sino inclinado.
- La profundidad del decantador es muy baja (unos pocos centímetros) de forma que hay que construir un número considerable de celdas superpuestas para poder tratar los volúmenes de agua que acostumbra en la práctica.
- El flujo debe ser laminar con número de Reynolds entre 80 y 250.

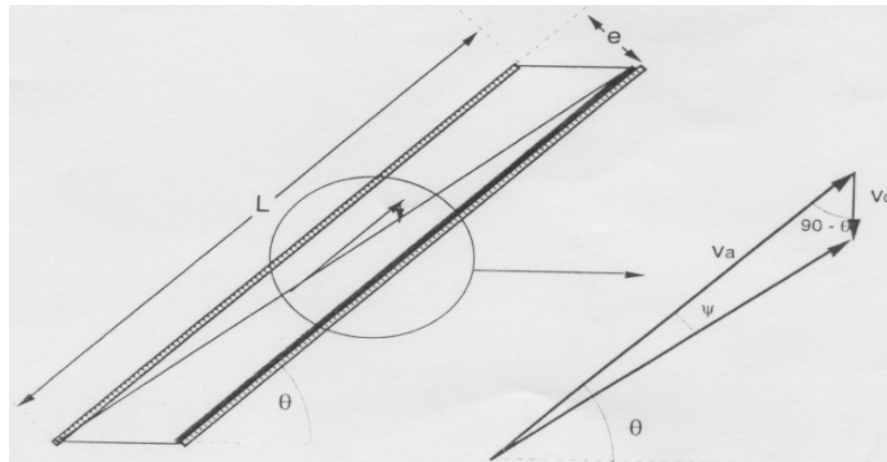
Figura 1. Modelo de un sedimentador de placa paralela flujo vertical



Las bandejas o placas se colocan inclinadas: el agua ascendente deposita sobre ellas el material que trae en suspensión. Los lodos resbalan pendiente abajo, y pueden ser recolectados en una tolva en la parte inferior de la estructura.

¹ HAZEN A., “ON SEDIMENTATION”. Transactions American Society of civil engineers, 1905.

Figura 2. Canal por donde fluye el agua en un sedimentador de placa paralela flujo vertical



(para flujo vertical)

S = constante según tipo de sedimentador = 1 para placas paralelas

V_s = Velocidad de caída de la partícula suspendida

V_o = Velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

θ = Ángulo de inclinación del sedimentador

L = Longitud de los canales

e = Anchura de los canales

$$\text{Carga superficial} = V_s = \frac{V_o S}{\sin \theta + \frac{L}{e} \cos \theta}$$

Esta ecuación permite encontrar, para un determinado posicionamiento de las placas, la velocidad requerida para conseguir una velocidad crítica. Es crucial mantener el número de Reynolds muy bajo (<200) para evitar que la turbulencia levante los lodos de la cara de las placas donde se está sedimentando.

Hasta ahora todos los conceptos y teorías sobre sedimentadores están basados en los de rata normal de flujo horizontal o vertical. Los de alta tasa o placa paralela solo se refieren a sedimentadores con fondo y flujo inclinados. A la actualidad no se ha experimentado con

sedimentadores que tengan su flujo horizontal paralelo a las placas inclinadas, por eso el material bibliográfico es casi nulo.

1.1.4 Tasa de desbordamiento superficial (TDS)

La tasa de desbordamiento superficial es el parámetro básico de diseño y prueba de este prototipo de sedimentador, es una relación entre el caudal y el área superficial del decantador

$$TDS = \frac{Q}{A_s} = \frac{m^3/h}{m^2} = m^3 / m^2 / h$$

Lo fundamental de este concepto es la determinación acertada del área superficial, pues el A_s no es la sumatoria de las áreas de cada una de las placas, sino la sumatoria de las proyecciones en la horizontal de todas y cada una de las placas inclinadas. Por eso en este trabajo se va a determinar bajo qué **TDS** funciona efectivamente este prototipo.

1.2 TURBIEDAD

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de

turbulencia. En lagos, la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales.

La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración.

La medición de la turbiedad, es una manera rápida que nos sirve para saber cuando, como y hasta que punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida.

La turbiedad es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

- Estética: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- Filtrabilidad: La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- Desinfección: Un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

Los instrumentos de medición de la turbidez dependen de comparaciones visuales, otros utilizan una celda fotoeléctrica que miden la luz dispersada a 90° a la trayectoria del rayo de luz en la muestra (nefelometría). Dichos aparatos son los que actualmente se están usando, por su mayor precisión.

Se compara un rayo de luz que se hace pasar hacia arriba por la muestra, con la luz dispersada hacia arriba por las partículas suspendidas de la solución turbia, la cual es iluminada lateralmente a 90°.

La unidad de turbiedad, fue definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada",

$$1 \text{ unidad nefelométrica de turbiedad (NTU)} = 7.5 \text{ ppm de SiO}_2$$

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades en aguas altamente turbias.

1.3 LEGISLACIÓN

1.3.1 Decreto número 475

DISPOSICIONES GENERALES

ARTICULO 2. Las disposiciones del presente Decreto son de interés público y de obligatorio cumplimiento y con ellas se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.

ARTICULO 3. El agua suministrada por la persona que presta el servicio público de acueducto, deberá ser apta para consumo humano, independientemente de las características del agua cruda y de su procedencia.

NORMAS ORGANOLÉPTICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

ARTICULO 6. Las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable establecidas en el presente Decreto rigen para todo el territorio Nacional y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable.

ARTICULO 7. Los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

Tabla 1. Criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
	Unidades de	
Color Verdadero	Platino Cobalto	< 15
	(UPC)	
Olor y Sabor		Aceptable
	Unidades	
Turbiedad	Nefelométricas de turbidez	< 5
	(UNT)	
Sólidos Totales	Mg/L	< 500
Conductividad	Micromhos/cm	50 - 1000
Sustancias Flotantes	-	Ausentes

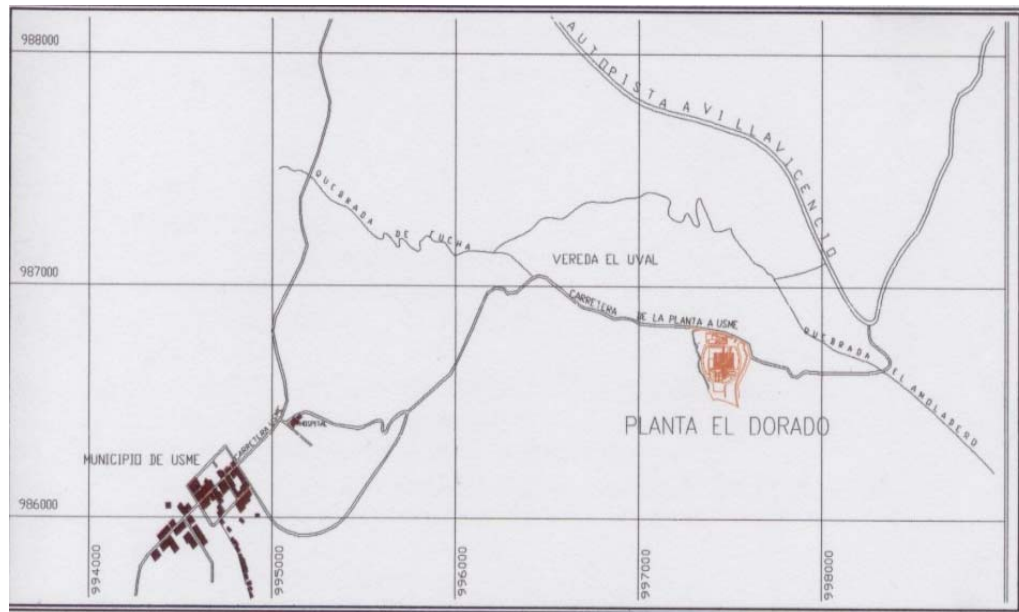
1.4 GENERALIDADES DE LA PLANTA EL DORADO

1.4.1 Ubicación

La planta de tratamiento EL DORADO esta ubicada en el sur-oriente de Bogotá (cota 2950msnm) y localizada entre las coordenadas 86690N y 86880N - 97500E y 97670E. Esta

planta trata el agua proveniente del embalse LA REGADERA y suministra $1.6 \text{ m}^3/\text{seg}$, pero por problemas de redes de acueducto sólo se trata entre 300-500 l/s.

Figura 3. Ubicación planta EL DORADO



El propósito de este proyecto es entregar agua de la más alta calidad a los habitantes de la localidad 5ta de Usme sobre la margen derecha del río Tunjuelito, a áreas localizadas al oriente del sector por encima de los 2800 msnm.

El agua se conduce hasta la planta mediante la tubería de 34" de diámetro con longitud de casi 10 Km., desde el embalse de la regadera hasta el sitio de empalme y derivación de la nueva tubería de conducción que abastece la planta EL DORADO y que se extiende en una longitud aproximada de 1.1 Km. con 39" de diámetro.

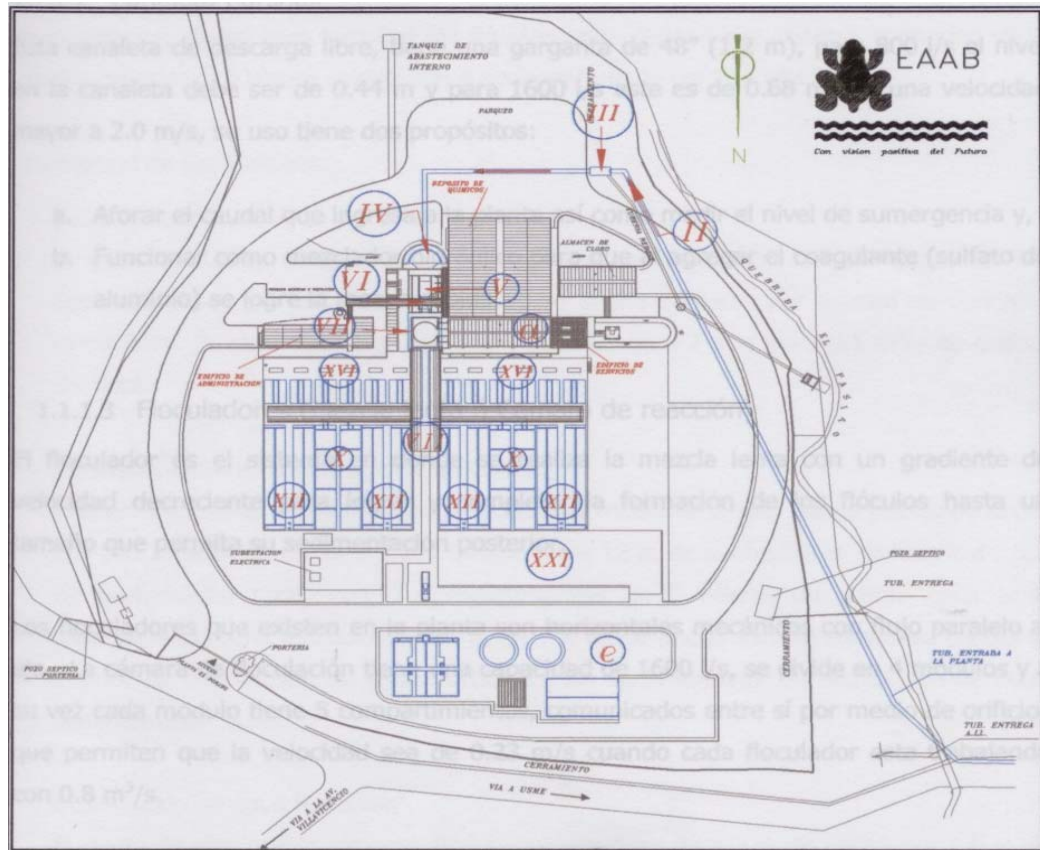
1.4.2 Esquema tecnológico de la planta

A continuación se muestra el recorrido que realiza el agua desde el embalse hasta que sale de la planta para su distribución.

- I. Embalse la regadera
- II. Tubería de conducción
- III. Cámara de rebose (tanque de entrada)
- IV. Cámara de aireación (cascada)
- V. Canal de aquietamiento
- VI. Canaleta Parshall
- VII. Canal de ajuste de la mezcla rápida
- VIII. Cámara de distribución a los floculadores
- IX. Vertedero de ajuste de caudal a cada floculador
- X. Cámara de floculación
- XI. Canal de distribución a los sedimentadores
- XII. Sedimentadores
- XIII. Canal de agua sedimentada
- XIV. Extracción de lodo
- XV. Canal de distribución a filtros
- XVI. Filtros
- XVII. Canal de interconexión
- XVIII. Vertedero de control
- XIX. Tanque de reacción de cal
- XX. Tanque de almacenamiento
- XXI. Dosificación de productos químicos
- XXII. Partes complementarias
 - a. Edificio de dosificación
 - b. Edificio administrativo
 - c. Estación de bombeo (sala de máquinas)

- d. Tratamiento de agua negras
- e. Planta de tratamiento de lodos

Figura 4. Distribución de unidades en la planta EL DORADO



en este caso, como únicamente compete el tema de sedimentación, sólo se nombrará este parámetro tecnológico de la planta EL DORADO

1.4.2.1 Sedimentadores

La función de esta cámara es la decantación o sedimentación de los flóculos formados en la cámara anterior (coagulación-floculación)

La sedimentación y la filtración deben considerarse como procesos complementarios, ambos producen separación de las partículas coaguladas.

La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y la filtración separa aquellos que tiene una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido suspendidos por cualquier causa en el flujo.

Los sedimentadores están compuestos por cuatro tanques anexos y en serie con cada módulo de floculación. Cada tanque tiene 11.90 m de ancho, 29.0 m de longitud y 5.15 m de profundidad total, con dos compartimientos en cada uno de los cuales hay dos hileras de placas.

Estos tanques están separados por una estructura central de 1.82 m de ancho en el cual se encuentra un ducto que está conformado de la siguiente manera:

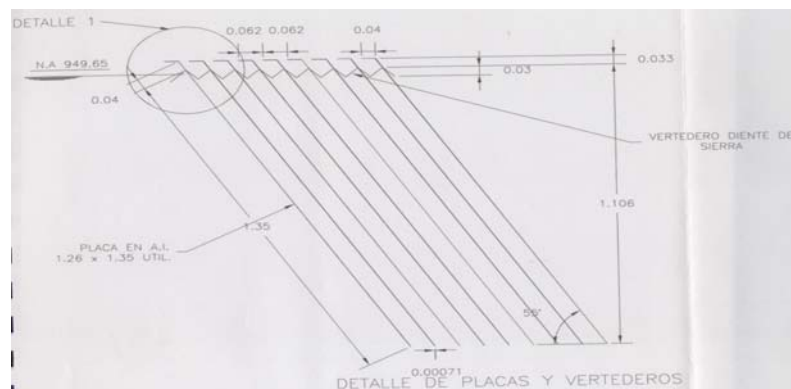
- En la parte superior está el canal recolector del agua sedimentada, que la recibe de 18 hileras de canales secundarios de acero inoxidable que se encuentran dentro del sedimentador.
- En la parte inferior del ducto está el canal de entrada o ducto inferior de distribución de agua floculada, que está perforado a cada lado para conducir y distribuir el agua floculada al sistema de sedimentación.
- En la parte de abajo un ducto ciego.

El sistema de sedimentación está conformado por láminas planas de acero inoxidable para la sedimentación de lata rata (lámelas). El agua clarificada sale de entre las láminas o lámelas y vierte por reboso por vertederos de forma triangular, a 18 hileras de canales secundarios de acero inoxidable que entregan de igual forma al canal de agua sedimentada (canal superior de recolección de agua sedimentada).

