

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RE-DISEÑO DE LA ETAPA DE
SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA A DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DE FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE
BUCARAMANGA

LAURA XIMENA RAMÍREZ ORTIZ



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2013

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RE-DISEÑO DE LA ETAPA DE
SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA A DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DE FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE
BUCARAMANGA

LAURA XIMENA RAMÍREZ ORTIZ

Trabajo de grado para optar por el título de

INGENIERA AMBIENTAL

DIRECTOR

ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN

Ingeniero Sanitario

Msc. Ingeniería área con énfasis en Ingeniería sanitaria y Ambiental

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Julio de 2013

DEDICATORIA

A Dios

Por regalarme la salud, sabiduría y fortaleza para culminar esta etapa de estudio y mostrarme cada día de mi vida la grandeza de su amor y su misericordia.

A mi madre

Lucila por darme todo su apoyo, comprensión durante toda mi vida, por creen en mí, por ofrecerme cada día todo su amor sin esperar nada a cambio, por levantarme cuando he caído, consolarme cuando he sufrido y por las noches en vela que ha pasado junto a mí.

A mi hermano

Andrés por tenerme paciencia y estar conmigo en los momentos difíciles y gratos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza y la fortaleza que necesite en cada paso que di para llegar hasta aquí.

A mi madre Lucila, mi hermano Andrés y mi padre Abelardo, por los consejos, palabras, paciencia, dedicación, apoyo, colaboración para la culminación de esta etapa de mi vida y su incondicionalidad.

A mi novio Hernando Jerez, por los traspasos, horas de trabajo, madrugadas, colaboración en la toma de datos y apoyo frecuente en este proceso.

A mi familia por la motivación en los momentos difíciles y reconocimiento en mis triunfos durante estos años.

A mi director de tesis Álvaro Cajigas, por la enseñanza, paciencia y colaboración brindada.

A la ingeniera Yolanda Otero, por la colaboración incondicional ofrecida para el desarrollo del proyecto, a los operarios don Mario, don Francisco, don Arnulfo y don Enrique y demás auxiliares de la planta que me ofrecieron su ayuda para sacar adelante el proyecto y gracias por la experiencia de trabajar de la mano con ustedes en la planta de Floridablanca.

Al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga por la oportunidad brindada y la experiencia vivida de trabajar con ustedes.

A Lilia Rodríguez y Victoria por la colaboración con la medición del tamaño de partícula en el laboratorio de fenómenos Interfaciales y reología del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GENERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. GENERALIDADES DE LA PLANTA	3
3.2. SEDIMENTACIÓN	4
3.3. TIPOS DE SEDIMENTADORES	7
3.3.1. Sedimentadores convencionales	7
3.3.2. Sedimentadores dinámicos	12
3.3.3. Sedimentadores laminares	16
3.4. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE SEDIMENTADORES	19
3.4.1. Tipos de flujo	19
3.4.2. Tiempo de retención	20
3.4.3. Trazadores	20
3.4.4. Modelo de Wolf-Resnick	21
3.4.5. Análisis de la curva de tendencia	23
3.4.6. Índice de Morrill	24
3.4.7. Modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM	25
4. METODOLOGÍA	26
4.1. FASE I: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	26
4.2. FASE II: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	28
4.3. FASE III: RE-DISEÑO DE LA PLANTA A	30
5. RESULTADOS	31
5.1. FASE I: DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	31
5.1.1. Tamaño de partícula teórico y experimental de las dos plantas	31
5.1.2. Comparación del tamaño de partícula en el afluente y efluente.	33
5.1.3. Comparación entre la muestra de laboratorio y el punto de ingreso de las plantas.	35
5.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	36
5.2.1. Prueba de trazadores	36
5.2.2. Modelo de reactores mezclados en serie RCM	38
5.2.3. Modelo de Wolf-Resnick	42
5.2.4. Curva de tendencia	44
5.2.5. Índice de Morrill	46

5.3. RE-DISEÑO	48
5.3.1. Plano actual de la etapa de sedimentación	48
5.3.2. Curva de caudal de ampliación.	49
5.3.3. Planos de re-diseño.	50
5.3.4. Chequeo de la velocidad de sedimentación	55
6. CONCLUSIONES	56
7. RECOMENDACIONES	57
8. BIBLIOGRAFÍA	58
9. ANEXO I	60
10. ANEXO II	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuerzas actuantes en una partícula _____	5
Figura 2. Estructuras de entrada _____	7
Figura 3. Zona de sedimentación _____	8
Figura 4. Sedimentadores rectangulares _____	9
Figura 5. Sedimentadores circulares _____	9
Figura 6. Acción de la zona de salida en las líneas de flujo _____	10
Figura 7. Estructuras de salida _____	11
Figura 8. Clarificador Con fondo cónico _____	12
Figura 9. Sedimentador Bacchus Marsh _____	12
Figura 10. Manto de lodos con agitación simple _____	13
Figura 11. Accelator-Infilco, Inc _____	14
Figura 12. Sedimentador BRNO _____	14
Figura 13. Primer tiempo _____	15
Figura 14. Segundo tiempo _____	15
Figura 15. Sedimentador de placas _____	16
Figura 16. Zonas de lodos _____	17
Figura 17. Comportamiento del trazador cuando la aplicación es instantánea ____	20
Figura 18. Curva de 1-F (t) cantidad de trazador que permanece en el reactor ____	21
Figura 19. Concentración del trazador en el efluente de un reactor _____	23
Figura 20. Índice de Morril _____	24
Figura 21. Distribución de tiempos de residencia E (t) experimental y teóricas ____	25
Figura 22. Puntos de toma de muestra para tamaño de partícula planta A ____	26
Figura 23. Puntos de toma de muestra para tamaño de partícula planta B ____	27
Figura 24. Punto de aplicación del trazador y puntos de toma de muestra para trazadores en la planta A _____	28
Figura 25. Punto de aplicación del trazador y puntos de toma de muestra para trazadores en la planta B _____	29
Figura 26. Tamaño de partícula de la planta A, punto A2 _____	31
Figura 27. Tamaño de partícula de la planta A, punto A3 _____	32
Figura 28. Tamaño de partícula de la planta B, punto B2 _____	33
Figura 29. Tamaño de partícula del afluente planta A y B _____	33
Figura 30. Tamaño de partícula del efluente planta A y B _____	34
Figura 31. Comparación del tamaño de partícula de la muestra de laboratorio con el afluente de ambas plantas _____	35
Figura 32. Curva del trazador de la planta A _____	36
Figura 33. Curva del trazador de la planta B _____	37
Figura 34. Modelo RCM en serie planta A _____	38
Figura 35. Correlación con el modelo de RCM para la planta A _____	39
Figura 36. Modelo RCM para la planta B _____	40

Figura 37. Correlación con el modelo de RCM para la planta B	41
Figura 38. Modelo de Wolf-Resnick planta A	42
Figura 39. Modelo de Wolf-Resnick planta B	43
Figura 40. Curva de tendencia planta A	44
Figura 41. Curva de tendencia planta B	45
Figura 42. Índice de Morrill planta A	46
Figura 43. Índice de Morrill planta B	47
Figura 44. Plano actual de la etapa de sedimentación de la planta A	48
Figura 45. Caudal de ampliación sin contemplar espacio para filtros	49
Figura 46. Caudal de ampliación contemplado espacio para filtros	49
Figura 47. Sección de placas existente en la planta A plano completo	50
Figura 48. Sección de placas existente	51
Figura 49. Distribución de los orificios de recolección de lodos	51
Figura 50. Re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A	52
Figura 51. Plano en planta de los sedimentadores nuevos	53
Figura 52. Plano de perfil de los sedimentadores nuevos	53
Figura 53. Canal de recolección	54
Figura 54. Sección de orificios de la tolva de lodos	55

LISTA DE FIGURAS ANEXO I

Figura-I. Curva de cantdad de trazador.	64
---	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de la curva de tendencia del trazador _____	23
Tabla 2. Resultados del modelo de Wolf-Resnick planta A _____	42
Tabla 3. Resultados del modelo de Wolf-Resnick planta B _____	43
Tabla 4. Resultados del análisis de la curva de tendencia planta A _____	44
Tabla 5. Resultados del análisis de la curva de tendencia planta B _____	45
Tabla 6. Resultados del índice de Morrill planta A _____	46
Tabla 7. Resultados del índice de Morrill planta B _____	47
Tabla 8. Velocidad de sedimentación de etapa de sedimentación actual y re-diseñada _____	55
Tabla 9. Cálculo del tiempo de retención de los sedimentadores _____	69

LSITA DE TABLAS ANEXO I

Tabla-I. Resultados del Mastersizer S. Distribución del tamaño de partícula de la planta A, B y laboratorio _____	60
Tabla-II. Datos iniciales de la planta A _____	62
Tabla-III. Datos iniciales de la planta B _____	62
Tabla-IV. Hoja de cálculo del diámetro de partícula de la planta A _____	62
Tabla-V. Hoja de cálculo del diámetro de partícula de la planta B _____	63
Tabla- VI. Cálculo de la cantidad de trazador a aplicar de la planta A y B _____	64
Tabla- VII. Datos de la prueba de trazadores de la planta A _____	65
Tabla- VIII. Datos de la prueba de trazadores planta B _____	68
Tabla- IX. Hoja de cálculo para los modelos de RCM, Wolf-Resnick y análisis de la curva de tendencia planta A _____	70
Tabla- X. Hoja de cálculo para los modelos de RCM, Wolf-Resnick y análisis de la curva de tendencia planta B _____	76
Tabla- XI. Cálculo de la capacidad aumentar sin espacios para filtros _____	78
Tabla- XII. Cálculo de la capacidad aumentar con espacio para filtros _____	79
Tabla- XIII. Datos de la etapa de sedimentación actual _____	80
Tabla- XIV. Datos de la etapa de sedimentación re-diseñada _____	80
Tabla- XV. Cálculo del caudal transportado por cada tubería _____	81

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: Determinación de los parámetros de re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta “A” de tratamiento de agua potable de Floridablanca del acueducto metropolitano de Bucaramanga

AUTOR: Laura Ximena Ramírez Ortiz

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental.