Los sedimentadores de alta rata como los que se han incluido en la planta EL DORADO, consisten esencialmente en una serie de láminas planas paralelas de acero inoxidable, colocadas en un tanque apropiado, con un ángulo de 55° de inclinación, de modo que el agua ascienda por ellas con flujo laminar. Las placas están espaciadas solamente 5 cm, el floc se deposita en muy corto tiempo sobre la superficie de estos elementos cuya área total es muy grande, teniendo entonces el floc la oportunidad de deslizarse hacia el fondo del sedimentador, con lo que se producen dos corrientes: una de flujo de agua hacia arriba y otra de lodo hacia abajo.

Para que estos decantadores trabajen correctamente, es indispensable que el flujo dentro de las placas no tenga la menor turbulencia. Por tanto, cualquier obstáculo que se coloque dentro de las placas, tal como un saliente o clavo o listón de madera que pueda crear agitación, deteriora la eficiencia del proceso.

Figura 5. Detalle en el sedimentador de placas y vertederos planta EL DORADO



2. DESARROLLO

Este proyecto se realizó bajo una idea, supervisión, y asesoría permanente del ingeniero Álvaro Orozco Jaramillo. Se planteó en dos etapas, en las cuales se cambió la inclinación de las placas y los agujeros de entrada y salida de ellas.

2.1 SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS A 45°

2.1.1 Diseño

Se diseñó un prototipo de sedimentador que consta de un canal de entrada, un vertedero rectangular, una cámara de estabilización, una placa perforada de ingreso, el decantador de placas paralelas, vertedero de salida y un canal de salida, ver diseños en Anexo A

Fotografía 1. Vista frontal del decantador



Fotografía 2. Vista en planta del decantador



2.1.2 Montaje del sistema

El decantador fue instalado en la planta EL DORADO sobre el tanque de almacenamiento de agua tratada adjunto al sedimentador número uno.

Fotografía 3. Vista general de sitio de ubicación del decantador



El sistema se instaló en un andamio con el fin de darle la altura necesaria para alcanzar el nivel del agua donde se va a tomar, para pasarla por el decantador experimental.

Fotografía 4. Vista general del montaje del sistema



El agua fue tomada de un canal que denominan como canal 3 en el sedimentador número 1 de la planta EL DORADO. El agua es llevada a través de una manguera desde este canal hasta el canal de entrada del sedimentador experimental.

Fotografía 5. Vista de la toma de agua



Luego que el agua pasa por el decantador, sale sin sedimentos a través del canal de salida y a su vez es transportada por una manguera a unos tanques de almacenamiento para ser dispuesta después en la planta de tratamiento de lodos, debido a que no es posible devolverla al sistema de tratamiento de agua EL DORADO.

Fotografía 6. Vista salida del sedimentador



2.1.3 Operación del sistema con distintas TDS

Se experimentó con diferentes caudales variándolos de distinta forma durante 11 días, con estas variaciones de caudal y establecida el área superficial se calcularon las diferentes tasas de desbordamiento superficial, para determinar al final con cuál de estas tasas es que es viable trabajar este prototipo de sedimentador.

Tabla 2. Determinación del área superficial para las placas de 45°

Lamina 1	0.03
Lamina 2	0.06
Lamina 3	0.09
Lamina 4	0.12
Lamina 5	0.15
Lamina 6	0.15
Lamina 7	0.12
Lamina 8	0.09
Lamina 9	0.06
Lamina 10	0.03
Total A_s	0.90 m²

A continuación se presentan los resultados de los distintos experimentos diarios, las tomas de turbiedades, remoción de aluminio y sólidos totales; también las Gráficas comparativas de las turbiedades de agua cruda, agua sedimentada en el sedimentador uno de la planta EL DORADO y el agua sedimentada en el decantador experimental. Además se muestran algunas observaciones en el caso que sea necesario.

Tabla 3. Datos día 1 con TDS = 0.365 m³/h/m²

TDS = 0.365 m³/h/m²

Dia 1 7/X/2003

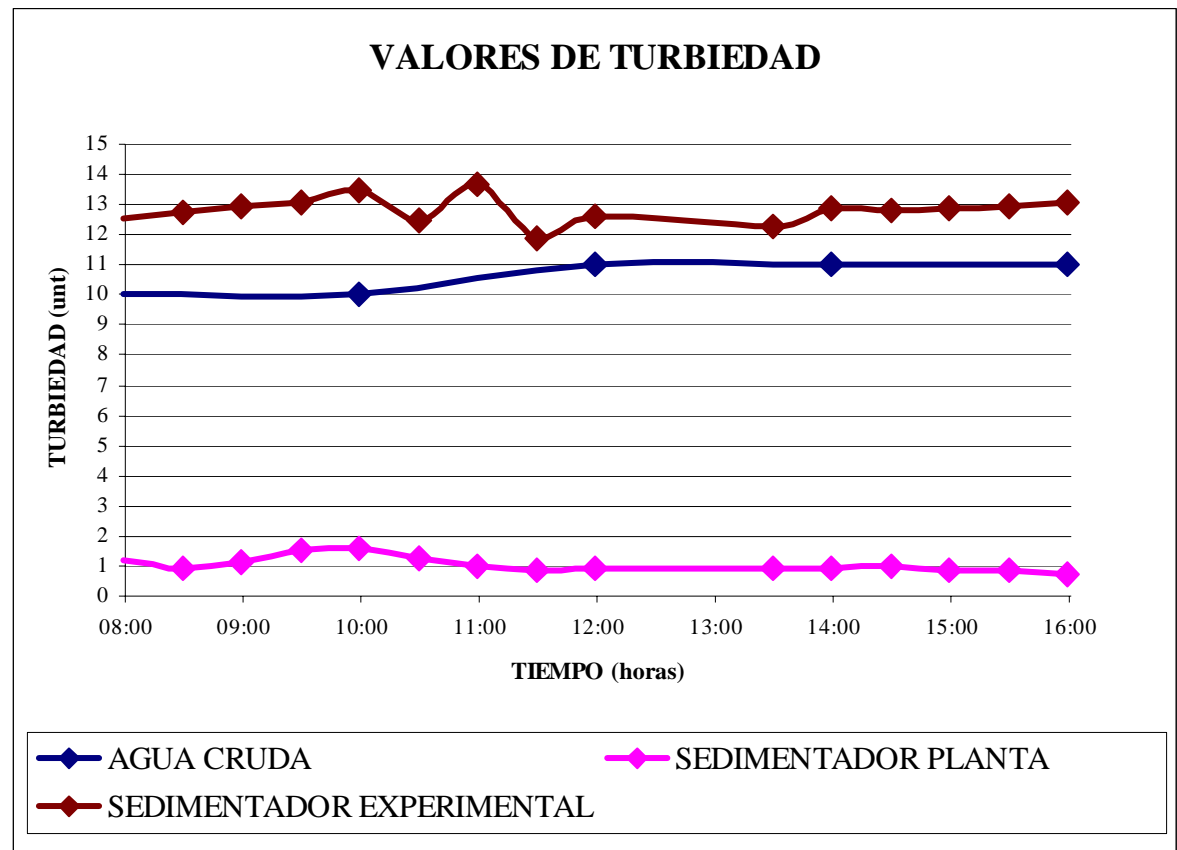
Q=11/11.53s Q=0.31m³/h AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	10	1.20	12.54
08:30		0.95	12.74
09:00		1.11	12.95
09:30		1.54	13.05
10:00	10	1.56	13.50
10:30		1.24	12.50
11:00		0.98	13.70
11:30		0.85	11.90
12:00	11	0.94	12.60
13:30		0.96	12.30
14:00	11	0.94	12.90
14:30		1.01	12.80
15:00		0.87	12.90
15:30	11	0.88	12.94
16:00		0.76	13.06

REMOSION DE ALUMINIO	ENTRADA mg/l	SALIDA PLANTA mg/l	SALIDA SEDIMENTADOR mg/l
	0.26	0.04	0.14

SOLIDOS TOTALES	ENTRADA mg/l	SALIDA mg/l
	626	302

Gráfica 1. Datos día 1 con TDS = 0.365 m³/h/m²



Observaciones:

Se observa que la salida de agua sedimentada en el decantador experimental es muy mala porque sale mucho más turbia que el agua cruda de entrada a la planta, lo que prueba que con esta TDS no es viable la utilización de este decantador. Además se presentó un problema hidráulico en la tolva de lodos que fue corregido días después de estas tomas y sus cambios se verán mas adelante.

Tabla 4. Datos día 2 con TDS = $0.053 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TDS = $0.053 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Dia 2 8/X/2003

Q=11/80s

Q=0.045m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9	0.87	5.02
08:30		0.65	4.66
09:00		0.47	4.74
09:30		0.50	4.87
10:00	9	0.78	4.50
10:30		0.64	4.39
11:00		0.49	4.19
11:30		0.85	4.00
12:00	10	0.95	3.43
13:30		0.84	3.53
14:00	10	0.62	3.54
14:30		0.69	3.25
15:00		0.64	3.05
15:30		0.88	3.02
16:00	10	0.86	3.14

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.21

0.05

0.07

SOLIDOS
TOTALES

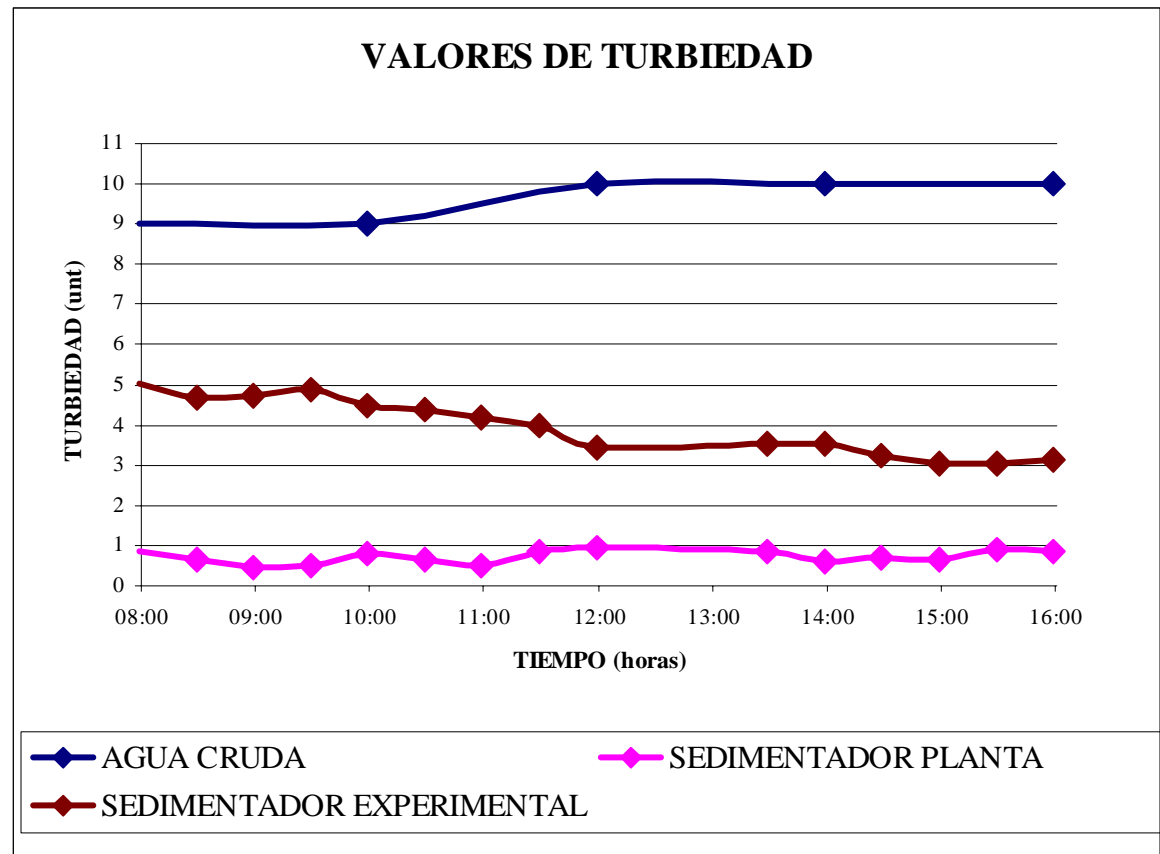
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

224

32

Gráfica 2. Datos día 2 con TDS = 0.053 m³/h/m²



Observaciones:

Se observa que la salida de agua sedimentada en el decantador experimental es mala porque sale más turbia que el agua cruda de entrada a la planta, aunque mejoró la calidad con respecto a la anterior, aún no es suficiente para una buena calidad de remoción

Tabla 5. Datos día 3 con TDS = 0.053 m³/h/m²

TDS = 0.053 m³/h/m²

Dia 3 9/X/2003

Q=11/80s

Q=0.045m³/h

AS = 0.9 M²

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	8.7	1.44	3.52
08:30		0.81	2.73
09:00		0.74	1.67
09:30		1.53	1.72
10:00	8.8	0.61	2.90
10:30		1.41	3.20
11:00		1.24	2.92
11:30		0.95	3.60
12:00	9	0.94	3.30
13:30		0.95	2.97
14:00	9	0.84	3.39
14:30		0.64	3.57
15:00		0.74	3.34
15:30	9	0.83	3.60
16:00		0.86	3.41

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.17

0.02

0.04

SOLIDOS
TOTALES

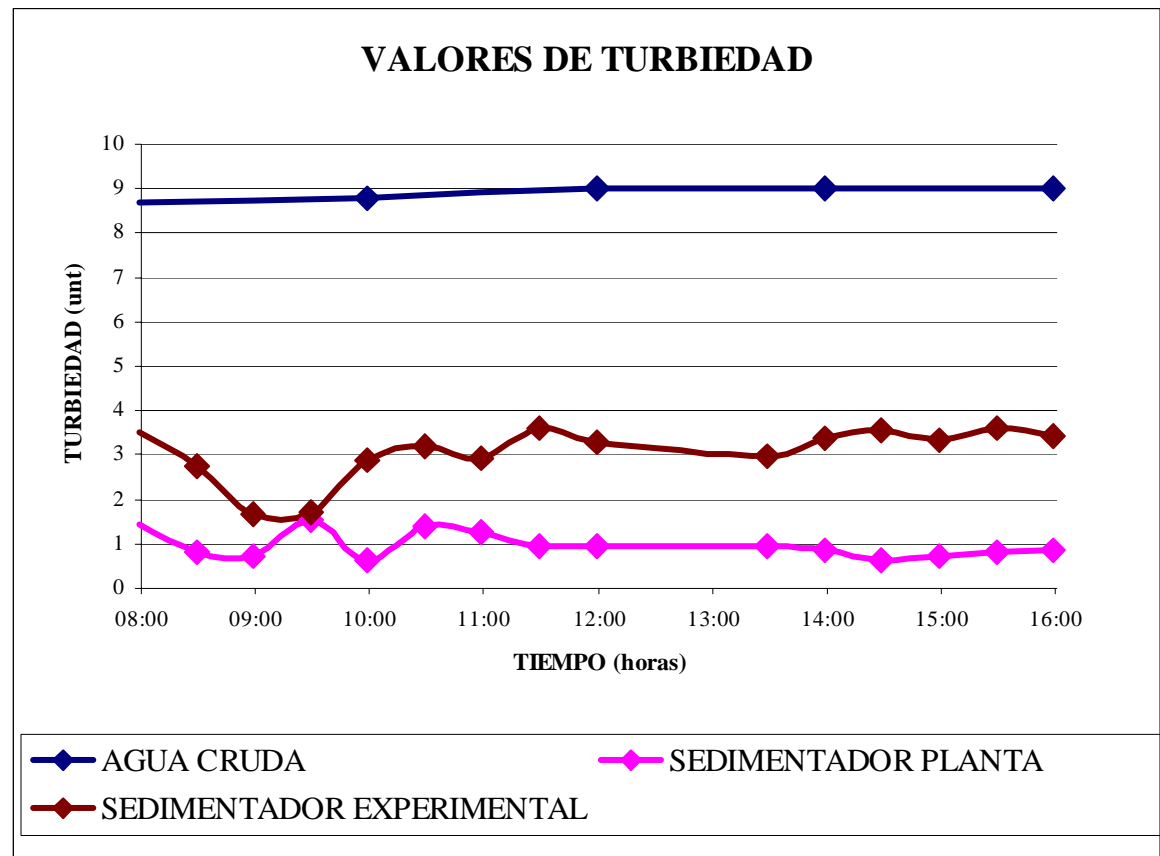
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

130

20

Gráfica 3. Datos día 3 con TDS = 0.053 m³/h/m²



Observaciones:

A partir de este día se corrigió el problema hidráulico en la tolva de lodos, aunque la salida de agua sedimentada mejoró con respecto a la del día anterior, aún sigue siendo mala porque sale más turbia que el agua cruda de entrada a la planta.

Tabla 6. Datos día 4 con TDS = 0.22 m³/h/m²

TDS = 0.22 m³/h/m²

Dia 4 10/X/2003

Q=11/19s

Q=0.189m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	8.9	0.89	10.20
08:30		0.85	8.17
09:00		1.12	7.40
09:30		1.48	10.11
10:00	8.8	1.32	7.60
10:30		1.21	9.50
11:00		1.08	8.10
11:30		1.58	8.50
12:00	8.5	0.94	8.94
13:30		0.84	8.36
14:00	8.6	0.65	8.24
14:30		0.54	8.57
15:00		0.69	8.00
15:30		0.54	7.95
16:00	8.4	0.75	8.49

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.13

0.02

0.07

SOLIDOS
TOTALES

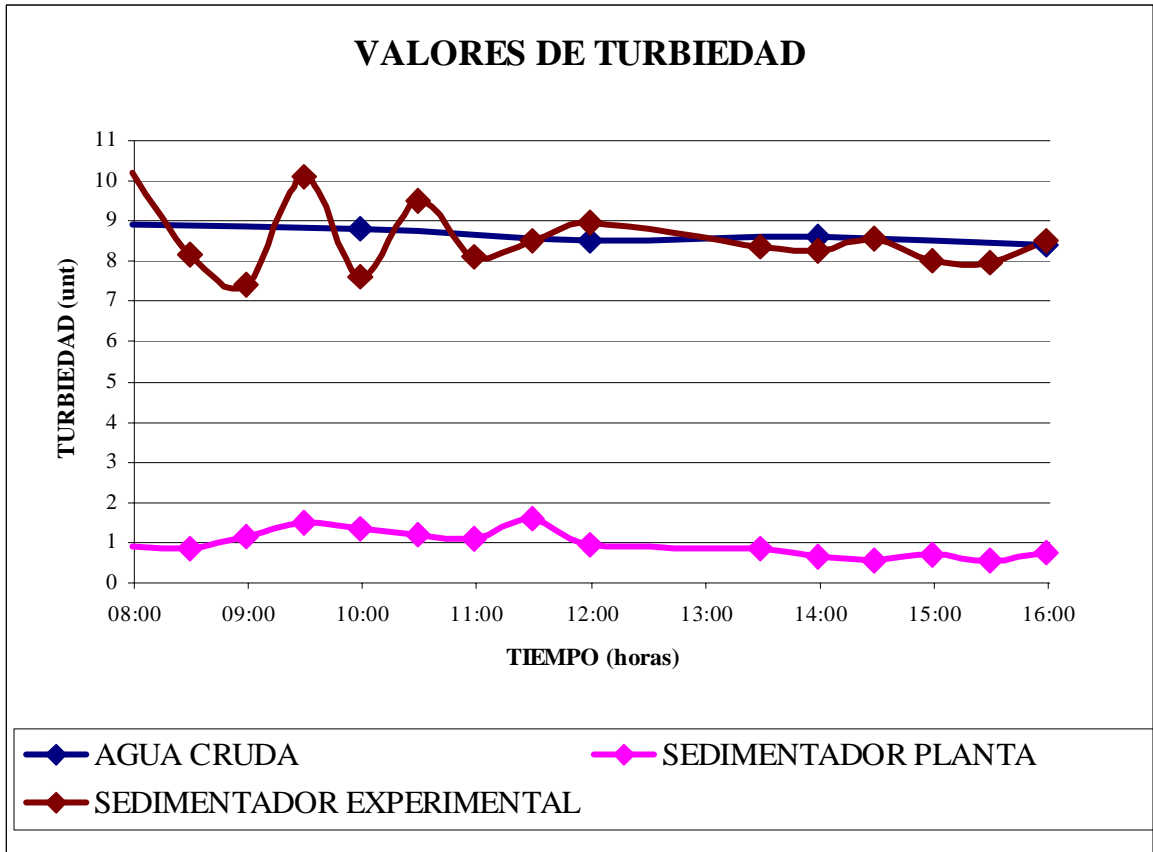
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

256

42

Gráfica 4. Datos día 4 con TDS = 0.22 m³/h/m²



Observaciones:

Se presenta el mismo problema anterior y con esta tasa tampoco funciona efectivamente el decantador.

Tabla 7. Datos día 5 con TDS = 0.22 m³/h/m²

TDS = 0.22 m³/h/m²

Dia 5 12/X/2003

Q=11 /19s

Q=0.189m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	8.3	0.78	7.47
08:30		0.64	7.37
09:00		0.49	7.71
09:30		0.85	7.42
10:00	8.2	0.95	8.71
10:30		0.84	8.90
11:00		1.08	7.25
11:30		0.95	7.30
12:00	8	0.84	7.24
13:30		0.64	7.15
14:00	8.1	0.65	7.69
14:30		0.78	7.19
15:00		0.64	7.98
15:30		0.58	7.14
16:00	8	0.90	7.16

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.07

0.015

0.03

SOLIDOS
TOTALES

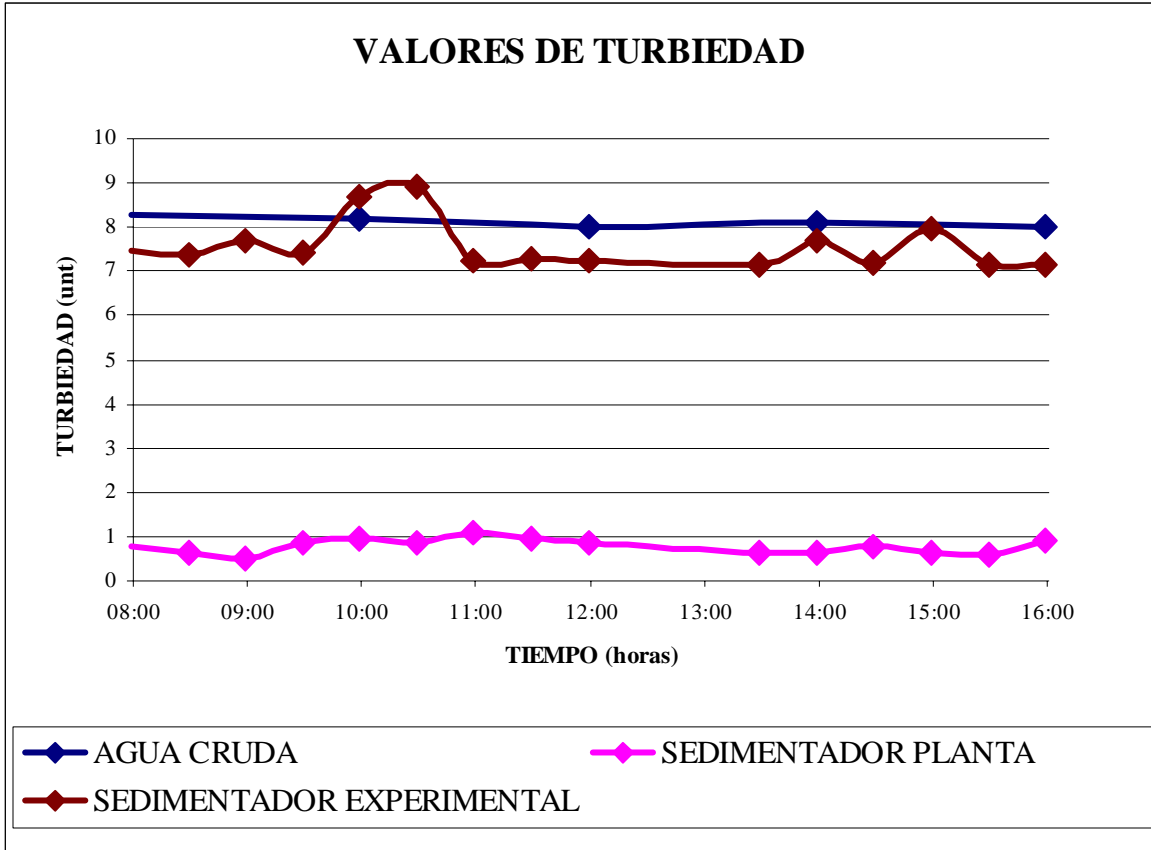
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

180

98

Gráfica 5. Datos día 5 con TDS = 0.22 m³/h/m²



Observaciones:

Se presenta el mismo problema y no está funcionando efectivamente el decantador.

Tabla 8. Datos día 6 con TDS = 0.22 m³/h/m²

TDS = 0.22 m³/h/m²

Dia 6 13/X/2003

Q=11 /19s

Q=0.189m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	8.5	0.87	8.30
08:30		0.84	7.40
09:00		0.64	8.80
09:30		0.65	6.90
10:00	8.5	0.84	7.30
10:30		1.24	7.70
11:00		1.08	7.24
11:30		0.95	7.29
12:00	8.2	0.79	7.54
13:30		0.81	7.46
14:00	8.3	1.02	7.12
14:30		1.12	7.98
15:00		0.95	7.64
15:30		0.74	7.25
16:00	8.5	0.65	7.16

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.14

0.01

0.05

SOLIDOS
TOTALES

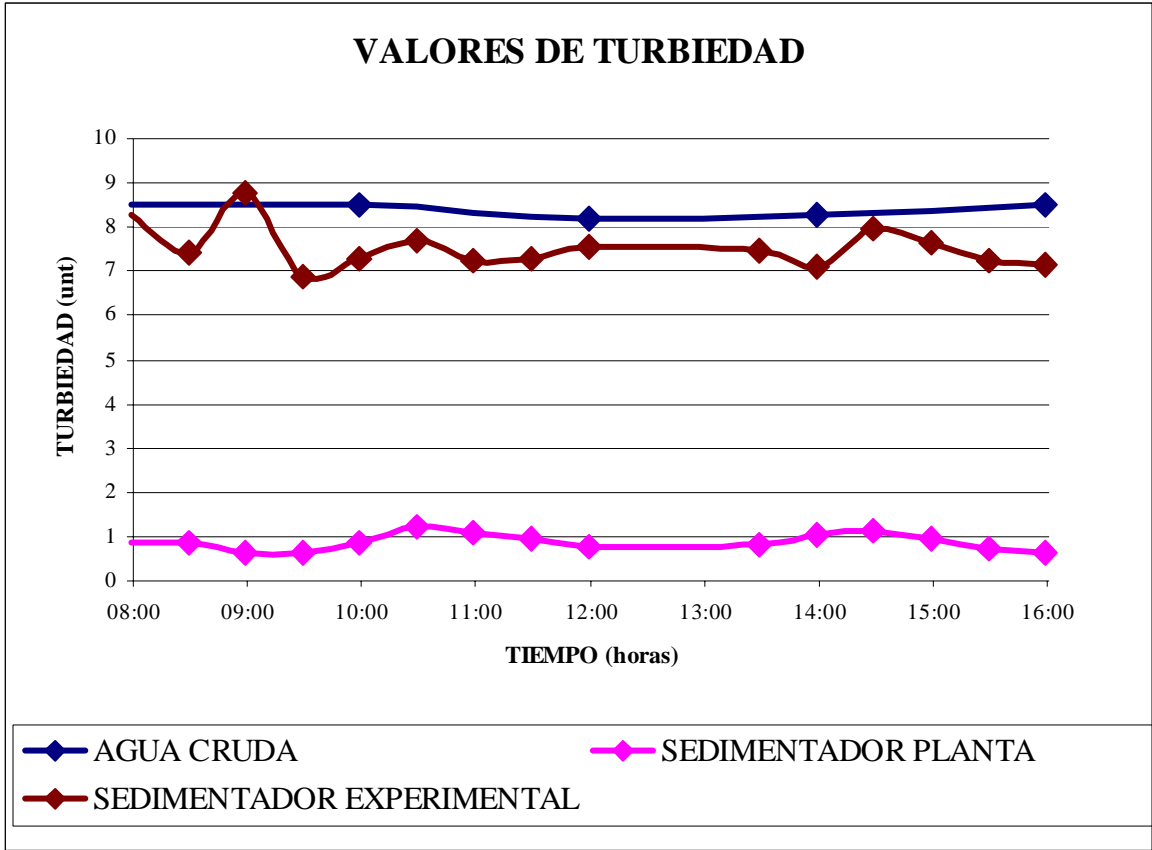
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

214

112

Gráfica 6. Datos día 6 con TDS = 0.22 m³/h/m²



Observaciones:

Se presenta el problema del mal funcionamiento del decantador.

Tabla 9. Datos día 7 con TDS = $0.11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TDS = $0.11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Día 7 16/X/2003

Q=1lt/38s

Q=0.095m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	19	0.87	4.57
08:30		0.84	4.65
09:00		0.95	5.12
09:30		0.84	5.24
10:00	18	0.64	4.36
10:30		1.24	4.87
11:00		0.54	4.59
11:30		0.85	5.12
12:00	18	0.98	5.35
13:30		0.74	5.47
14:00	17	1.02	4.89
14:30		0.45	5.10
15:00		0.56	5.22
15:30		0.64	4.55
16:00	18	0.56	4.87

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.14

0.02

0.05

SOLIDOS
TOTALES

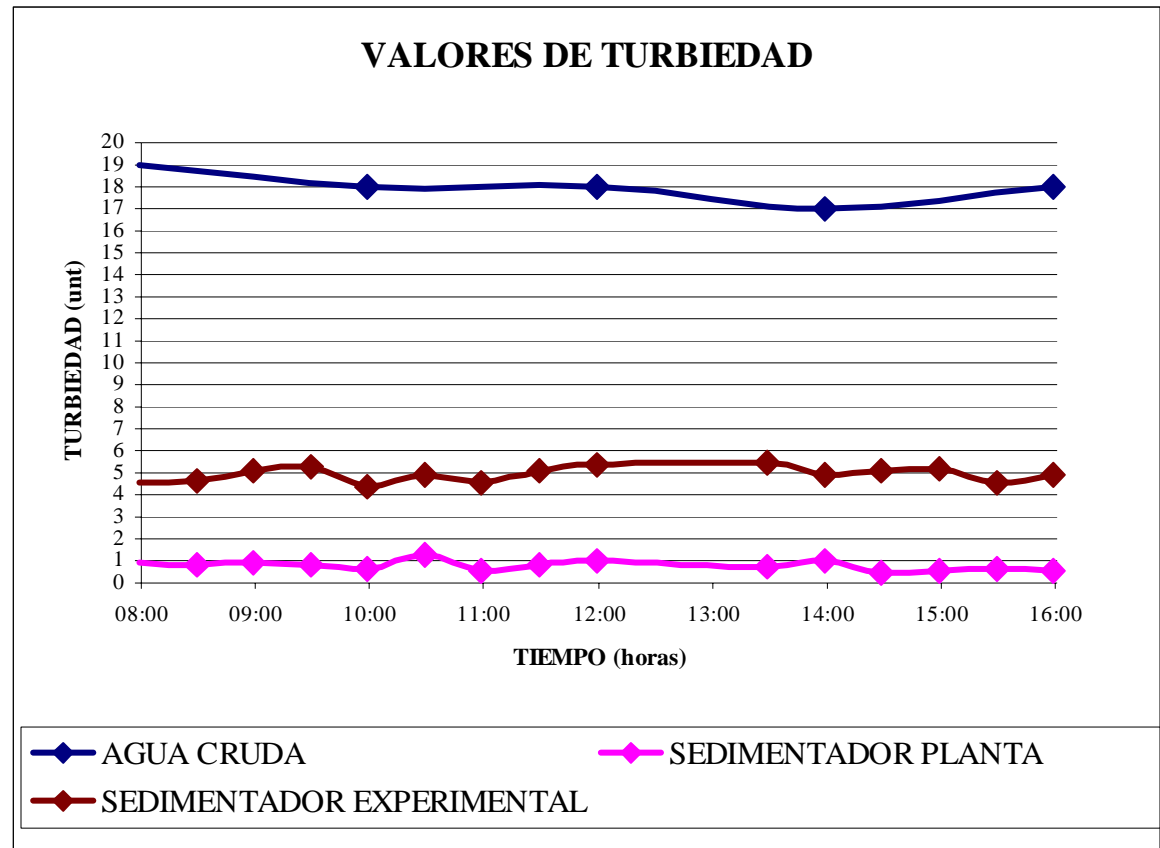
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

154

73

Gráfica 7. Datos día 7 con TDS = 0.11 m³/h/m²



Observaciones:

Se presenta el problema del mal funcionamiento del decantador, aunque en menor escala debido a que la TDS bajó también un poco.