DIRECTOR: Álvaro Andrés Cajigas Cerón.

RESUMEN

El siguiente documento presenta la evaluación realizada en la etapa de sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable, planta antigua, del municipio de Floridablanca (Santander) con fines de re-diseño. El estudio consistió en la revisión del comportamiento hidráulico del sedimentador por medio de trazadores y la eficacia de la sedimentación mediante la determinación del tamaño de partícula. Como control se emplearon ensayos de laboratorio y estudios de la planta nueva. Los resultados mostraron que la planta antigua presenta partículas floculentas a la salida de los floculadores de menor tamaño respecto a la planta nueva y los ensayos de laboratorio, los sedimentadores convencionales están totalmente en corto circuito, y puede prescindirse de su funcionamiento; en la planta A los sedimentadores de alta tasa presentan tendencia a flujo completamente mezclado, donde los problemas hidráulicos son ocasionados por la mala distribución de flujo a la entrada y salida de los reactores. Con el rediseño, que consiste en la ampliación de los floculadores, sedimentadores y filtros de la planta antigua podría incrementar el caudal de producción en 200 L/s y adicionalmente se optimizaría las labores de operación y mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

Sedimentación, trazadores, flujo pistón, flujo mezclado y tamaño de partícula.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Ing. Álvaro Andrés Cajigas Cerón

GENERAL ABSTRACT OF DIPLOMA WORK

TITLE: Determination of the parameters re-design of the sedimentation stage of the plant “A” drinking water treatment Floridablanca Bucaramanga Metropolitan Aqueduct

AUTHOR: Laura Ximena Ramírez Ortiz

FACULTY: Faculty of Environmental Engineering

DIRECTOR: Álvaro Andrés Cajigas Cerón

ABSTRACT

The following paper presents the evaluation in the sedimentation stage of the treatment plant for drinking water, old plant, of the municipality of Floridablanca (Santander) for the purpose of re-design. The study consisted of a review of the hydraulic behavior of the settler using tracers and sedimentation efficiency by the determination of particle size. As a control we used laboratory tests and studies of the new plant. The results showed that the old plant flocculent particles present at the exit of the flocculators of smaller size compared to the new plant and laboratory tests, the conventional settlers are completely short-circuited, and their operation can be omitted, at the plant A high rate clarifiers have a tendency to completely mixed flow where hydraulics problems are caused by the bad distribution of flow at the inlet and outlet of the reactors. With the redesign, which involves the expansion of the flocculators, settlers and old plant filters could increase production rate in 200 l / s and additionally would optimize the operation and maintenance tasks.

KEYWORDS:

Sedimentation, tracers, plug flow, mixed flow and particle size

V° B° DIRECTOR OF DIPLOMA WORK

Ing. Álvaro Andrés Cajigas Cerón

1. INTRODUCCIÓN

El adecuado diseño de la etapa de sedimentación en plantas de agua potable es indispensable debido a que es un proceso intermedio entre floculación y filtración del cual se obtiene el agua clarificada.

La determinación de los parámetros de la etapa de sedimentación es primordial al momento de un re-diseño, para encontrar falencias y alternativas que permitan el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua potable, para empresas que cuentan con sedimentadores convencionales y poco espacio para ampliación, existe la posibilidad de incrementar su capacidad por medio de estos análisis

Para la evaluación de sedimentadores existen varios métodos de aplicación, uno de los más comunes para el análisis del comportamiento hidráulico de reactores es la prueba de trazadores y con sus datos también se pueden realizar otros estudios como el modelo de Wolf-Resnick, la curva de tendencia y modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM. Otros procesos más complejos como la medición del tamaño de partícula, pueden realizarse para tener un referente del comportamiento de la etapa de floculación y el diámetro de partícula removido por el sedimentador.

El documento expone la teoría necesaria acerca de la sedimentación, los tipos de sedimentación, la clase de sedimentadores y las zonas que lo componen, de la misma manera su comportamiento hidráulico, como realizar su análisis y la metodología empleada para desarrollarlo.

El presente proyecto tiene como finalidad la determinación de los parámetros de re-diseño para la etapa de sedimentación, de la planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca en la planta A, la cual pertenece al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros de re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A de tratamiento de agua potable de Floridablanca del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tamaño de las partículas producidas en el afluente y efluente de los sedimentadores de las plantas A y B y en condiciones controladas de laboratorio
- Analizar el comportamiento hidráulico de los sedimentadores de las plantas A y B y su influencia en la eficiencia del sistema.
- Re-diseñar el sistema de sedimentadores existente en la planta A, con base a la infraestructura y área presente.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. GENERALIDADES DE LA PLANTA

La planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca perteneciente al acueducto metropolitano de Bucaramanga, está ubicada a 1042 msnm en el municipio de Floridablanca, en el barrio Caracolí al sur-orienté del área metropolitana de Bucaramanga. La construcción de la planta inició a comienzos de los años 70, su capacidad se extendió entre los años 1976-1977 y entre 1982-1983 fue ampliada nuevamente. Además, tiene como fuente de abastecimiento el Río Frío que se encuentra ubicado al oeste del Alto Picacho a 2850 msnm. ^[8]

El sistema de tratamiento de la planta de Floridablanca está compuesto por dos plantas:

Planta A (antigua): es la parte original con capacidad de 400 L/s y está compuesta de la siguiente manera:

- Mezcla rápida: se realiza el proceso de coagulación por medio de resalto hidráulico.
- Floculación: para este proceso la planta cuenta con cuatro unidades de floculadores mecánicos con paletas y de eje horizontal.
- Sedimentación: existen cuatro sedimentadores cada uno posee una parte convencional y otra de alta tasa.
- Filtración: la planta cuenta con cuatro filtros rápidos.

Planta B (nueva): es la parte nueva con capacidad de 220 L/s y está conformada de la siguiente forma:

- Mezcla rápida: el proceso de coagulación en esta sección de la planta se hace con canaleta Parshall.
- Floculación: para este proceso la planta cuenta con un floculador hidráulico.
- Sedimentación: existen dos unidades de sedimentación de alta tasa con placas paralelas.
- Filtración: la planta cuenta con dos unidades de filtración rápida.

3.2. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es un proceso de remoción de partículas en suspensión de un fluido por efecto de la gravedad en un tiempo determinado. También es un fenómeno físico que está relacionado con las propiedades de caída libre de las partículas suspendidas en el agua y se obtendrá un fluido clarificado al final del proceso. Sin embargo la sedimentación de los flóculos no es de manera constante sino de forma creciente en el tiempo y depende de las características hidráulicas del sedimentador.^[4]

Existen dos clases de partículas; las partículas discretas que son aquellas que no cambian de tamaño, forma y densidad, que se producen en el tratamiento de agua potable por medio de la unión de partículas coloidales, con agentes químicos comúnmente llamados coagulantes y las partículas floculentas que si cambian de tamaño, forma y densidad.^[5]

Las partículas a ser removidas en una planta de tratamiento son minerales y sólidos orgánicos; la materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida en limo y arcilla. El color en el agua es producido por ácidos orgánicos (húmico, fúlvico).^[10]

Según Cánepa (2005) (ver la referencia [2]) existen algunas variables por las que el proceso de sedimentación se puede ver afectado:

1. **Corrientes de densidad:** son producidas dentro del tanque por las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias de concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (de concentración).
2. **Corrientes debido al viento:** el viento puede llegar a producir corrientes con suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo.
3. **Corrientes cinéticas:** se pueden generar a causa del diseño indebido de la zona de salida o de entrada (zonas muertas, turbulencias, velocidades de flujo excesivas) o por obstrucciones en la zona de sedimentación.