Tabla 10. Datos día 8 con TDS = 0.11 m³/h/m²

TDS = 0.11 m³/h/m²

Dia 8 17/X/2003

Q=1lt/38s

Q=0.095m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	16	0.81	4.70
08:30		0.74	4.83
09:00		1.53	5.10
09:30		0.84	4.85
10:00		0.64	4.50
10:30	16	1.08	5.20
11:00		0.95	5.40
11:30		0.84	5.90
12:00		0.98	5.30
13:30		0.57	5.71
14:00	16	0.69	6.90
14:30		0.48	5.45
15:00		0.87	5.69
15:30		0.74	5.87
16:00		0.86	5.23

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.15

0.02

0.05

SOLIDOS
TOTALES

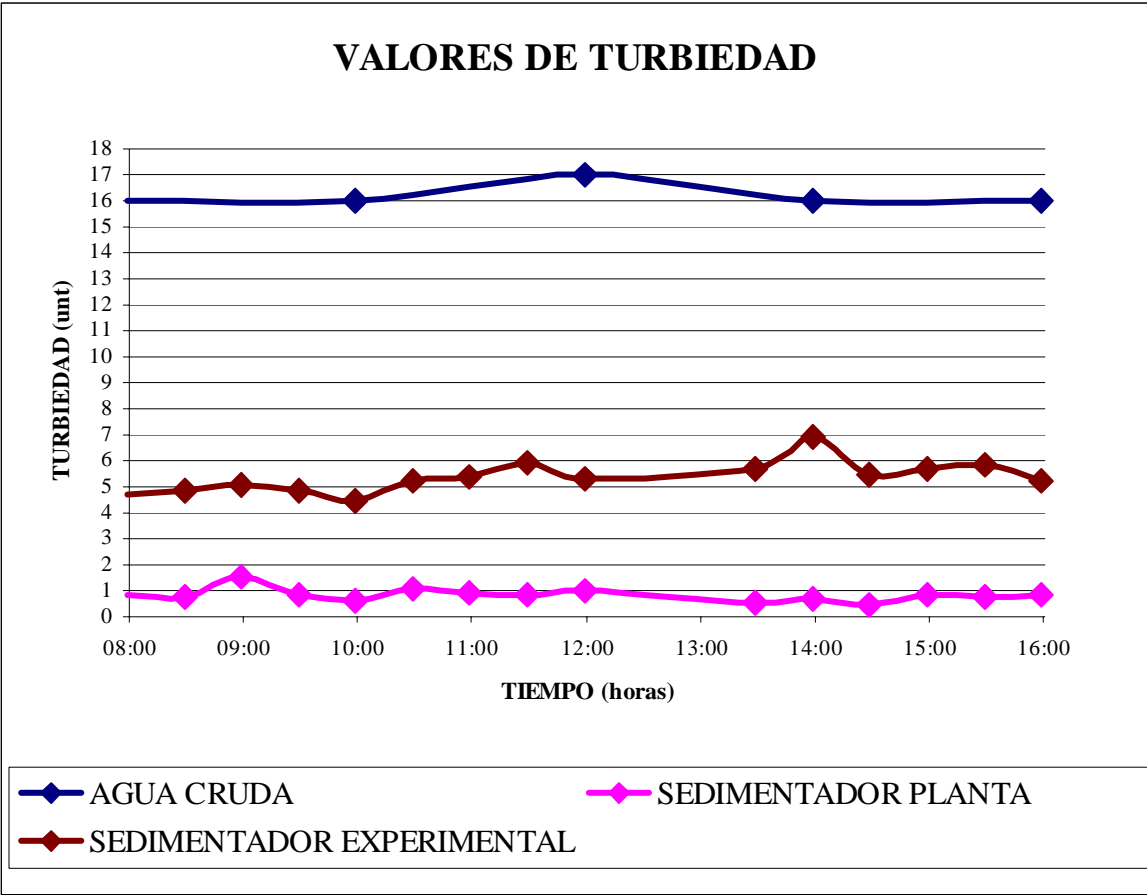
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

145

65

Gráfica 8. Datos día 8 con TDS = 0.11 m³/h/m²



Observaciones:

El problema de sedimentación continua, pero se puede observar una constante, es que no importa la turbiedad del agua cruda, la turbiedad de salida del decantador experimental siempre va a ser muy similar.

Tabla 11. Datos día 9 con TDS = 0.053 m³/h/m²

TDS = 0.053 m³/h/m²

Día 9 20/X/2003

Q=11/80s

Q=0.045m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	12	0.65	2.84
08:30		0.84	2.81
09:00		1.24	2.83
09:30		1.08	2.51
10:00	12	0.85	2.94
10:30		0.64	2.27
11:00		0.58	2.77
11:30		0.59	2.66
12:00	13	0.48	2.08
13:30		0.95	2.85
14:00	13	0.65	2.94
14:30		0.45	2.10
15:00		0.43	2.63
15:30		0.87	2.79
16:00	14	0.64	2.22

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.18

0.03

0.05

SOLIDOS
TOTALES

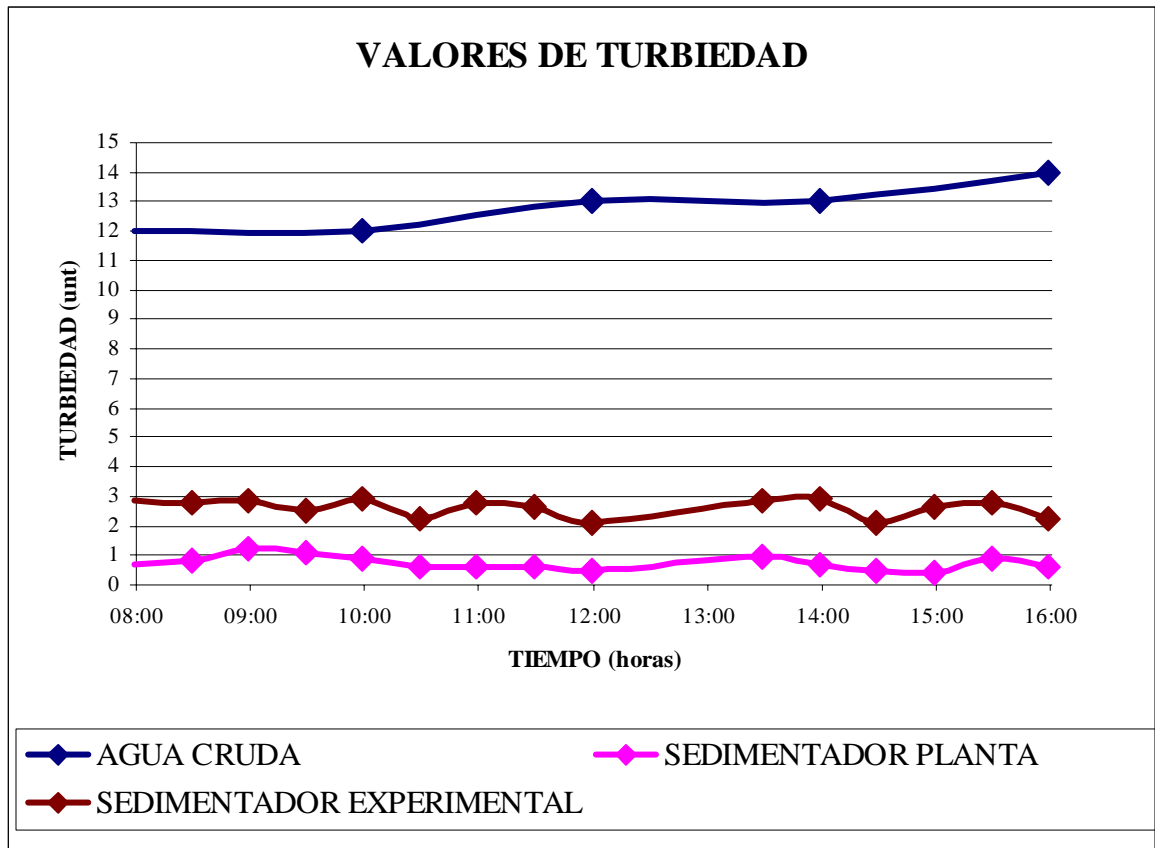
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

102

34

Gráfica 9. Datos día 9 con TDS = 0.053 m³/h/m²



Observaciones:

Con esta TDS se mejoró bastante la calidad del agua, es buena hasta el punto de que por normatividad es válida, pero en comparación con los de la planta EL DORADO aún es un poco alta.

Tabla 12. Datos día 10 con TDS = 0.019 m³/h/m²

TDS = 0.019 m³/h/m²

Dia 10 21/X/2003

Q=11/210s

Q=0.0171m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	14	0.65	0.94
08:30		0.49	0.89
09:00		0.54	1.01
09:30		0.47	0.83
10:00	14	0.83	0.91
10:30		0.91	0.83
11:00		0.58	1.03
11:30		0.83	0.94
12:00	13	0.91	0.95
13:30		0.74	0.86
14:00		0.76	0.87
14:30		0.61	1.03
15:00	13	0.71	1.09
15:30		0.78	0.99
16:00		0.69	0.91

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.14

0.01

0.01

SOLIDOS
TOTALES

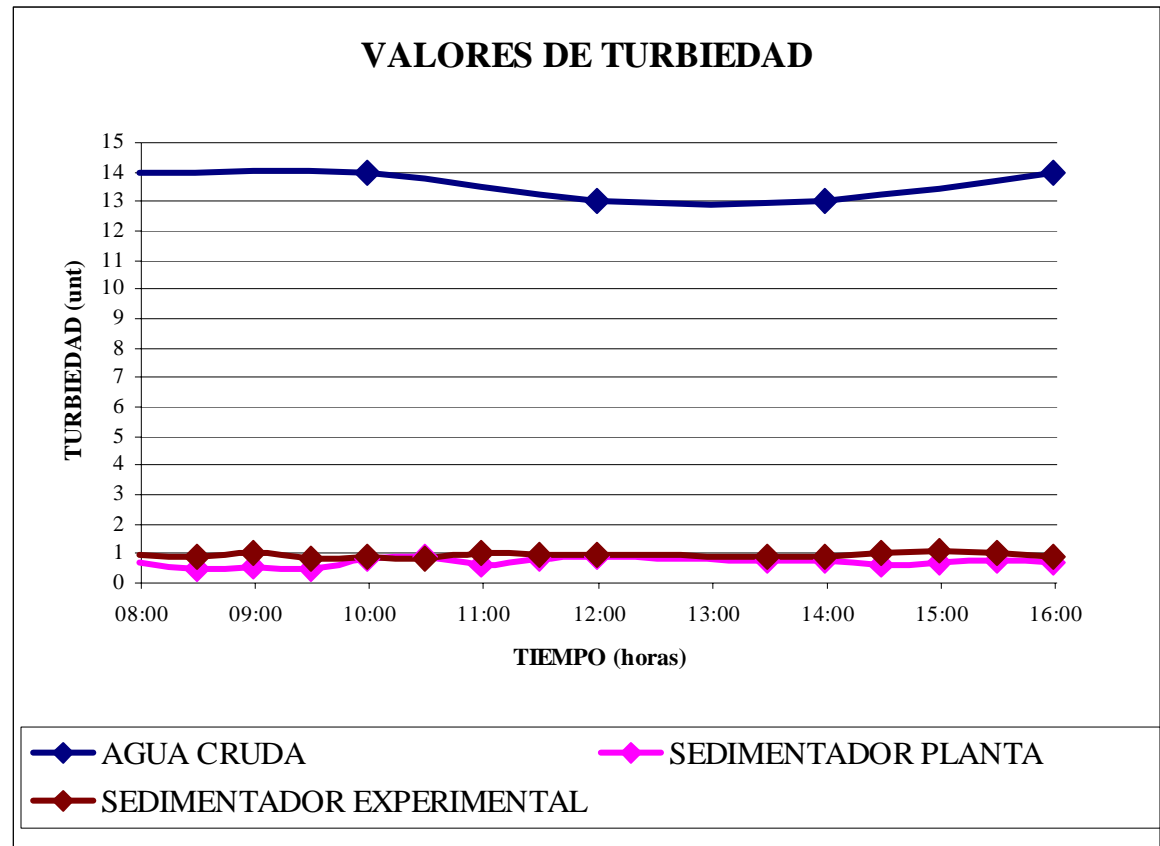
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

58

8

Gráfica 10. Datos día 10 con TDS = 0.019 m³/h/m²



Observaciones:

Esta TDS es la mejor, ya que además de cumplir con las normas establecidas por el gobierno está igualando la calidad de agua de salida de los sedimentadores de la planta EL DORADO.

Tabla 13. Datos día 11 con TDS = 0.019 m³/h/m²

TDS = 0.019 m³/h/m²

Dia 11 22/X/2003

Q=11/210s

Q=0.0171m³/h

AS = 0.9 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	11	0.84	0.95
08:30		0.64	0.87
09:00		0.65	0.85
09:30		0.84	0.86
10:00	12	1.24	0.82
10:30		1.08	0.81
11:00		1.08	0.86
11:30		0.95	0.84
12:00	12	0.84	0.87
13:30		0.64	0.88
14:00		0.89	0.92
14:30	11	0.65	0.96
15:00		0.57	0.94
15:30		0.78	0.98
16:00	11	0.58	0.99

REMOCIÓN
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.15

0.01

0.01

SOLIDOS
TOTALES

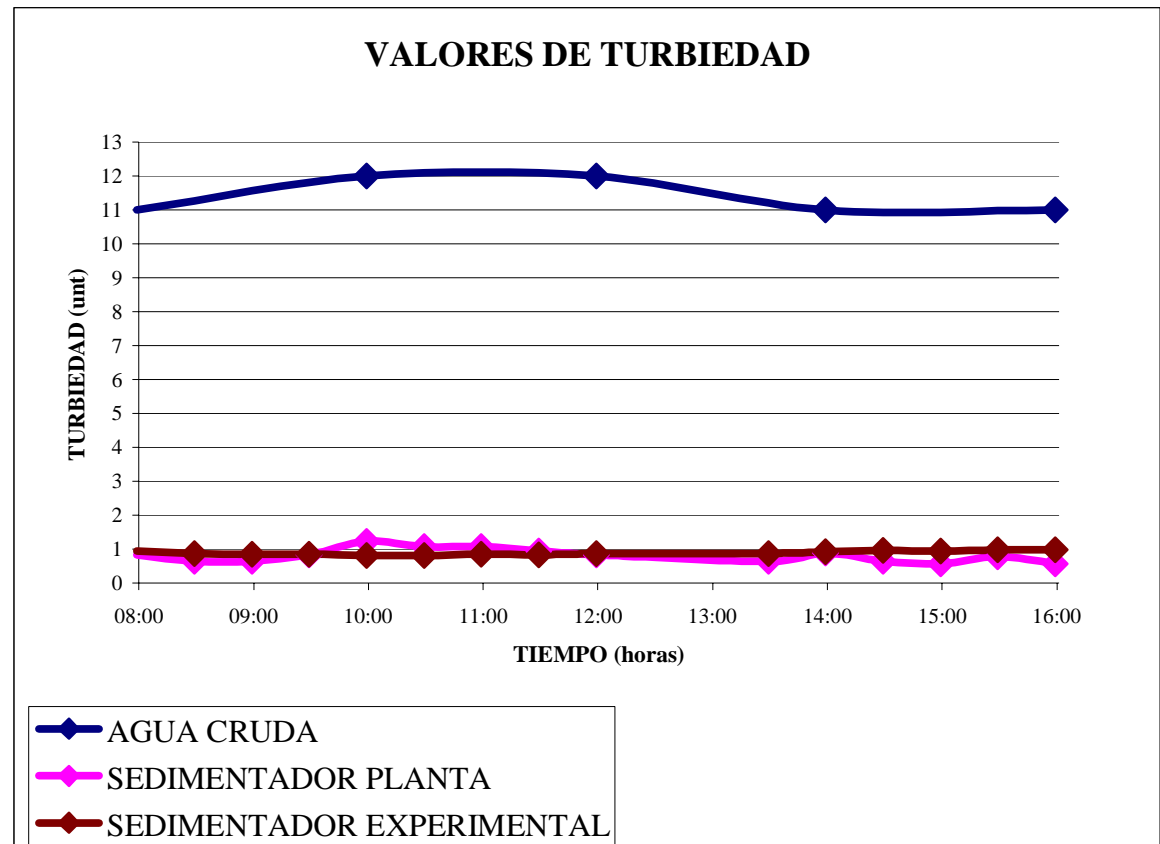
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

90

16

Gráfica 11. Datos día 11 con TDS = 0.019 m³/h/m²



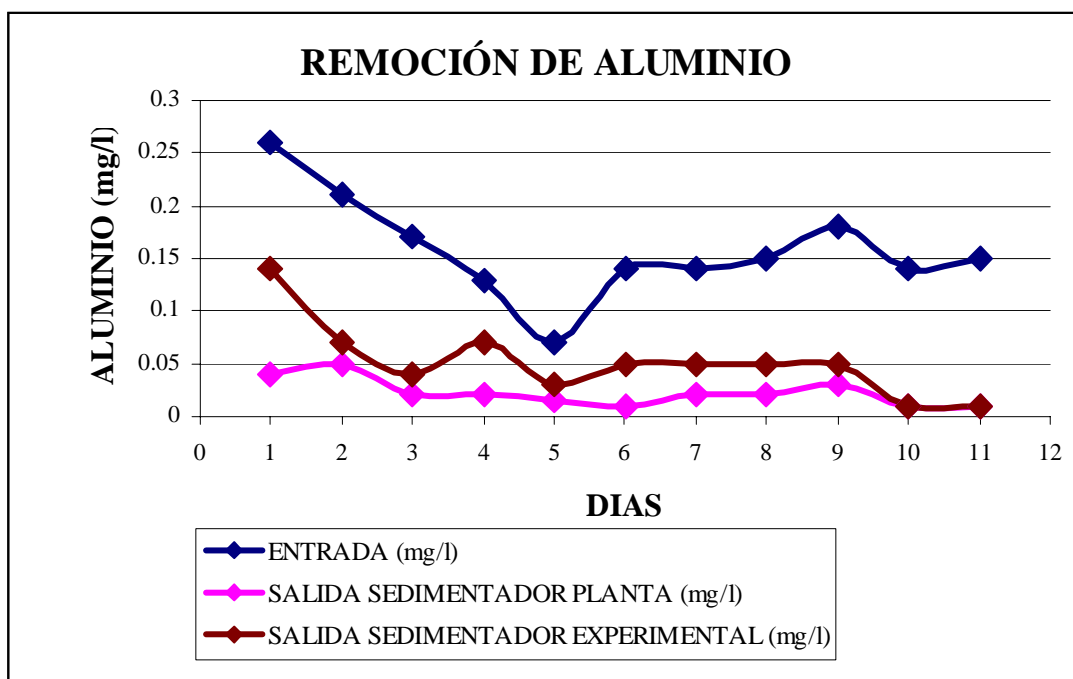
Observaciones:

Se comprueba que esta es la TDS adecuada para trabajar este sedimentador bajo esta condiciones y problemas que más adelante se enunciarán, se igualó a la calidad de agua de salida de los sedimentadores de la planta EL DORADO.

Tabla 14. Remoción de aluminio de los 11 días

REMOCIÓN DE ALUMINIO			
	ENTRADA (mg/l)	SALIDA SEDIMENTADOR PLANTA (mg/l)	SALIDA SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL (mg/l)
DIA 1	0.26	0.04	0.14
DIA 2	0.21	0.05	0.07
DIA 3	0.17	0.02	0.04
DIA 4	0.13	0.02	0.07
DIA 5	0.07	0.015	0.03
DIA 6	0.14	0.01	0.05
DIA 7	0.14	0.02	0.05
DIA 8	0.15	0.02	0.05
DIA 9	0.18	0.03	0.05
DIA 10	0.14	0.01	0.01
DIA 11	0.15	0.01	0.01

Gráfica 12. Remoción de aluminio de los 11 días

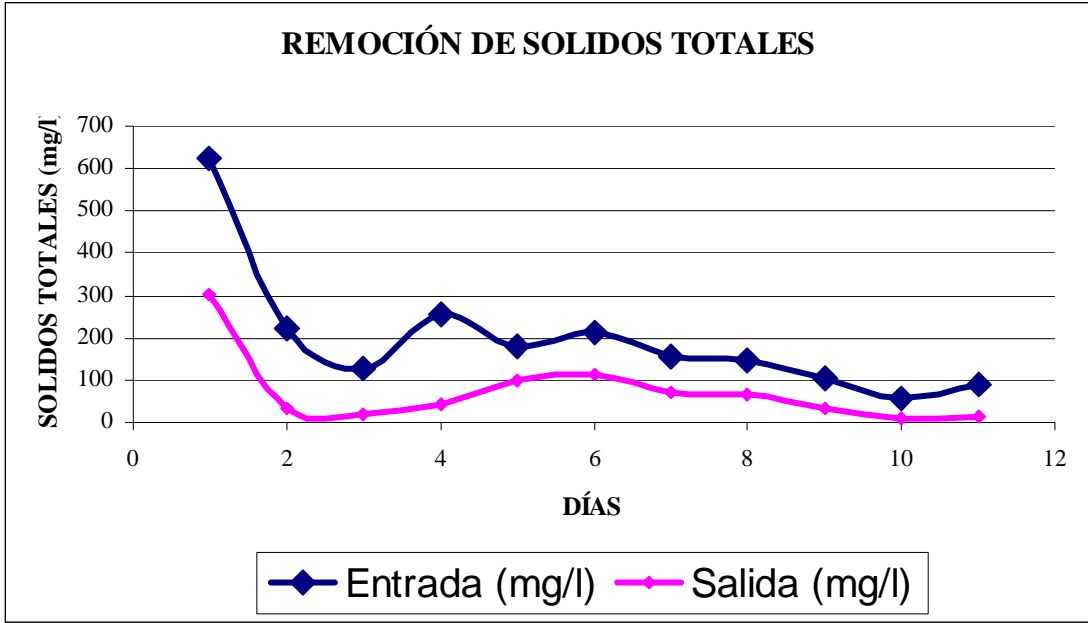


Se presenta la misma tendencia que con la turbiedad, a menor TDS mejor remoción de aluminio del agua.

Tabla 15. Remoción de sólidos totales de los 11 días

SOLIDOS TOTALES		
Día	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)
1	626	302
2	224	32
3	130	20
4	256	42
5	180	98
6	214	112
7	154	73
8	145	65
9	102	34
10	58	8
11	90	16

Gráfica 13. Remoción de sólidos totales de los 11 días



Al igual que con turbiedad y remoción de aluminio, se presenta mejora a medida que se va llegando a la TDS óptima de funcionamiento

2.1.4 Identificación de problemas

En este sistema se presentaron varios problemas como lo son:

2.1.4.1 Tolva de lodos

En el diseño preliminar se dejó un espacio debajo de la placa perforada de ingreso al sedimentador, pero por este espacio pasaba el agua haciendo que los lodos que estaban decantados en la tolva se mezclasen por la turbulencia ocasionada por esta agua y se volvieran a mezclar con el agua, desmejorando la capacidad de remoción de partículas suspendidas en ella (floc).

Fotografía 7. Vista de orificio debajo de la placa perforada



2.1.4.2 Floculación

Este es el problema de mayor importancia presentado, debido a que el agua de toma para el decantador experimental debía ser tomada desde un canal en el sedimentador número 1 y la única forma de hacerse era creando un embudo con una manguera para transportar el agua.

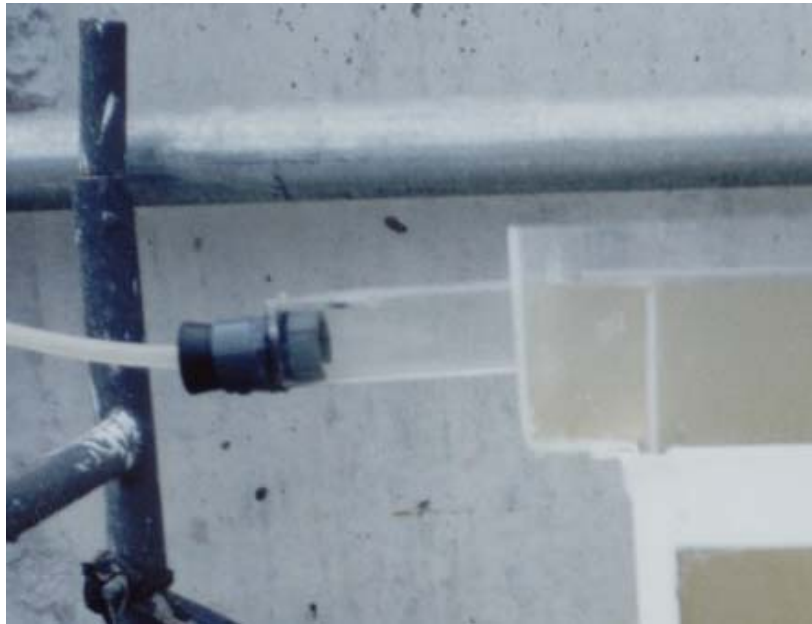
Por tal motivo se presenta un gradiente de velocidad demasiado grande dentro de la manguera que hace que el floc de más o menos 1.5 mm de diámetro ya formado en los floculadores se desvanezca, por lo cual este proceso de floculación propiamente dicho debe volverse a iniciar en la cámara de estabilización.

Este problema de floculación es de vital importancia porque debido a este rompimiento del floc la calidad de remoción del sedimentador baja demasiado.

2.1.4.3 Vertedero de entrada

Debido al problema anteriormente mencionado, el vertedero de entrada hace que se cause mayor turbulencia, la que produce aun más el rompimiento del floc ya formado.

Fotografía 8. Vista del vertedero de entrada



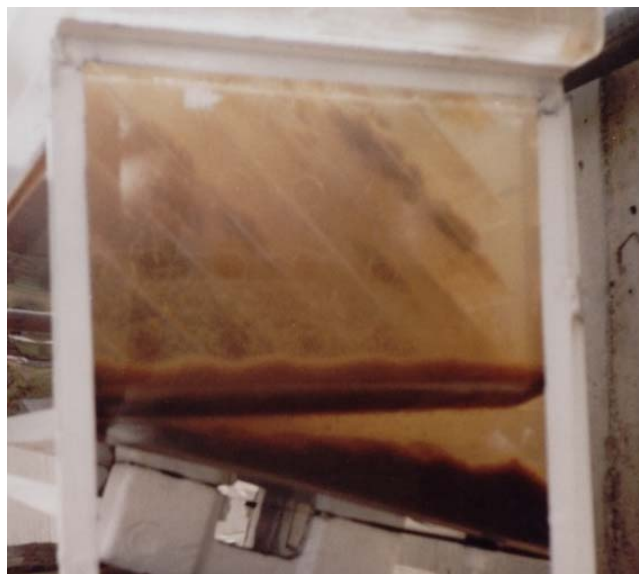
2.1.4.4 Acumulación de sólidos

La inclinación de las placas no es la suficiente para la evacuación de los sólidos sedimentados, por lo tanto éstos se acumulan sobre las placas y debido al flujo del agua, se vuelven a mezclar con ella, desmejorando la calidad de remoción de sólidos totales (floc).

Fotografía 9. Vista del floc acumulado en las placas



Fotografía 10. Vista del floc acumulado en las placas y en la tolva



2.1.5 Soluciones

2.1.5.1 Tolva de lodos

La solución para el problema planteado del levantamiento de lodos por el flujo de agua que pasa por debajo de la placa perforada, fue ampliar la placa que tiene las perforaciones hasta el fondo, con lo cual se impide el paso de flujo directamente hacia la tolva de lodos, esta corrección se realizó en el segundo día, por lo tanto a partir del tercero este problema hidráulico se solucionó.

2.1.5.2 Floculación

Para resolver el problema de floculación, se intentó realizar en una caneca una especie de floculador con una mezcla lenta, pero aún así el problema del rompimiento del floc no se pudo remediar, por lo tanto todas las pruebas se realizaron bajo esta alternativa, en una inspección visual se determina que el diámetro del floc en el punto de toma es de aproximadamente 1.5 a 2 mm, mientras que el diámetro después de pasar por la manguera de toma a la entrada del sedimentador experimental es menor a 0.5 mm, con lo cual se demuestra el grave problema de floculación presente en el experimento que afecta seriamente la calidad de remoción del sistema. Si se hubiera podido remediar este inconveniente se esperaba que el sedimentador experimental hubiese funcionado mejor y a la vez con una tasa de desbordamiento superficial mayor a la que se halló.

2.1.5.3 Vertedero de entrada

La corrección al problema del rompimiento del floc por causa del vertedero de entrada se solucionó de una forma muy simple, como lo fue removerlo del decantador experimental,

con lo cual se impidió que se siguieran presentando los problemas de turbulencia a la entrada.

2.1.5.4 Acumulación de sólidos

La solución de este problema no fue inmediata, se probó el decantador durante 11 días con esta inclinación de placas, al finalizar este tiempo se desmontó el sedimentador y se reconstruyó, aumentando la inclinación de las placas a 60°.

2.2 SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS A 60°

2.2.1 Diseño

El diseño es idéntico al de 45° a excepción del vertedero de entrada que ya no va, y el decantador de placas paralelas pasa de 45° a 60°, ver diseños en Anexo B

2.2.2 Montaje del sistema

El montaje del sistema es idéntico al que se realizó anteriormente para el decantador con las placas a 45°.

El agua fue tomada del mismo canal y se realizaron las pruebas con los diámetros de mangueras más acertados del sistema anterior.

2.2.3 Operación del sistema con distintas TDS

Se experimentó con diferentes caudales variándolos de distinta forma durante 8 días más, con estas variaciones de caudal y establecida el área superficial se calcularon las diferentes tasas de desbordamiento superficial, para determinar al final con cuál de estas tasas es que es viable trabajar este prototipo de sedimentador.

Tabla 2. Determinación del área superficial para las placas de 60°

Lamina 1	0.024
Lamina 2	0.048
Lamina 3	0.072
Lamina 4	0.0918
Lamina 5	0.0918
Lamina 6	0.0918
Lamina 7	0.0918
Lamina 8	0.084
Lamina 9	0.06
Lamina 10	0.036
Total A_s	0.69 m²

A continuación se presentan los resultados de los distintos experimentos diarios, las tomas de turbiedades, remoción de aluminio y sólidos totales; también las Gráficas comparativas de las turbiedades de agua cruda, agua sedimentada en el sedimentador uno de la planta EL DORADO y el agua sedimentada en el decantador experimental. Además se muestran algunas observaciones en el caso que sea necesario.