En la sedimentación las partículas son expuestas a dos fuerzas, la fuerza gravitacional (FG) y la fuerza de flotación (FF) que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula (Principio de Arquímedes) (ver Figura 1).^[6]

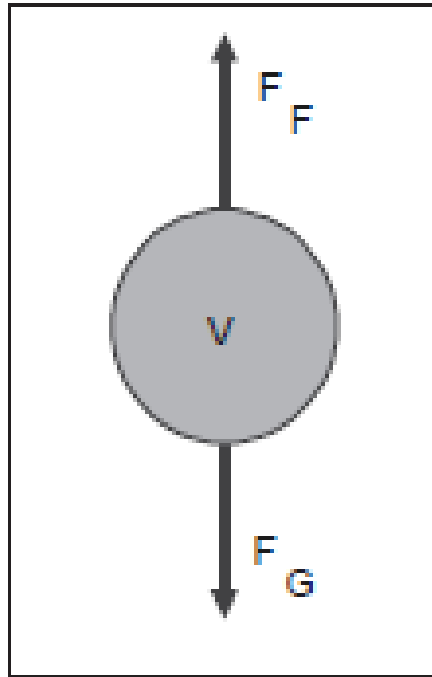


Figura 1. Fuerzas actuantes en una partícula.^[6]

Carga superficial

Es la velocidad crítica mínima de sedimentación, se estima que en promedio tenga entre 70-98% de partículas en suspensión. Lo anterior, depende del peso y grado de hidratación de los flóculos, tipo de coagulante utilizado, forma y tipo del sedimentador, cuidado en el control del proceso y grado de eficiencia que se desee.^[1]

La carga superficial se calcula con la siguiente ecuación

$$q = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

Q = Caudal que entra al sedimentador en m^3/s

A = Área superficial del sedimentador m^2

q = Carga superficial $m^3 / m^2/d$

Tiempo de retención

Es el máximo tiempo que la partícula con la mínima velocidad de sedimentación escogida, demora en llegar al fondo del tanque y es directamente proporcional a la profundidad del decantador. ^[1]

Velocidad horizontal

La velocidad horizontal en los decantadores genera dos efectos opuestos: el primero contribuye con la floculación de los sólidos en suspensión dentro del tanque, originando la unión de partículas finas y aumentando la cantidad que puede ser removida por el sedimentador; el segundo, la suspensión y arrastre de los flocs ya sedimentados o próximos a sedimentar.^[1]

Para el cálculo de esta velocidad horizontal se encuentran las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Q &= v_{sc} \times Ah \\ Q &= vh \times Ah \end{aligned} \quad \textbf{Ecuación 2}$$

$$\begin{aligned} \text{Como } Ah &= aL \\ Av &= ah \end{aligned}$$

$$\frac{L}{h} = \frac{vh}{v_{sc}} \quad \textbf{Ecuación 3}$$

Donde,

Q = Flujo que ingresa al sedimentador en m^3/s

V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica m/s

vh = Velocidad horizontal m/s

L = Longitud de la zona de sedimentación en m

h = Profundidad de la zona de sedimentación en m

Velocidad de sedimentación

La Ecuación 4 se conoce como la ley de Stokes, el valor de la velocidad de sedimentación está dado en función del diámetro de la partícula, la densidad y la viscosidad cinemática del agua (en función de la temperatura).^[12]

$$Vs = \frac{g}{18} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) d^2 \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Donde,

Vs = velocidad de sedimentación

g = gravedad

ρ_s = densidad de la partícula

ρ = densidad del agua

d = diámetro de la partícula

μ = viscosidad cinemática del agua

3.3. TIPOS DE SEDIMENTADORES

Todos los sedimentadores están divididos en cuatro zonas; entrada, sedimentación, lodos y salida. Sin embargo, para cada tipo de sedimentador estas zonas son diseñadas de diferentes maneras. A continuación se presentará cada tipo de sedimentador con sus criterios de diseño e ilustración.

3.3.1. Sedimentadores convencionales

Los sedimentadores convencionales trabajan con flujo turbulento por lo tanto su número de Reynolds está entre 10.000 y 250.000. Como todos los sedimentadores poseen cuatro zonas básicas.^[1]

Zona de entrada:

La estructura de entrada tiene como finalidades distribuir el agua de manera uniforme en toda el área transversal del sedimentador, disipar la energía que trae el agua, prevenir altas velocidades que puedan alterar los sedimentos del fondo e impedir chorros de agua que puedan llegar a generar movimientos rotacionales de la masa líquida u otras corrientes cinéticas. Es bueno que las velocidades de entrada no sean superiores de 15 cm/s, sin embargo, las velocidades en los orificios de entrada no pueden ser demasiado bajas porque la distribución del flujo no sería uniforme.^[1] Existen los siguientes diseños para estructuras de entrada al sedimentador (ver Figura 2).

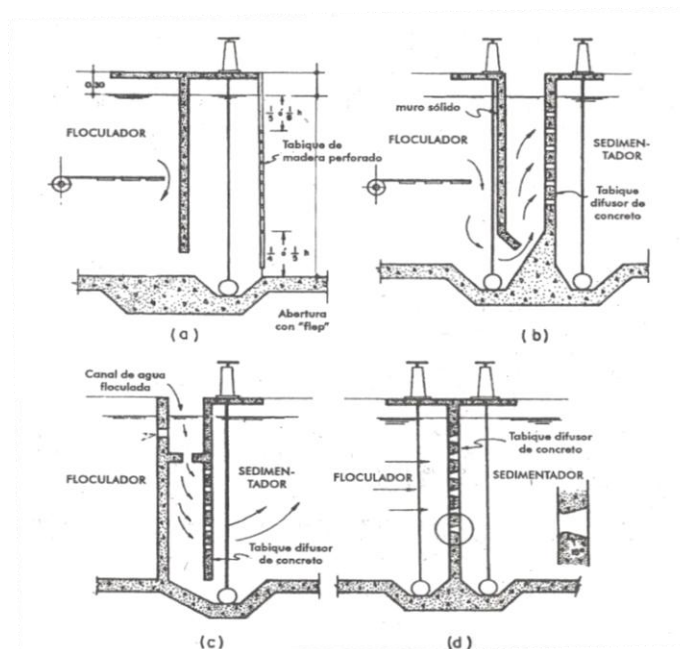


Figura 2. Estructuras de entrada.^[1]

Los tabiques difusores son orificios por donde el agua ingresa a la zona de sedimentación, para el diseño se debe contemplar: la forma (circular o cuadrada) y cuando no se contempla remoción mecánica de lodos, los tabiques más bajos deberán ser ubicados a una distancia de $h/4$ ó $h/5$ del fondo del tanque y los orificios más altos serán colocados a $h/5$ ó $h/6$ de la superficie del agua, también deben estar a 0.70-1.00 cm de la pared frontal del sedimentador para efectos de limpieza.^[1]

Zona de sedimentación:

Esta zona es la más compleja y contempla varios factores que se deben tener en cuenta al momento de diseñarla, tales como, la carga superficial, periodo de retención, forma de los sedimentadores, número de unidades y la velocidad horizontal (ver Figura 3).^[1]

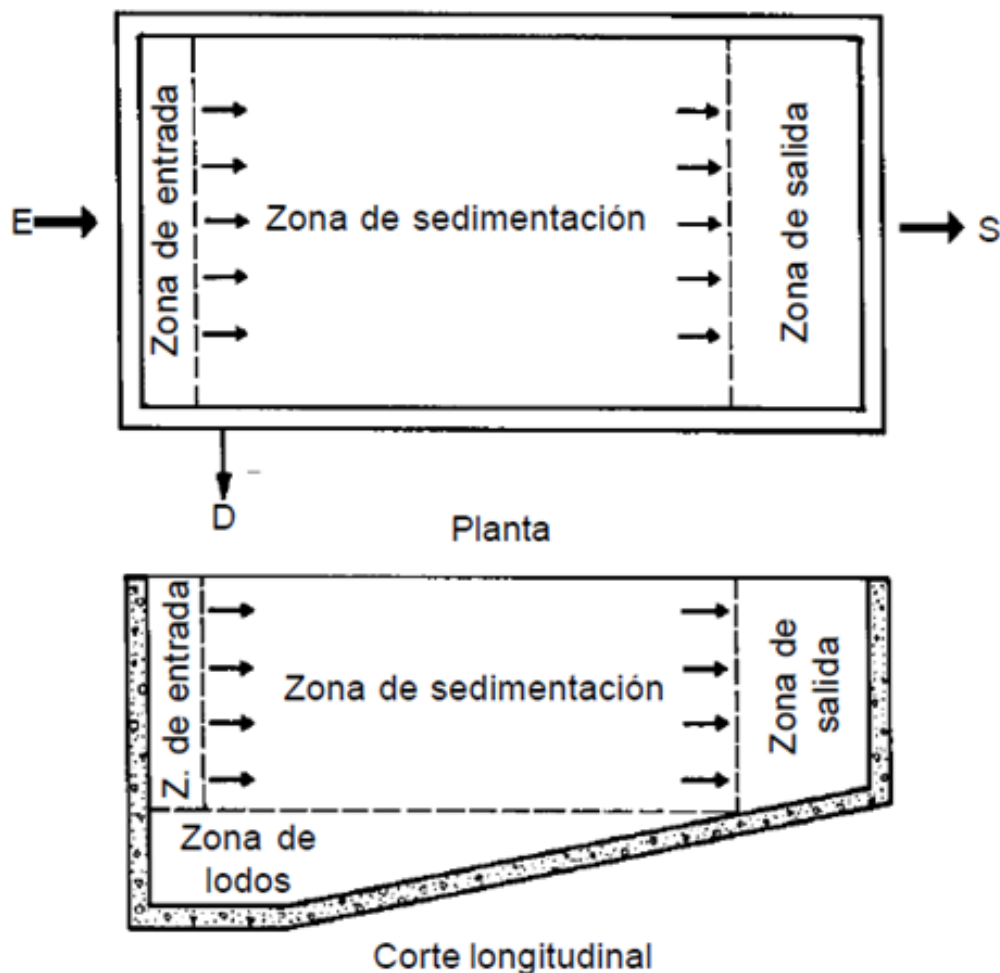


Figura 3. Zona de sedimentación.^[6]

Forma de los sedimentadores

Los decantadores pueden ser de forma rectangular que son los más usados para tratamiento de agua potable (ver Figura 4) y circulares (utilizados más comúnmente en plantas de tratamiento de aguas residuales) (ver Figura 5).^[1]

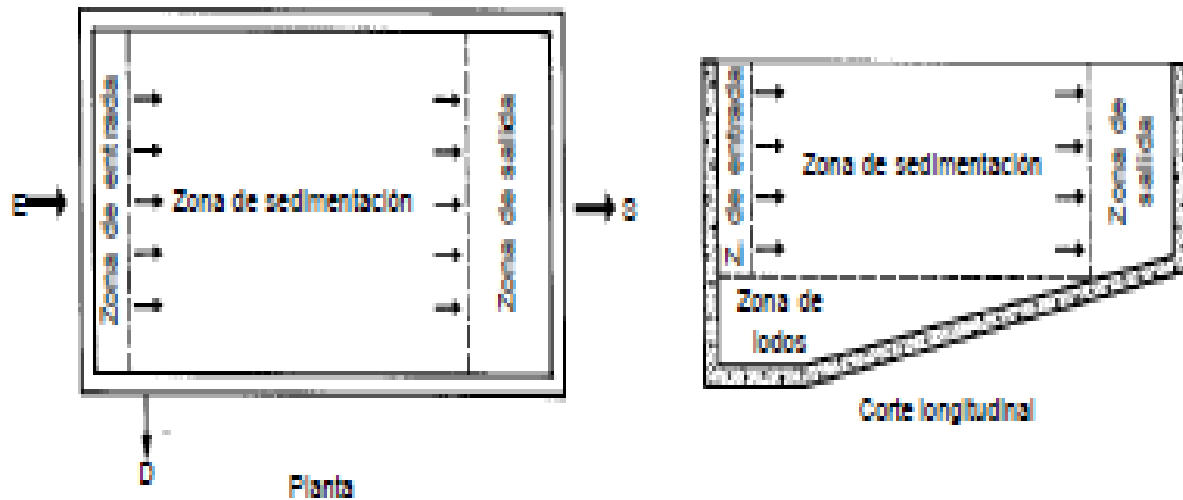


Figura 4. Sedimentadores rectangulares.^[6]

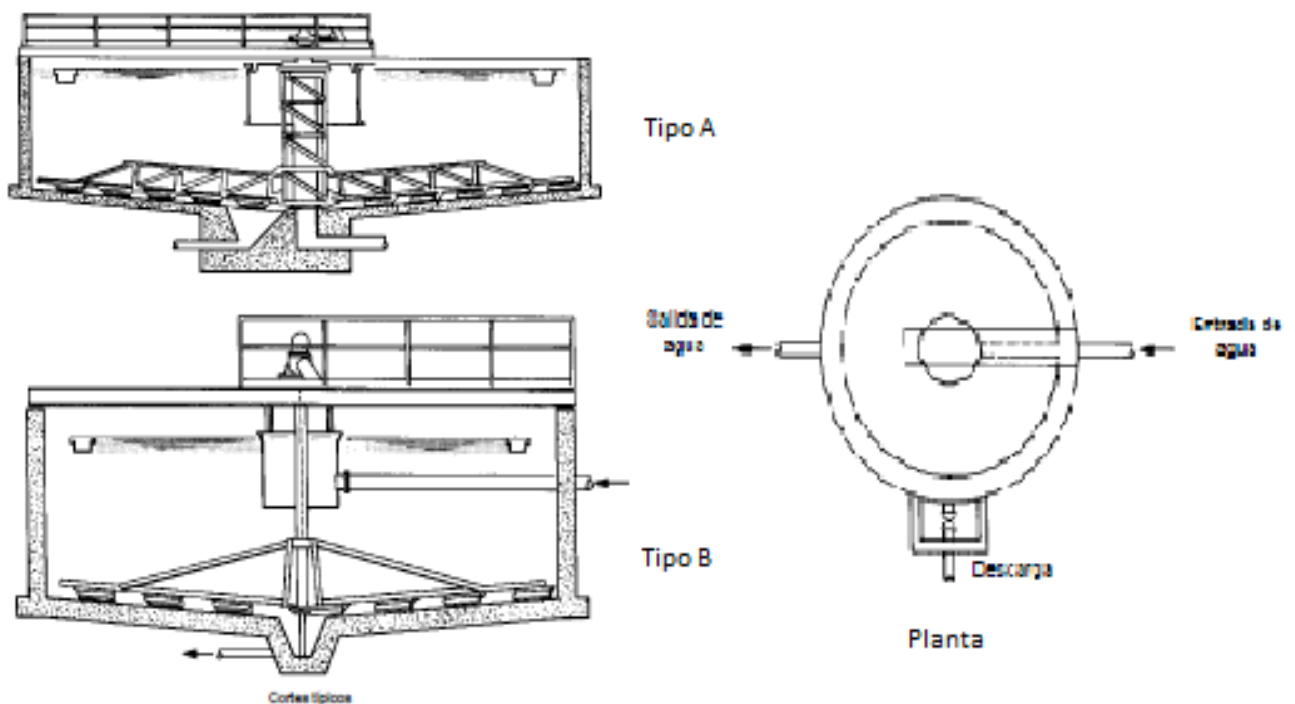


Figura 5. Sedimentadores circulares.^[6]

Zona de lodos:

Cuando la velocidad en el fondo del sedimentador es muy grande se genera resuspensión de las partículas que ya han decantado, estas pueden ser conducidas a la salida, también ocurre cuando el lavado de los sedimentadores no es periódico y se acumula una cantidad suficiente para que se efectúe el arrastre. La recolección de lodos puede ser de forma mecánica o manual, cuando esta última se realiza es necesario evacuar el agua del tanque y utilizar mangueras a presión para ablandar el lodo y desplazarlo a la válvula de evacuación.^[1]

Zona de salida:

El tipo de salida que se utilice determina en gran proporción la cantidad de partículas que pueden ser resuspendidas en el flujo. En la Figura 6 se observa la malla de flujo ideal en un sedimentador rectangular.^[1]

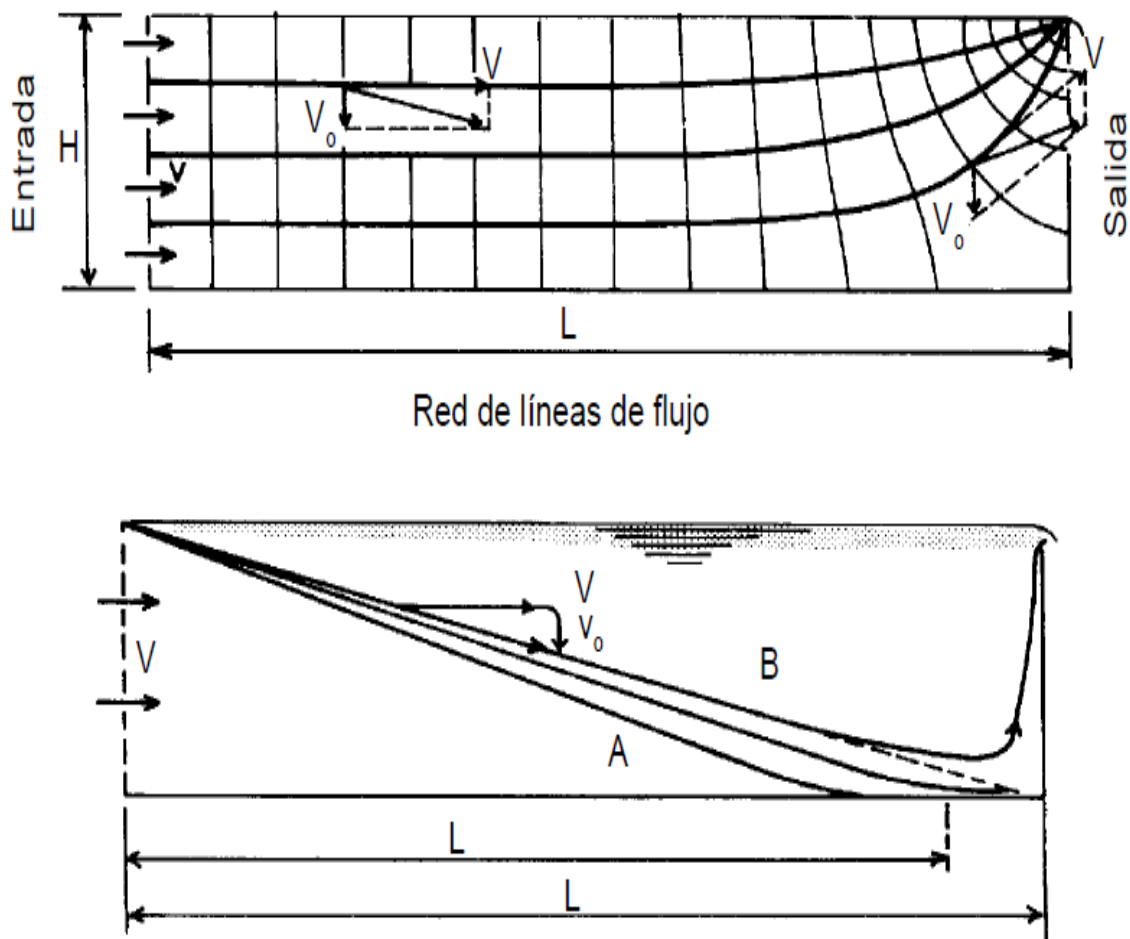


Figura 6. Acción de la zona de salida en las líneas de flujo.^[6]