Tabla 16. Datos día 12 con TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Dia 12 27/X/2003

Q=1 l/22s

Q=0.16m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9.6	1.12	9.18
08:30		1.51	9.41
09:00		1.41	8.82
09:30		1.00	8.53
10:00	9.8	0.95	8.02
10:30		1.11	8.33
11:00		1.26	8.66
11:30		1.14	8.51
12:00	9.7	1.21	8.10
13:30		1.04	7.95
14:00		1.09	8.35
14:30		0.95	7.36
15:00	9.5	0.89	9.01
15:30		0.98	8.74
16:00		0.81	9.12

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.19

0.02

0.07

SOLIDOS
TOTALES

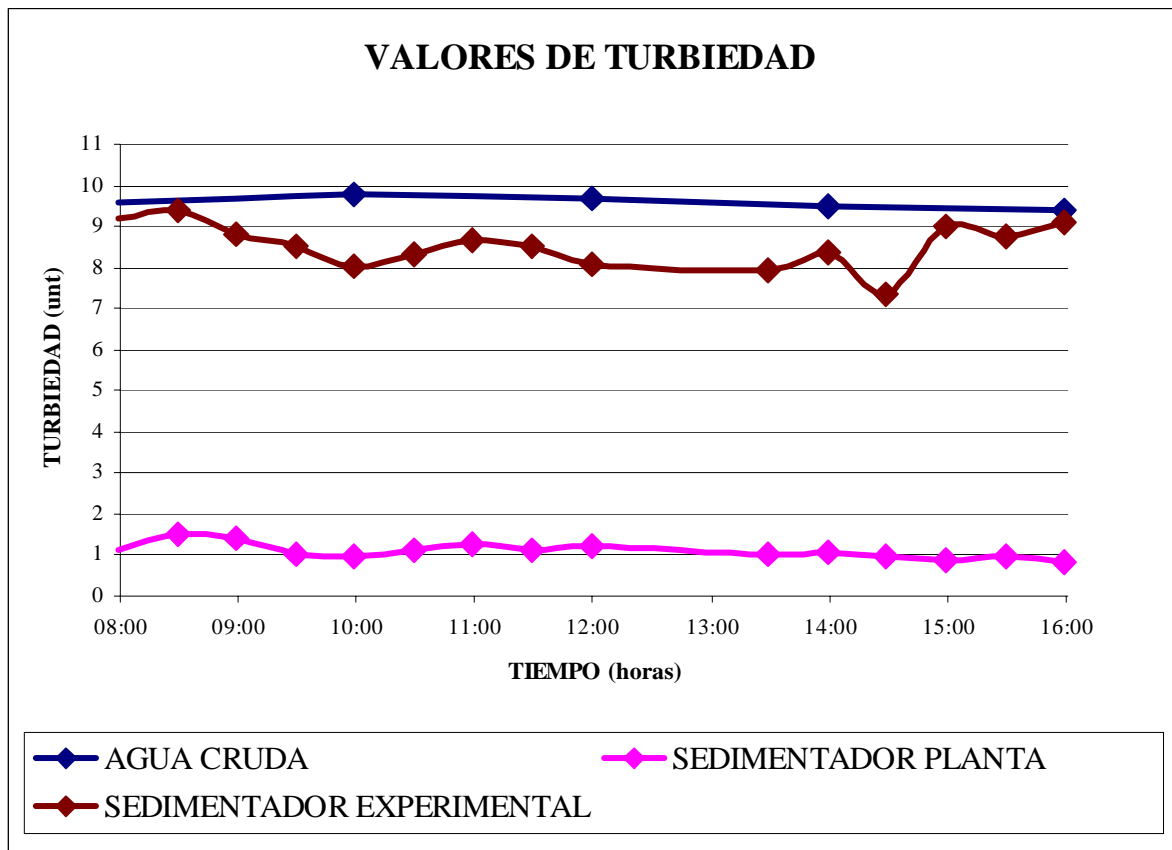
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

184

81

Gráfica 14. Datos día 12 con TDS = 0.23 m³/h/m²



Observaciones:

Se observa que la salida de agua sedimentada en el decantador experimental es mala porque sale solo un poco menos turbia que el agua cruda que entró a la planta, esto indica que se debe bajar la TDS considerablemente.

Tabla 17. Datos día 13 con TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TDS = $0.23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Dia 13 28/X/2003

Q=1 l/22s

Q=0.16m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9.4	0.94	8.65
08:30		1.10	8.54
09:00		1.04	8.41
09:30		0.95	8.59
10:00	9.3	0.99	8.70
10:30		0.84	8.35
11:00		0.59	8.15
11:30		0.45	7.94
12:00	9.9	0.74	7.85
13:30		0.84	7.41
14:00	9.4	0.91	7.36
14:30		0.93	7.66
15:00		0.89	7.23
15:30		1.07	7.98
16:00	9.2	1.31	7.39

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.17

0.02

0.05

SOLIDOS
TOTALES

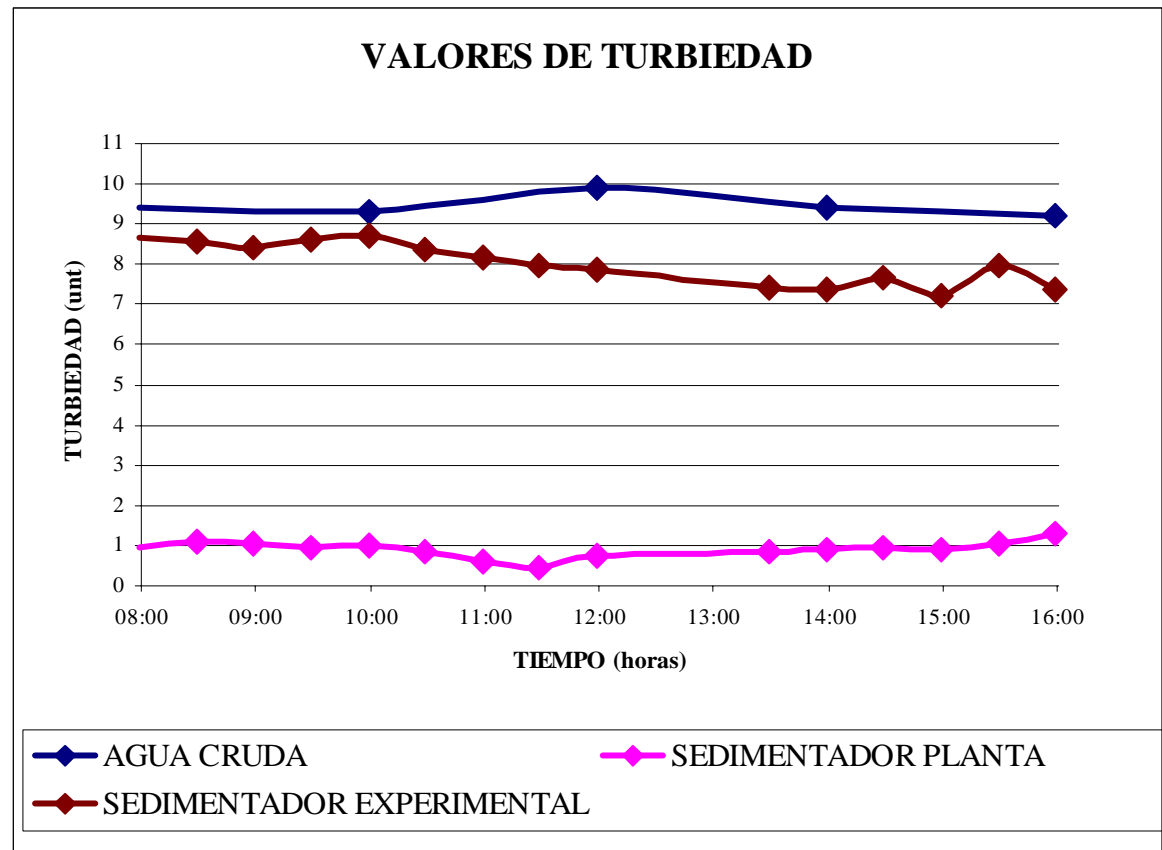
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

166

75

Gráfica 15. Datos día 13 con TDS = 0.23 m³/h/m²



Observaciones

Se observa que la salida de agua sedimentada en el decantador experimental es muy mala porque sale solo un poco menos turbia que le agua cruda que entró a la planta.

Tabla 18. Datos día 14 con TDS = $0.136 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TDS = $0.136 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Dia 14 29/X/2003

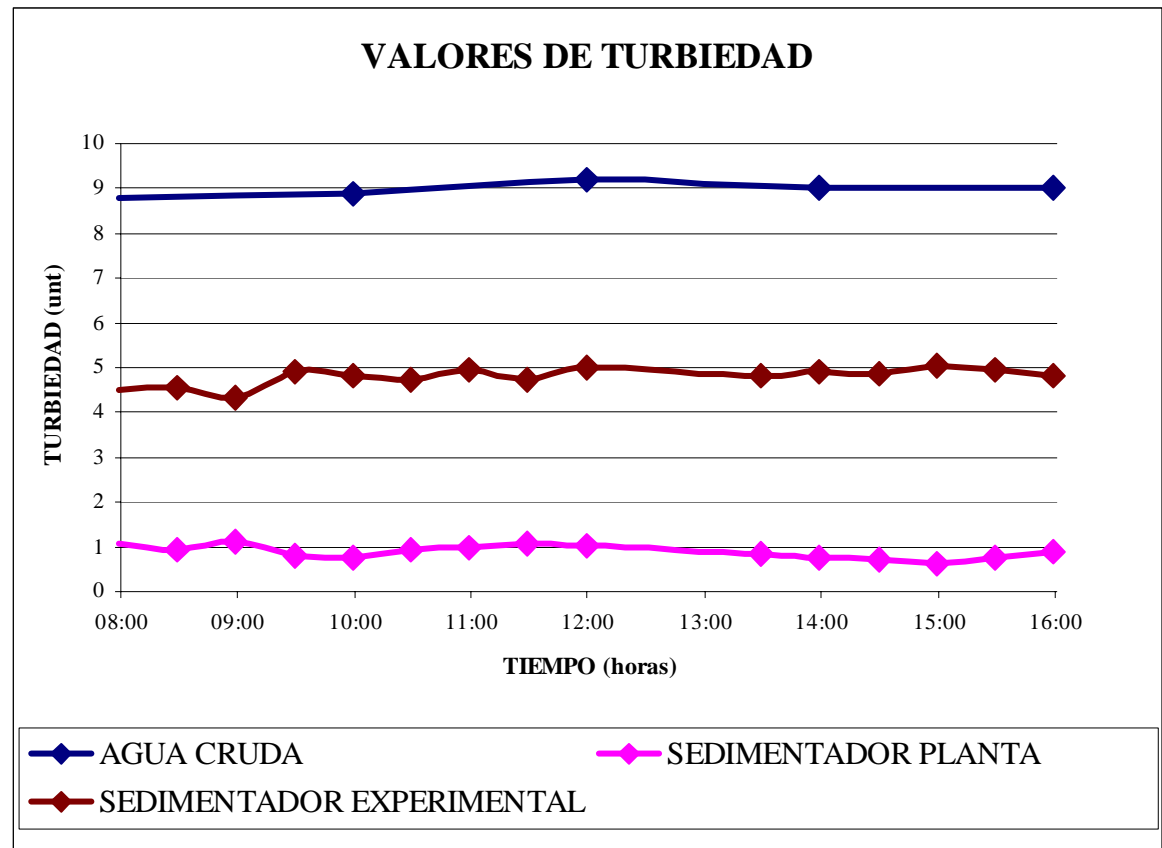
Q=1 l/38s Q=0.094m³/h AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	8.8	1.07	4.51
08:30		0.95	4.55
09:00		1.11	4.35
09:30		0.82	4.91
10:00	8.9	0.75	4.81
10:30		0.94	4.71
11:00		0.97	4.95
11:30		1.05	4.73
12:00	9.2	1.01	4.99
13:30		0.84	4.84
14:00	9	0.75	4.93
14:30		0.71	4.88
15:00	9	0.64	5.03
15:30		0.78	4.95
16:00		0.91	4.81

REMOSION DE ALUMINIO	ENTRADA mg/l	SALIDA PLANTA mg/l	SALIDA SEDIMENTADOR mg/l
	0.16	0.02	0.04

SOLIDOS TOTALES	ENTRADA mg/l	SALIDA mg/l
	129	51

Gráfica 16. Datos día 14 con TDS = 0.136 m³/h/m²



Observaciones

Se observa que la salida de agua sedimentada en el decantador experimental mejoró en calidad pero aún está lejos de alcanzar la calidad del sedimentador de la planta EL DORADO.

Tabla 19. Datos día 15 con TDS = 0.136 m³/h/m²

TDS = 0.136m³/h/m²

Dia 15 31/X/2003

Q=1 l/38s

Q=0.094m³/h

AS = 0.69 M²

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9	1.07	4.41
08:30		0.81	4.58
09:00		0.54	4.75
09:30		0.27	4.81
10:00	9.6	0.59	4.64
10:30		0.65	4.70
11:00		0.74	4.83
11:30		0.73	4.31
12:00	9.4	0.64	4.49
13:30		1.35	4.54
14:00	9.2	1.01	4.72
14:30		0.86	4.61
15:00		0.98	4.91
15:30		0.49	4.84
16:00	9.4	0.51	4.71

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR
mg/l

0.15

0.02

0.03

SOLIDOS
TOTALES

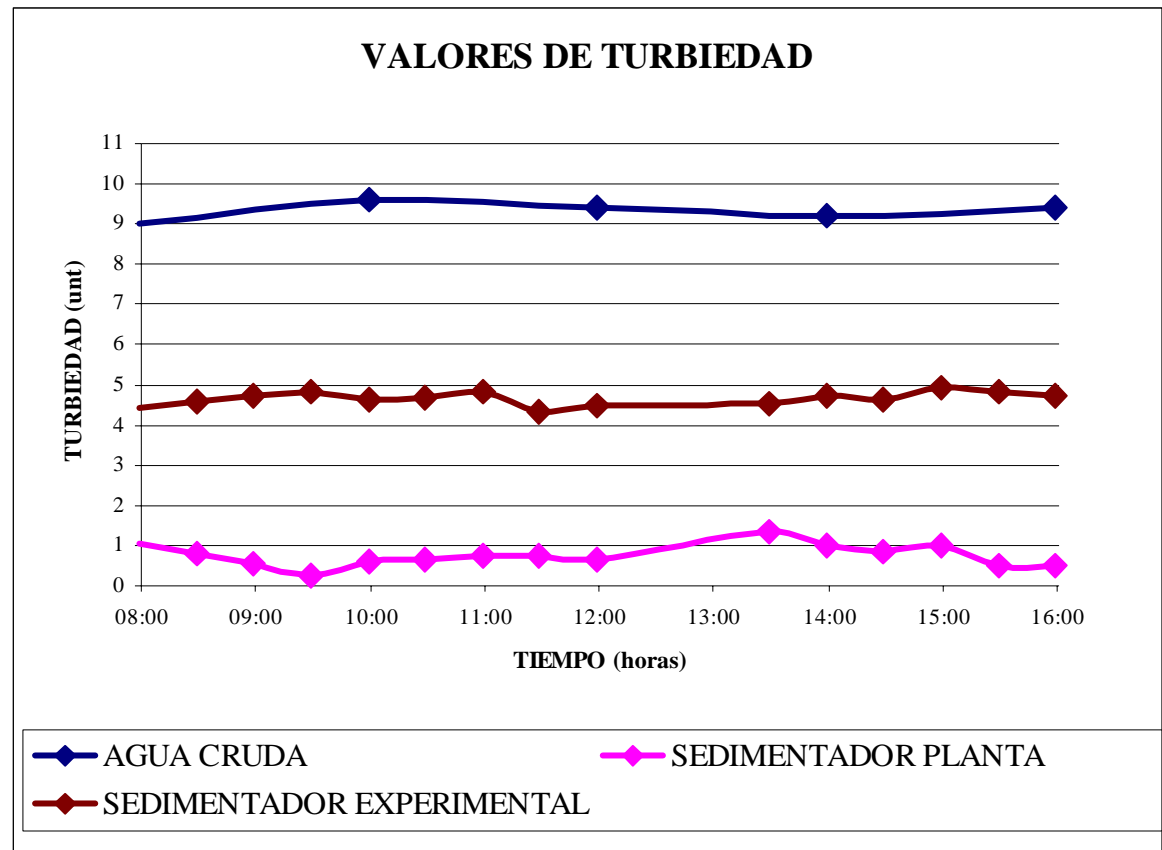
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

137

51

Gráfica 17. Datos día 15 con TDS = 0.136 m³/h/m²



Observaciones

Se observa que no importa la turbiedad de entrada, con cada una de las diferentes TDS hay una turbiedad de salida constante, el nivel de remoción es constante siempre para todos los valores de turbiedad.