Existen diferentes estructuras de salida, tales como, orificios (cuadrados o circulares), vertederos de rebose (lisos o dentados), canaletas de rebose (lisas, dentadas y con orificios (ver Figura 7.. El nivel del agua en los sedimentadores debe mantenerse controlado para que las estructuras de salida no estén ahogadas y de esta manera evitar la resuspensión de los flóculos, por el aumento de la velocidad de salida.^[1]

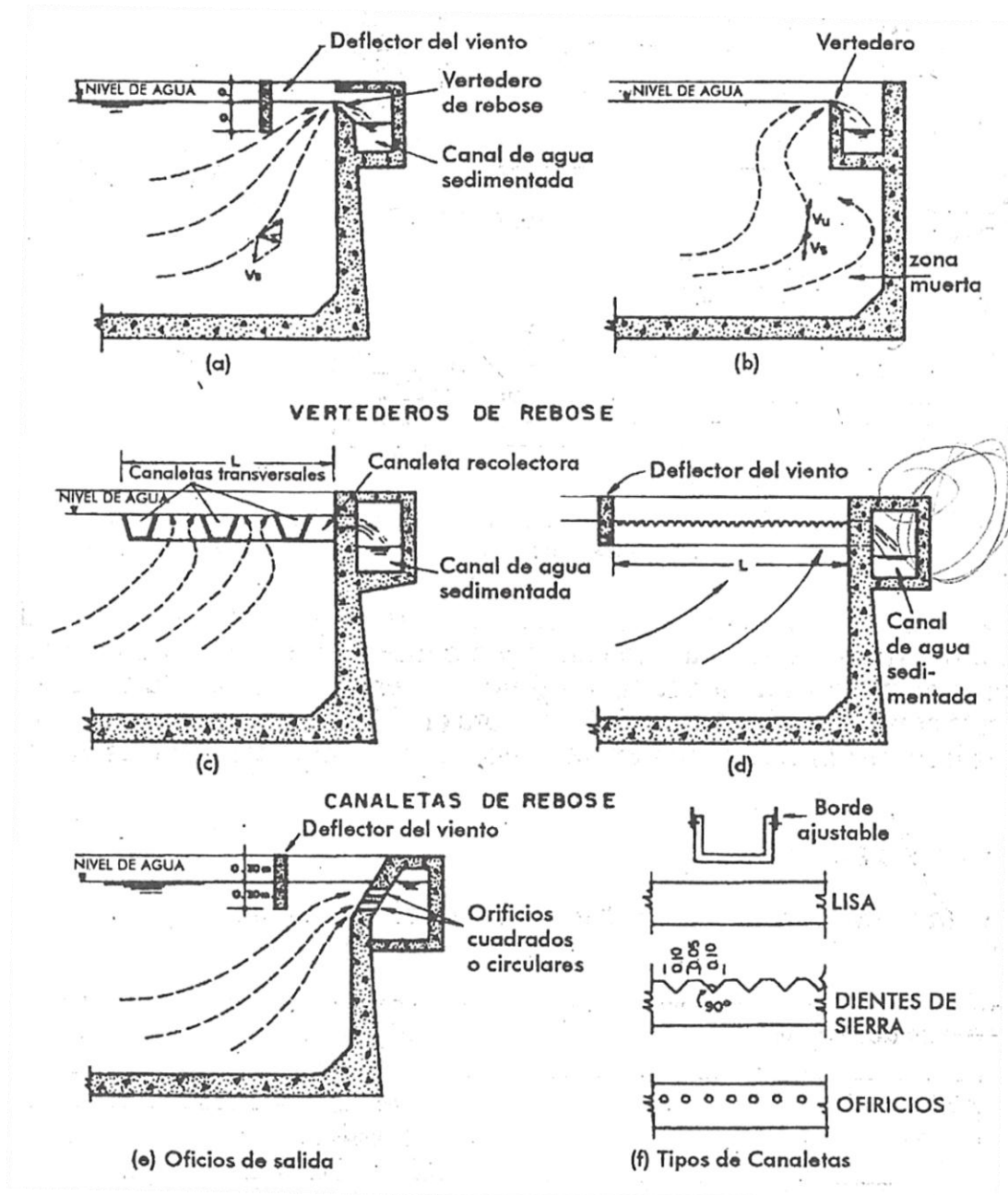


Figura 7. Estructuras de salida.^[1]

3.3.2. Sedimentadores dinámicos

Los decantadores dinámicos se dividen básicamente en dos tipos:

Manto de lodos en suspensión hidráulica

Este tipo de estructura es un tanque de fondo cónico, en donde la zona de entrada es por el fondo del tanque, de manera ascendente, la velocidad se reduce a medida que el área crece, conservando de esta forma un manto de lodos hidráulicamente suspendido.^[6] (Ver Figura 8 y Figura 9).

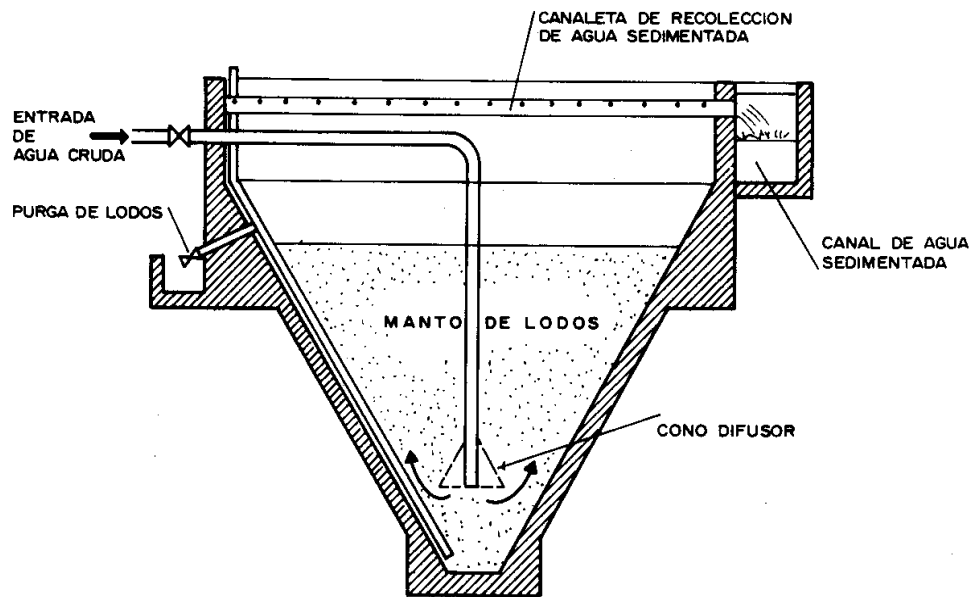


Figura 8. Clarificador Con fondo cónico.^[6]

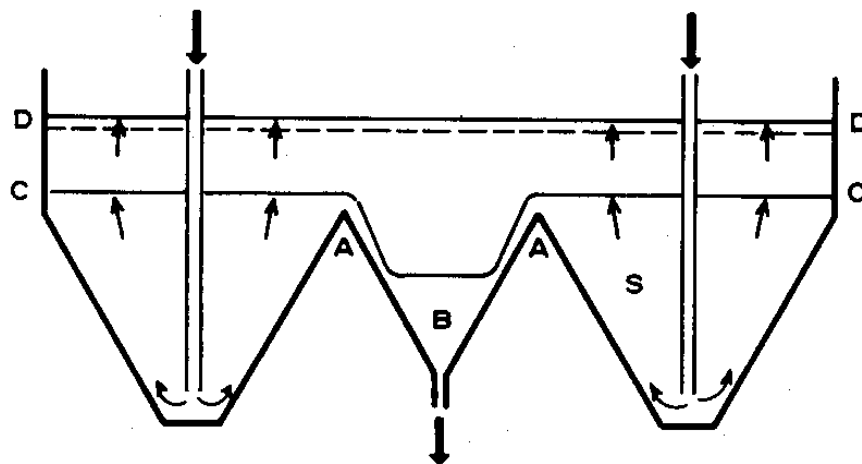


Figura 9. Sedimentador Bacchus Marsh.^[6]

Manto de lodos de suspensión mecánica

La agitación mecánica que se realiza es la que genera la turbulencia suficiente para conservar determinada cantidad de sólidos en suspensión.^[6] Este tipo de sedimentadores se divide en tres clases:

De agitación simple

Son generalmente de forma circular, el ingreso de agua cruda es por debajo, en este decantador un agitador mecánico gira suavemente, con ayuda de un motor o por efecto de agua a presión y hace que las partículas permanezcan suspendidas; los lodos son recolectados en un concentrador y no hay recirculación de los mismos (ver Figura 10).^[6]

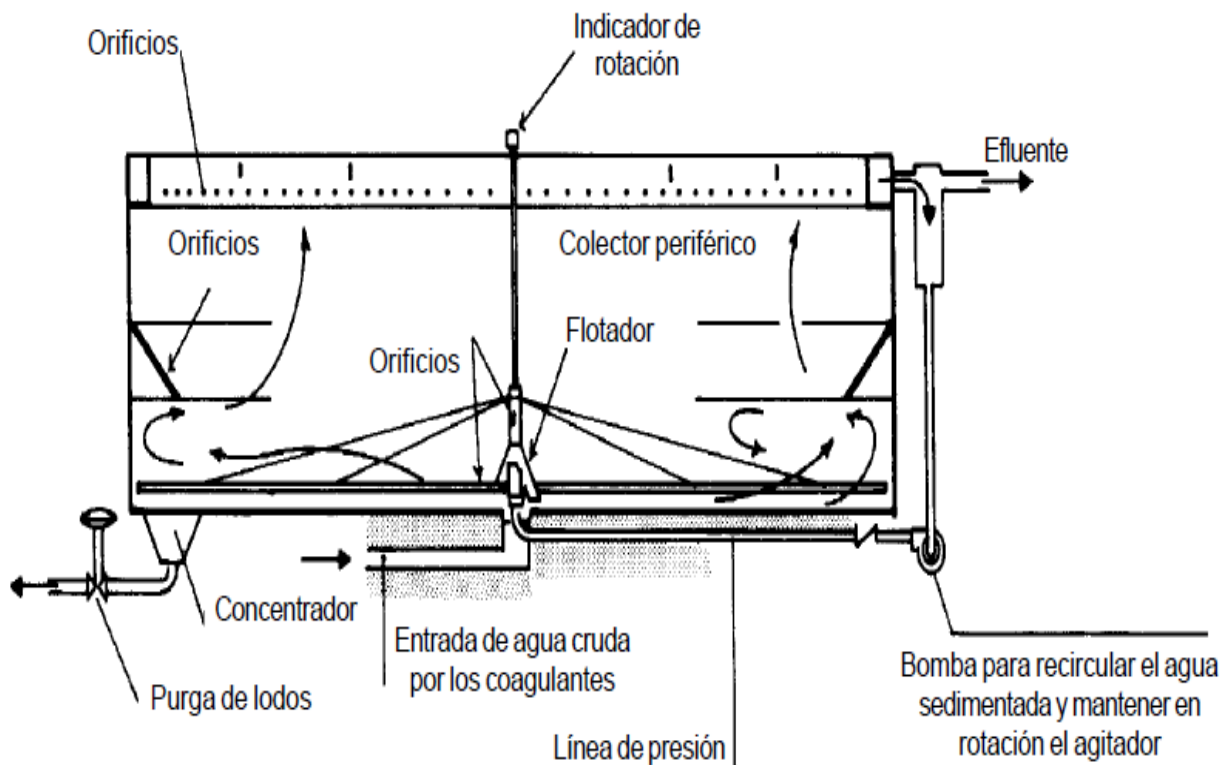


Figura 10. Manto de lodos con agitación simple.^[6]

Con separación dinámica

Está el Accelator-Infilco, Inc, que consiste en una turbina dispuesta en el centro de la estructura gira rápidamente, impulsando el flujo hacia el fondo por medio de un orificio periférico, haciendo que los sólidos que bajan por la energía mecánica de la turbina colisionen con las partículas que suben con el flujo del tanque (ver

Figura 11), y el sedimentador Brno, donde el manto de lodos se suspende hidráulicamente en las partes tronco-piramidales laterales y tiene vertederos ahogados para controlar la altura del manto (ver Figura 12).^[6]

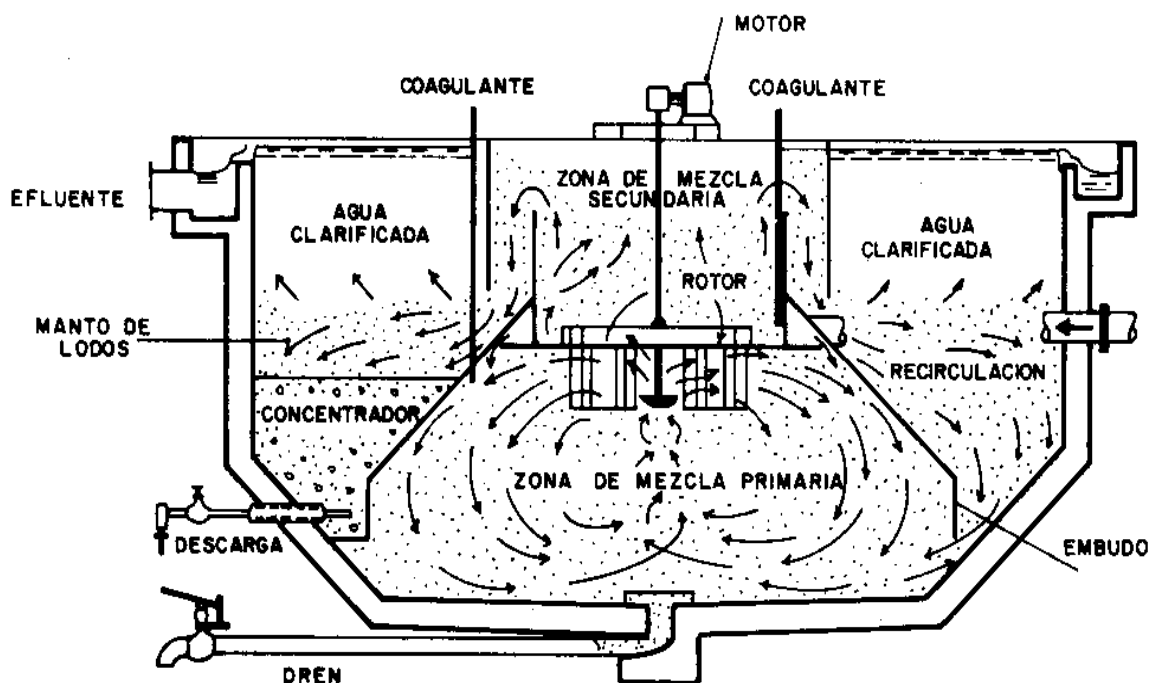


Figura 11. Accelerator-Infilco, Inc.^[6]

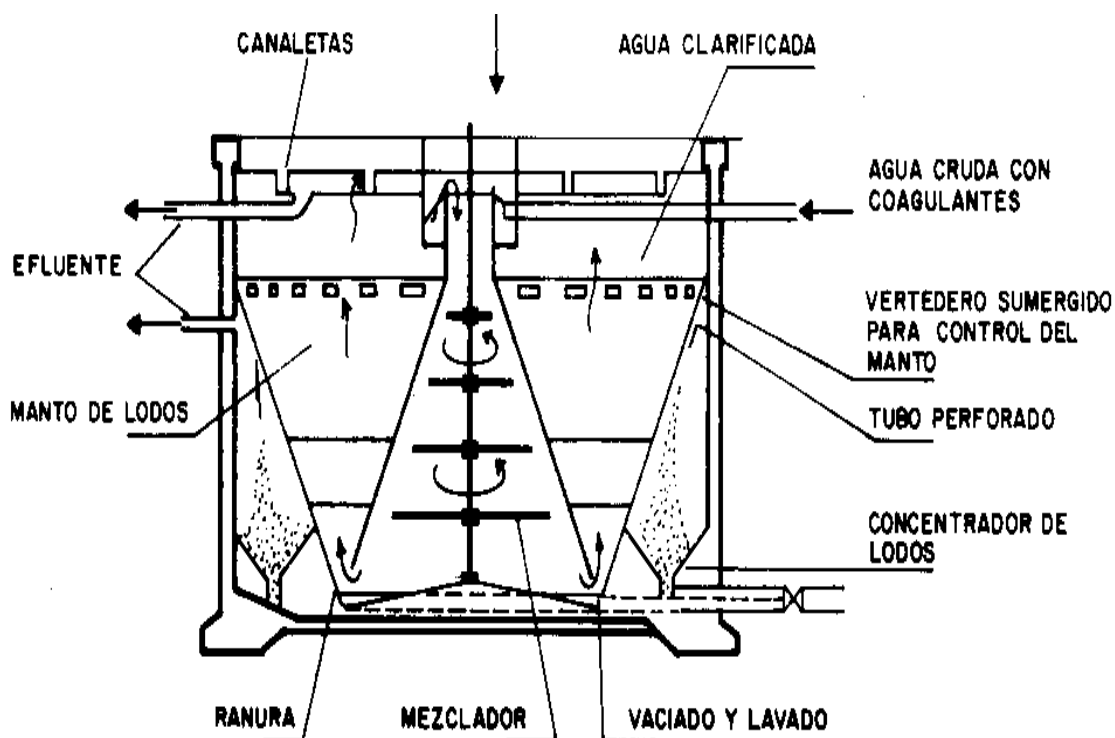


Figura 12. Sedimentador BRNO.^[6]