Tabla 20. Datos día 16 con TDS = 0.065 m³/h/m²

TDS = 0.065 m³/h/m²

Dia 16 01/XI/2003

Q=11/80s

Q=0.045m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9.1	0.73	2.39
08:30		0.91	2.12
09:00		0.74	2.41
09:30		0.69	2.54
10:00		0.81	2.81
10:30	9.2	0.78	2.62
11:00		0.59	2.89
11:30		0.69	2.58
12:00		0.56	2.64
13:30	9.6	0.64	2.59
14:00	9.7	0.71	2.63
14:30		0.48	3.07
15:00		0.54	2.80
15:30	9.5	0.47	2.71
16:00		0.91	2.91

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR mg/l

0.17

0.01

0.03

SOLIDOS
TOTALES

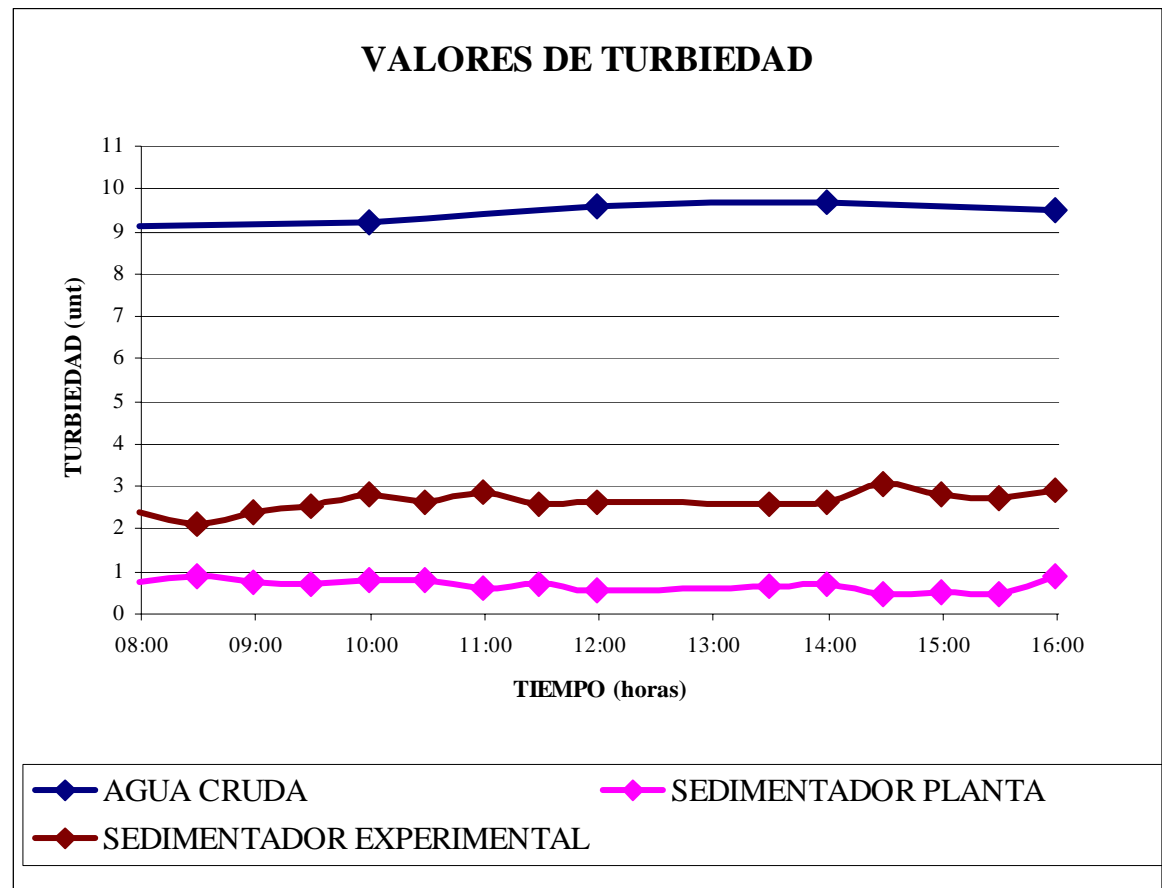
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

96

26

Gráfica 18. Datos día 16 con TDS = 0.065 m³/h/m²



Observaciones

Los valores de turbiedad ya se encuentran dentro del rango de aceptación normativo, pero aún no alcanza el nivel de remoción de la planta EL DORADO .

Tabla 21. Datos día 17 con TDS = 0.065 m³/h/m²

TDS = 0.065 m³/h/m²

Dia 17 03/XI/2003

Q=11/80s

Q=0.045m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	9.2	0.69	2.24
08:30		0.87	2.13
09:00		0.69	2.36
09:30		0.89	2.35
10:00	9.9	0.96	2.48
10:30		0.98	2.69
11:00		0.95	2.14
11:30		0.92	2.56
12:00	9.9	0.95	2.31
13:30		0.93	2.01
14:00	9.83	0.94	2.45
14:30		0.86	2.39
15:00		0.84	2.47
15:30		0.98	2.58
16:00	9.9	0.93	2.45

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR mg/l

0.17

0.01

0.03

SOLIDOS
TOTALES

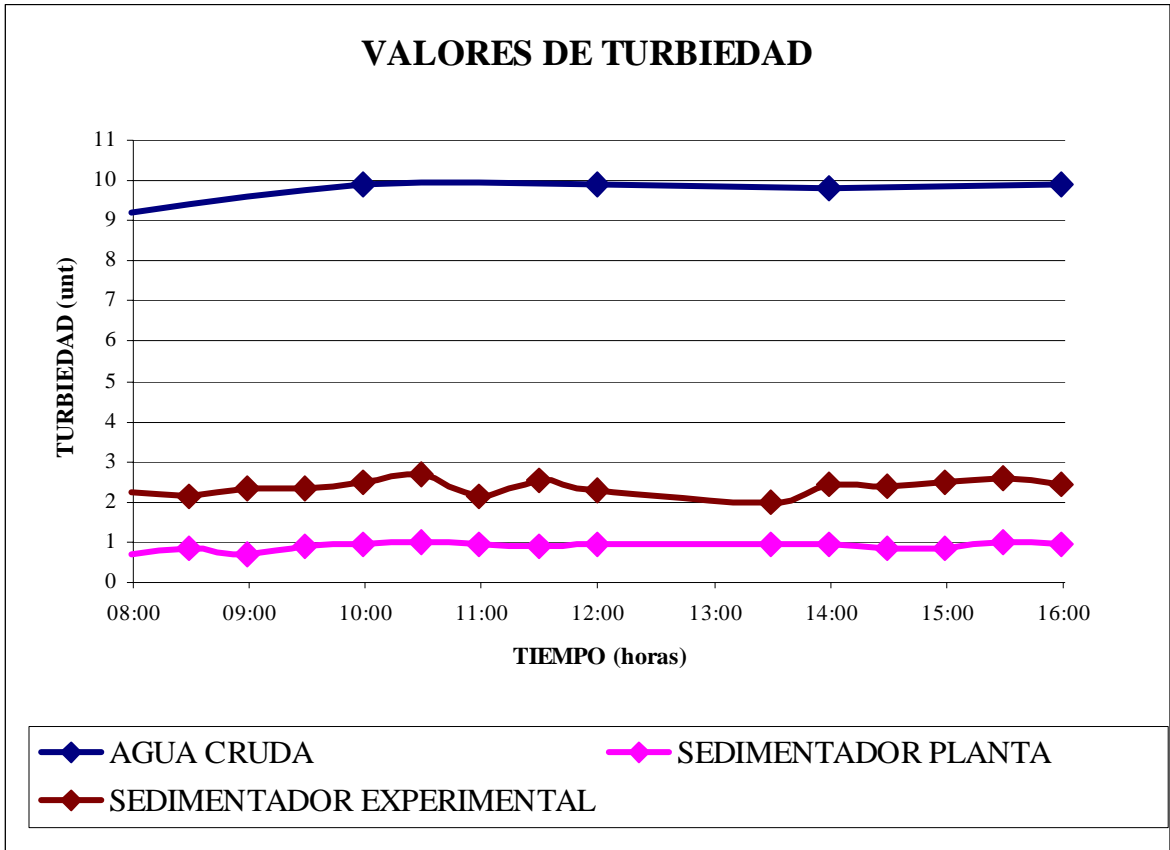
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

85

27

Gráfica 19. Datos día 17 con TDS = 0.065 m³/h/m²



Observaciones

Los valores de turbiedad son buenos y constantes, pero falta mejorarlos, lo cual obliga a bajar la TDS.

Tabla 22. Datos día 18 con TDS = 0.025 m³/h/m²

TDS = 0.025 m³/h/m²

Dia 18 04/XI/2003

Q=11/210s

Q=0.017m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	13	0.95	0.99
08:30		0.86	1.03
09:00		0.84	1.05
09:30		0.88	0.98
10:00	13	0.78	0.94
10:30		0.92	0.93
11:00		0.94	0.89
11:30		0.87	0.84
12:00	14	0.86	1.06
13:30		0.86	1.02
14:00	14	0.81	0.86
14:30		1.06	0.87
15:00		1.03	0.85
15:30	13	1.04	0.96
16:00		1.16	0.93

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR mg/l

0.16

0.02

0.02

SOLIDOS
TOTALES

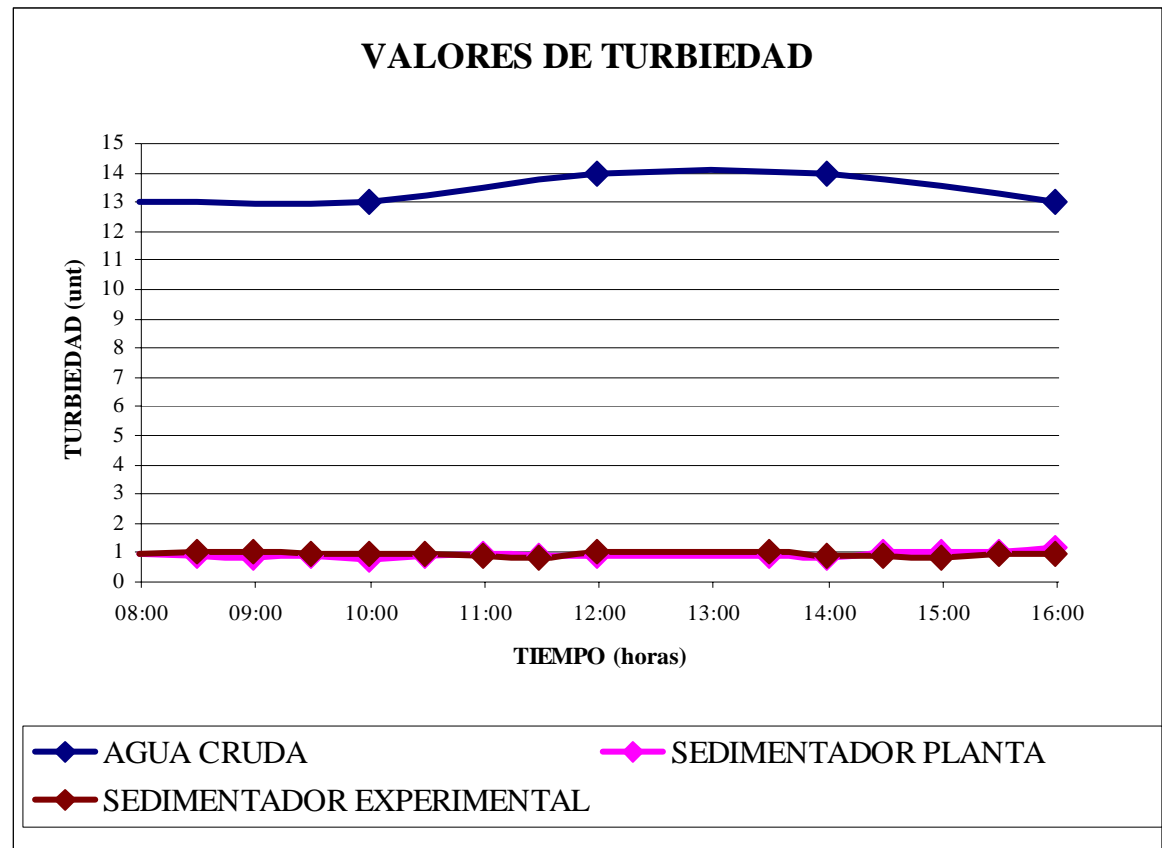
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

55

7

Gráfica 20. Datos día 18 con TDS = 0.025 m³/h/m²



Observaciones

Con esta TDS se observa que el nivel de remoción del decantador experimental alcanzó el mismo nivel del sedimentador número uno de la planta EL DORADO.

Tabla 23. Datos día 19 con TDS = 0.025 m³/h/m²

TDS = 0.025 m³/h/m²

Dia 19 05/XI/2003

Q=11/210s

Q=0.017m³/h

AS = 0.69 M2

TURBIDEZ			
HORA	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR PLANTA	SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL
08:00	15	0.81	1.12
08:30		0.74	0.98
09:00		1.53	0.95
09:30		0.84	0.99
10:00	15	0.64	0.96
10:30		1.08	0.94
11:00		0.95	1.04
11:30		0.84	1.06
12:00	15	0.98	0.85
13:30		0.57	0.93
14:00	16	0.69	0.94
14:30		0.48	0.92
15:00		0.87	1.06
15:30		0.74	1.12
16:00	16	0.86	0.95

REMOSION
DE
ALUMINIO

ENTRADA mg/l

SALIDA PLANTA
mg/l

SALIDA
SEDIMENTADOR mg/l

0.16

0.02

0.02

SOLIDOS
TOTALES

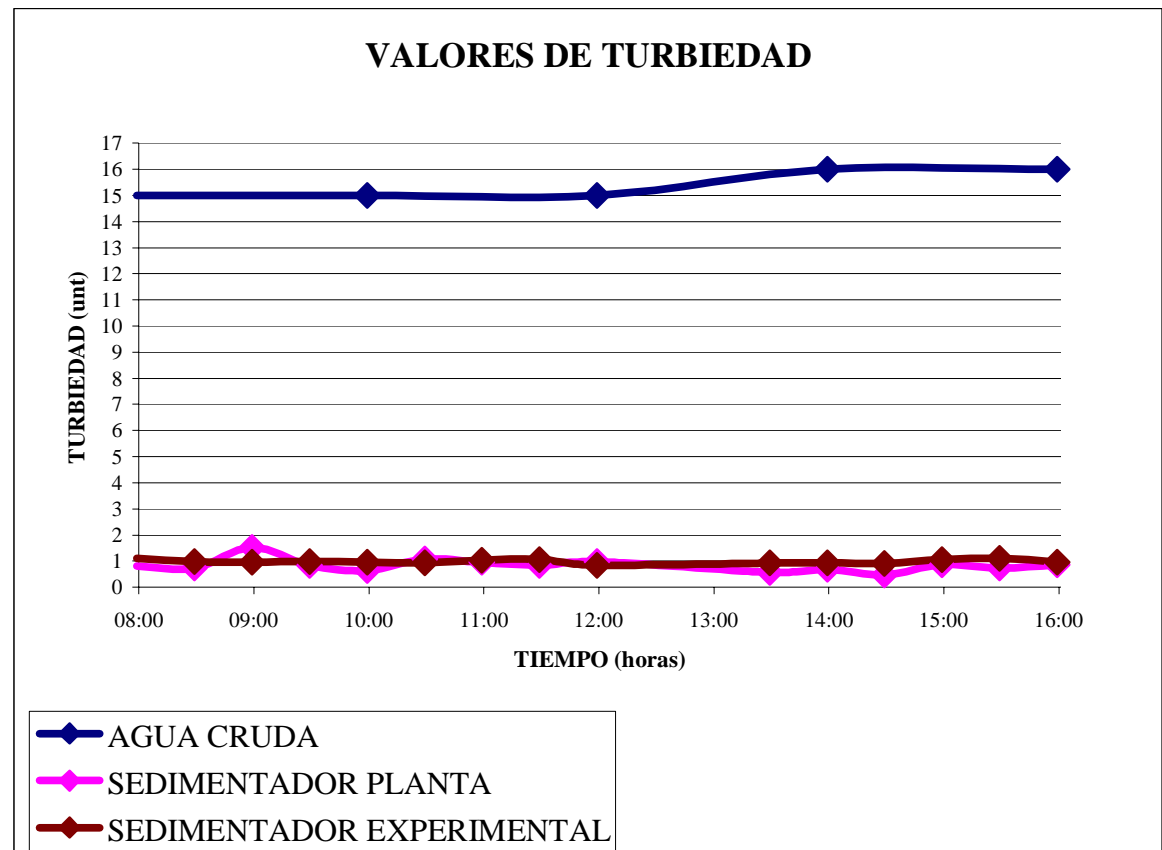
ENTRADA mg/l

SALIDA mg/l

76

8

Gráfica 21. Datos día 19 con TDS = 0.025 m³/h/m²



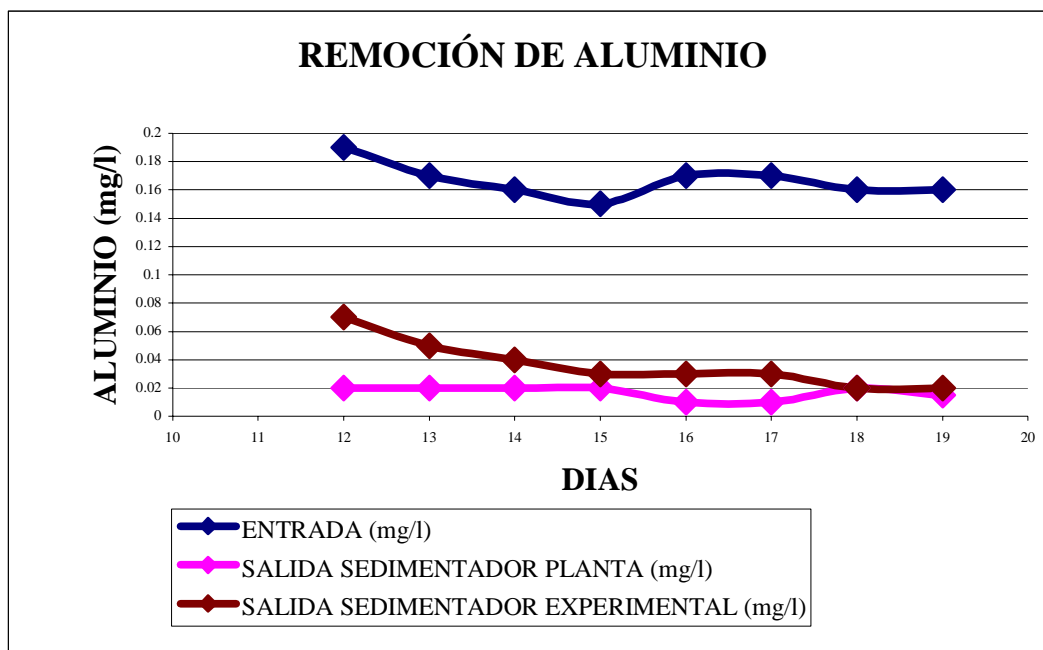
Observaciones

Esta TDS es la adecuada para trabajar este sedimentador con estas condiciones de inclinación de placas, aunque si se pudiera remediar en el futuro el problema de floculación, es seguro que la TDS sería mucho más alta.

Tabla 24. Remoción de aluminio de los 8 días con placas a 60°

REMOCIÓN DE ALUMINIO			
	ENTRADA (mg/l)	SALIDA SEDIMENTADOR PLANTA (mg/l)	SALIDA SEDIMENTADOR EXPERIMENTAL (mg/l)
DIA 12	0.19	0.02	0.07
DIA 13	0.17	0.02	0.05
DIA 14	0.16	0.02	0.04
DIA 15	0.15	0.02	0.03
DIA 16	0.17	0.01	0.03
DIA 17	0.17	0.01	0.03
DIA 18	0.16	0.02	0.02
DIA 19	0.16	0.015	0.02

Gráfica 22. Remoción de aluminio de los 8 días con placas a 60°

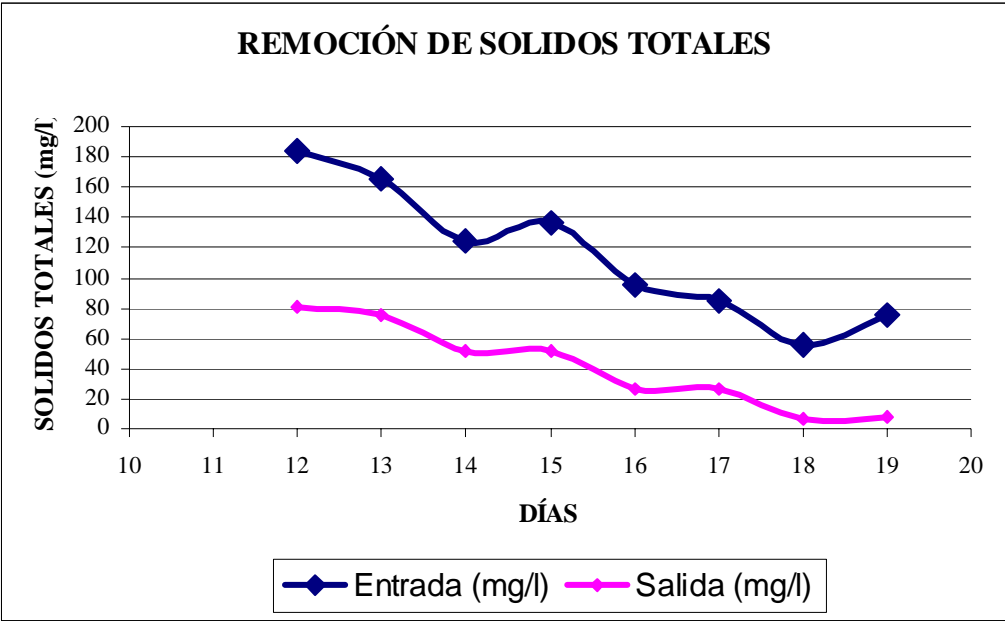


Se presenta la misma tendencia que con la turbiedad, a menor TDS, mejor remoción de aluminio del agua.

Tabla 25. Remoción de sólidos totales de los 8 días con placas a 60°

SÓLIDOS TOTALES		
Día	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)
12	184	81
13	166	75
14	125	51
15	137	51
16	96	26
17	85	27
18	55	7
19	76	8

Gráfica 23. Remoción de sólidos totales de los 8 días con placas a 60°



Al igual que con turbiedad y remoción de aluminio, se presenta mejora a medida que se va llegando a la TDS óptima de funcionamiento.

2.2.4 Identificación de problemas

Con los cambios realizados del primer sistema a 45°, a este sistema con placas a 60° y las soluciones planteadas y resueltas del **numeral 2.1.5**, lograron que en el funcionamiento con este tipo de inclinación de placas los problemas fuesen mínimos, hasta el punto de que el único problema presentado haya sido fugas causadas cuando se le desprendieron las placas inclinadas a 45° y el canal de salida que sufrió un duro golpe y se desprendió.

En cuanto al funcionamiento hidráulico y de remoción, funcionó sin ningún inconveniente. La dificultad de la floculación siguió presente durante toda la experimentación.

2.2.5 Soluciones

La solución para los problemas mencionados en el numeral anterior fue muy simple, pues lo único que se hizo fue vaciar el decantador, dejarlo secar y sellar las fugas previamente identificadas, así como volver a pegar el canal en su lugar.

3. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE LA PLANTA EL DORADO CON EL PROTOTIPO DE DECANTADOR

3.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA EL DORADO

Aparte de la descripción realizada en el numeral 1.4.2.1, es necesario identificar a qué tasa de desbordamiento superficial (TDS) trabaja el sistema instalado en la planta EL DORADO

Cada tanque tiene 11.90 m de ancho, 29.0 m de longitud y 5.15 m de profundidad total, con dos compartimientos en cada uno de los cuales hay dos hileras de placas, la TDS se debe hallar con las áreas proyectadas en la horizontal de cada una de estas placas.

Sólo se va a comparar un solo sedimentador. Son 2 hileras de placas cada una con 18 grupos de láminas y en cada grupo se encuentran 64 láminas, para un total de 2304 láminas por sedimentador.

De la Figura 5 se obtienen las dimensiones de estas láminas, hallando que el área proyectada de cada lámina en la horizontal es un rectángulo de 0.7743 m de ancho por 1.26 m de largo, esto nos da un área de 0.975618 m^2 . El área total es la multiplicación de la anterior área por el número total de placas, que da un $A_s = 2248 \text{ m}^2$

La planta trabaja en promedio 350 l/s en los cuatro decantadores, $315 \text{ m}^3/\text{h}$ por cada uno de los decantadores, con estos datos se calcula la TDS.

$$TDS = \frac{Q}{A_s} = \frac{315 \text{ m}^3/\text{h}}{2248 \text{ m}^2} = 0.14 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$$

3.2 COMPARACIÓN DE SISTEMAS

La comparación más acertada es hallar qué área superficial necesitaría un decantador de placa paralela a 60°, con flujo horizontal y con una TDS de 0.025 m³/h/m², que fue la TDS hallada para cumplir los mismos parámetros de calidad y cantidad que los sedimentadores de la planta EL DORADO.

$$A_s = \frac{Q}{TDS} = \frac{315m^3/h}{0.025m^3/h/m^2}$$
$$A_s = 12600m^2$$

El área del sedimentador de la planta es de 2248 m² y el área con el nuevo sistema sería de 12600 m², es casi un 460% más grande en lo que respecta al área superficial; esto a simple vista es un sistema poco efectivo, pero hay que tener en cuenta que para tener esta área superficial se puede encajar las placas muy cerca y no necesita de canales de conducción, lo cual hace que el volumen total del sedimentador disminuya con respecto al de la planta el DORADO.

Se pueden colocar placas de 3 metros de alto por 15 metros de largo, pero como estas placas tienen 60° de inclinación, la altura del sedimentador sería aproximada de 2.6 m, dejando 0.3 m de borde libre, quedaría de una altura de 2.9 m. Al dejar un espaciamiento de placas de 4 cm, recomendado, (ver conclusiones) el ancho del sedimentador sería de 22.4 m.

Tabla 26. Comparación de dimensiones sedimentador

Dimensión	Planta EL DORADO	Diseño con sistema experimental
Alto	5.15 m	2.9 m
Ancho	11.90 m	22.4 m
Largo	29 m	15 m
Volumen total	1777.26 m ³	974.4 m ³

4. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Al experimentar con el segundo sistema, que tiene una inclinación de placas a 60° , se observaron mejoras como lo son:

- Cuando se aumentó el número de agujeros de entrada, se eliminaron unas pequeñas zonas muertas presentes debajo de la placa más baja del sedimentador.

Fotografía 11. Vista de los agujeros en las zonas más bajas.



- El aumento de 15° al anterior sistema, dejando las placas con una inclinación de 60° , ayudó y perfeccionó el proceso de eliminación de lodos sobrepuestos en ellas, enviándolos directamente a la tolva de lodos.

Fotografía 12. Vista de placas sin lodos y el lodo en el fondo de la tolva



- Se observó que el agua de entrada al decantador experimental continuó con los problemas de floculación.

Se hace necesario ampliar la inclinación de la tolva de lodos para hacer que éstos se almacenen más compactamente, solucionar de alguna forma el problema de floculación y colocar las placas más cerca entre ellas, así se aumenta la TDS y la capacidad de remoción.

Se recomienda continuar con esta investigación cuando se encuentre una solución óptima para el problema de la floculación o la utilización de un sistema de floculación especialmente diseñado para este sistema experimental.

5. CONCLUSIONES

Se determinó una tasa de desbordamiento superficial (TDS) efectiva igual a $0.025 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, con la cual la remoción en un sedimentador de placa paralela flujo horizontal es de óptima calidad e igual a la calidad del sedimentador de la planta EL DORADO.

El inconveniente causado por el rompimiento del floc, ocasionó que el sistema no funcionara como se había esperado, pues esta pérdida en la concentración y formación del floc impide una perfecta decantación cuando se realiza sedimentación con coagulantes.

Los espacios de entrada al sedimentador, en este caso agujeros, se deben ampliar al máximo para así evitar posibles turbiedades del agua y mantener durante todo el proceso el número de Reynolds entre 80 y 250.

La inclinación de las placas debe estar preferiblemente entre 55° y 60° para evitar el problema de que los lodos decantados se almacenen sobre éstas, haciendo que el lodo se desplace al fondo de la tolva.

La inclinación de la tolva se debe aumentar a más de 35° con el fin de hacer que los lodos se desplacen a la parte más baja de ella y aumentar el nivel de concentración y compactación de éstos.

Las placas se pueden unir mucho más, dejando un espaciamento entre ellas mayor a 2 cm, lo cual aumenta considerablemente el nivel de sedimentación y no influye de ninguna manera para que se almacenen lodos en las placas, siempre y cuando se mantenga la inclinación de éstas entre 55° y 60° .

El volumen de un sedimentador bajo este sistema es mucho más pequeño que uno convencional, como se vio en el numeral 3.2, Tabla 26, este sistema es muy bueno para usarlo en sitios donde se requiera estar muy compacto o no sea posible la utilización de grandes espacios de terreno, también es posible su utilización cuando se quieran minimizar costos de construcción, porque es mas barato las láminas de acero inoxidable que un muro de concreto reforzado de muchos metros de altura y espesor.

BIBLIOGRAFÍA

Arboleda V, Jorge. Teoría y practica de los sedimentadores de placas inclinadas paralelas, Revista Acodal, número 89, agosto 1979.

Campillo, Alberto. Sedimentación acelerada, tesis de grado Universidad de los Andes, 1979

García Aguilar, Enrique. Comportamiento hidráulico de la sedimentadores de alta rata, tesis de grado Universidad de los Andes, 1979

Hazen, A. "On sedimentation" Transactions American Society of civil engineers, 1904

HIDROSAN LTDA. Diseño planta de tratamiento EL DORADO, marzo de 1996

Orozco Jaramillo, Álvaro. Comunicación particular, asesorías continuas y concejos prácticos, marzo 2003 a enero 2004

Orozco Jaramillo, Álvaro & Salazar Arias, Álvaro. Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales, Universidad de Antioquia, segunda edición, 1985

Páez Moya, Juan. Comportamiento hidráulico de la sedimentadores de alta tasa, tesis de grado Universidad de los Andes, 1981

Presidencia de la republica de Colombia. Decreto número 475 normas técnicas de calidad del agua potable. 10 de marzo de 1998

Rodríguez Peña Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de ingeniería. 1995.