Pulsantes o de vacío

Este tipo de decantador es básicamente un tanque circular o cuadrado y en el medio está ubicada una cápsula de vacío o campana, regularmente se disminuye la presión interna con una bomba especial, de manera que el agua se desplace hacia arriba por la campana, hasta un determinado nivel y luego se descargue en el tanque generando una dispersión de lodos y expulsando el exceso.^[6]

El sistema requiere de dos tiempos, en el primero la válvula de aire V está cerrada; asciende el flujo por la campana A, y el agua del decantador D se encuentra en reposo y de esta forma sedimentar (ver Figura 13). En el segundo, la válvula de aire V se abre, cuando en la campana el agua alcanza el nivel S y el agua de la campana C ingresa en D, finalmente el agua clarificada se recolecta en E. (Ver Figura 14).^[6]

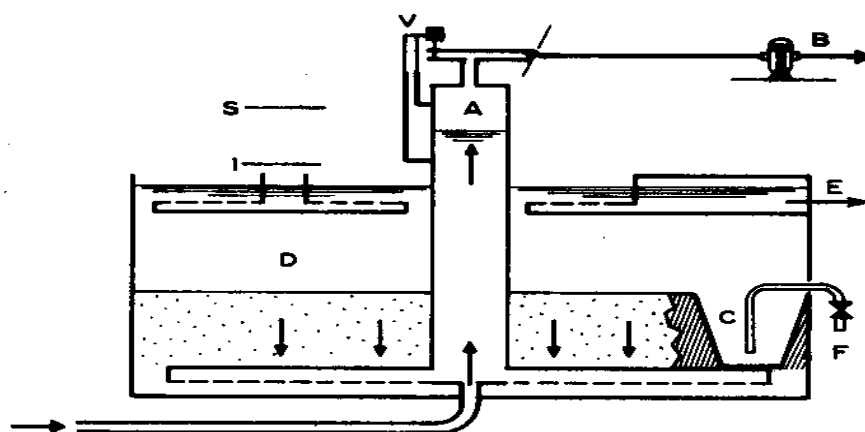


Figura 13. Primer tiempo.^[6]

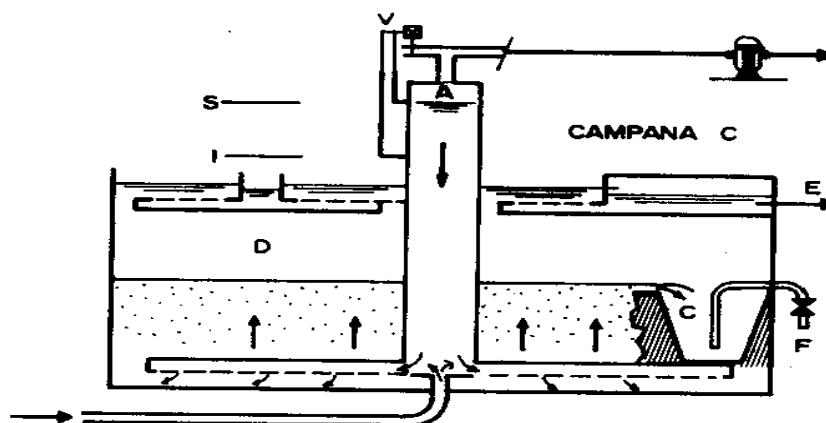


Figura 14. Segundo tiempo.^[6]

3.3.3. Sedimentadores laminares

Este tipo de sedimentadores consiste en la disposición de placas o diversos tipos de secciones (tubulares, cuadradas o circulares) en la zona de decantación, lo cual aumenta el área superficial. Los tanques de alta tasa tienen varias ventajas en comparación con los dos tipos anteriormente mencionados, porque tratan caudales mayores en áreas menores, no requiere de energía para su funcionamiento y trabajan con un número de Reynolds menor a 500.^[3]

Sedimentadores de placas

Por medio de instalación de placas paralelas en la zona de sedimentación, se obtiene en estas unidades una gran superficie de deposición para los lodos (ver Figura 15), Los materiales más utilizados para este tipo de estructuras son asbesto-cemento, fibra de vidrio, lonas de vinilo reforzadas con poliéster y plástico ya que deben ser resistentes al agua. La zona de entrada distribuye de manera uniforme el caudal, para la zona de salida se puede utilizar un canal central con tuberías perforadas o con vertederos laterales.^[3]

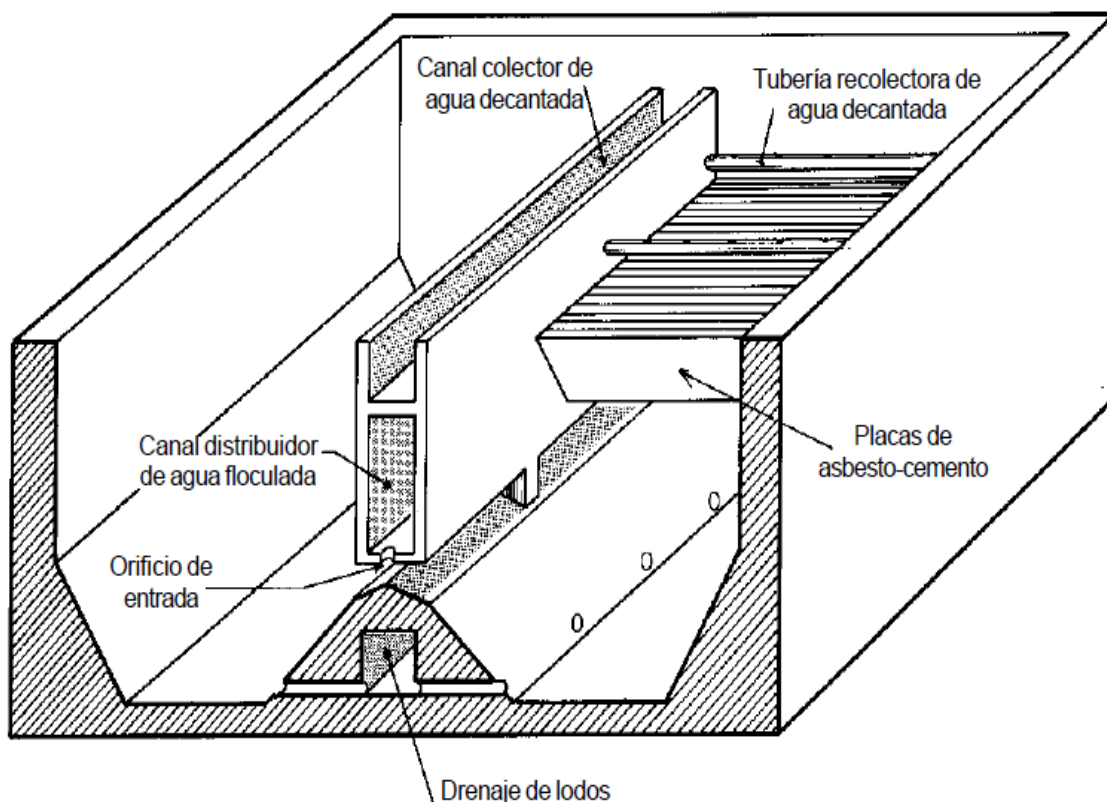


Figura 15. Sedimentador de placas.^[3]

Tolvas continuas y tolvas separadas

Para la zona de lodos existen las tolvas, estas pueden ser continuas o separadas (ver Figura 16), la evacuación de lodo puede ser de manera manual (mangueras y evacuación por una válvula de salida) o automática por medio de succión.^[3]

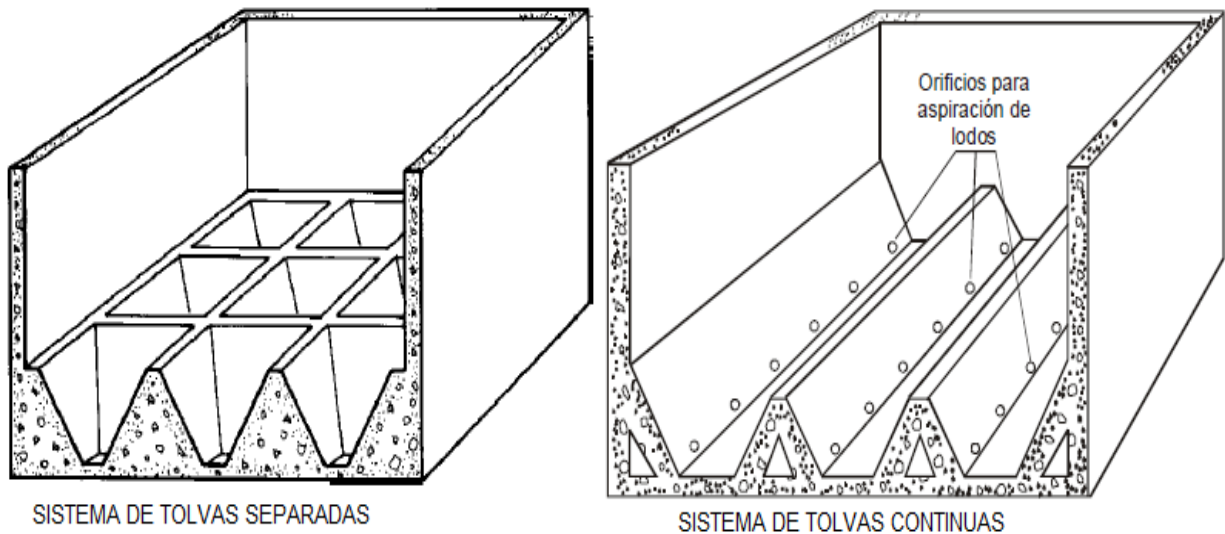


Figura 16. Zonas de lodos.^[3]

Dimensionamiento del sedimentador

Según Arboleda (2000), para el dimensionamiento del sedimentador de placas se encuentran las siguientes ecuaciones.^[1]

La Ecuación 5, se utiliza para el cálculo de la velocidad de sedimentación crítica.

$$V_{sc} = \frac{V_o}{\sin \theta + \text{Lucos } \theta} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica en m/s

V_o = Velocidad ascensional del flujo en m/s

θ = Ángulo de inclinación de las placas

La Ecuación 6, es para calcular la velocidad media con la que asciende una partícula.

$$V_o = \frac{Q}{A_s} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

V_o = Velocidad ascensional del flujo en m/s

Q = Caudal de ingreso al sedimentador en m³/s

A_s = Area superficial del decantador en m²

La Ecuación 7 es para calcular la longitud útil de la placa

$$Lu = \frac{L}{e} - 0.013 N_R \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

Lu = Longitud útil de la placa en m

L = Largo de la placa en m

e = Espacio entre las placas en m

N_R = Número de Reynolds

La Ecuación 8, se utiliza para el cálculo del número de Reynolds.

$$N_R = \frac{2 V_o e}{\mu} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

N_R = Número de Reynolds

V_o = Velocidad ascensional del flujo en m/s

e = Espacio entre las placas en m

μ = Viscosidad del agua en m^2/s

La Ecuación 9, es usada para calcular el área total del sedimentador.

$$An = \frac{Q}{V_{sc}} \left(1 + \frac{e_p}{e} \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica en m/s

Q = Caudal de entrada al sedimentador en m^3/s

e = Espacio entre las placas en m

e_p = Espesor de las placas en m

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se utiliza para calcular el número de placas en cada sedimentador.

$$n = \frac{As \sen \theta}{a (e + e_p)} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

As = Área superficial del sedimentador en m^2

θ = Ángulo de inclinación de las placas

e = Espacio entre las placas en m

e_p = Espesor de las placas en m

a = largo de la placa en m

3.4. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE SEDIMENTADORES

En ocasiones las plantas de tratamiento de agua potable no obtienen la eficiencia esperada, esto por fallencias en la parte hidráulica a causa de un diseño u operación inadecuada. Para la evaluación de las características hidráulicas de un reactor se pueden utilizar modelos matemáticos como el de Wolf y Resnick o el análisis de la curva de Gauss, esta última consiste en graficar la concentración del trazador a la salida en función del tiempo.^[7]

3.4.1. Tipos de flujo

Intermitente

Radica en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido en esta, mientras ocurre el proceso, luego vaciarla y repetir el procedimiento; por ejemplo, cuando se realiza prueba de jarras en donde hay que llenarlas esperar que ocurra el proceso de sedimentación luego desocuparlas y realizarlo nuevamente.^[7]

Continuo

El flujo continuo puede ser de tres tipos: pistón, no ideal y mezclado, cualquiera de los anteriores se puede presentar en un sedimentador ya que estos se comportan como un reactor.^[7]

Flujo pistón

En el flujo pistón la totalidad de las partículas del fluido que ingresan al sistema permanecen dentro de ella el mismo tiempo.^[7]

Flujo mezclado

En este flujo toda partícula que entra a la unidad se dispersa instantáneamente dentro del tanque y la concentración dentro del reactor será igual a la que se mida en la salida.^[7]

Flujo no ideal

Este atañe a todo grado intermedio entre el flujo a pistón y mezcla completa con variaciones, tales como, la presencia de cortocircuito, recirculación y zonas muertas. El cortocircuito es cuando parte del volumen de agua que entra atraviesa el tanque rápidamente y sale instantáneamente del mismo. Las zonas muertas

suceden cuando el trazador queda retenido por un tiempo y luego sale lentamente de la unidad.^[7]

3.4.2. Tiempo de retención

Es el tiempo que gasta una partícula cualquiera del fluido en ingresar y salir del sedimentador.^[7]

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

t = Tiempo de retención en minutos

Q = Caudal del sedimentador en m^3/s

V = Volumen del sedimentador en m^3

3.4.3. Trazadores

Para apreciar el funcionamiento hidráulico de una unidad, es oportuno realizar una prueba de trazadores, estas sustancias pueden ser: ácidos, sustancias radioactivas, colorantes o sal este último es muy utilizado por su bajo costo, fácil aplicación, obtención, medición y no causa alteraciones al proceso.^[9]

La aplicación de la sustancia trazadora puede realizarse de forma instantánea (Ver Figura 17) o de manera continua, se inyecta en la zona de entrada del sedimentador y se toma muestras consecutivas a la salida.^[9]

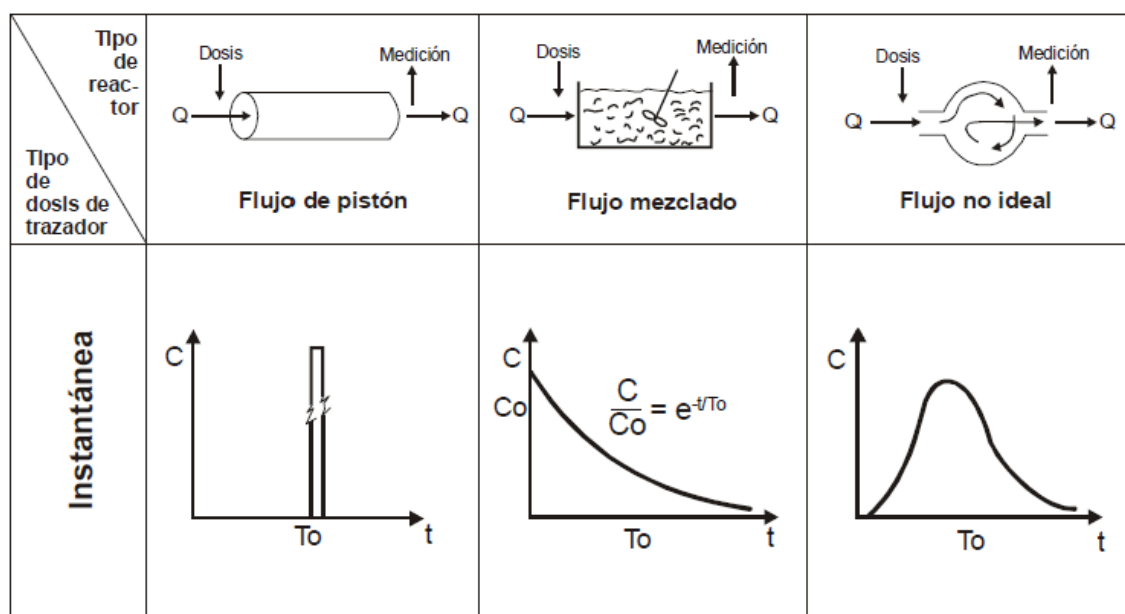


Figura 17. Comportamiento del trazador cuando la aplicación es instantánea.^[7]

3.4.4. Modelo de Wolf-Resnick

Este modelo tiene como finalidad determinar el porcentaje de flujo pistón, flujo mezclado y zonas muertas en un reactor, por medio de una curva, en la cual en las abscisas esta t/t_0 (t =tiempo de la muestra y t_0 =tiempo de retención del sedimentador) y en las ordenadas la función $1-F(t)$. En la Figura 18 se muestra la curva, donde t_1/t_0 es el tiempo en que la recta corta la curva con 1,00, t_2/t_0 el corte de la recta con 0,10 y θ es el mismo valor de t_1/t_0 . En el cálculo de los porcentajes **p** es el porcentaje de flujo pistón, **Mz** es el porcentaje de flujo completamente mezclado y **m** es el porcentaje de zonas muertas.^[7]

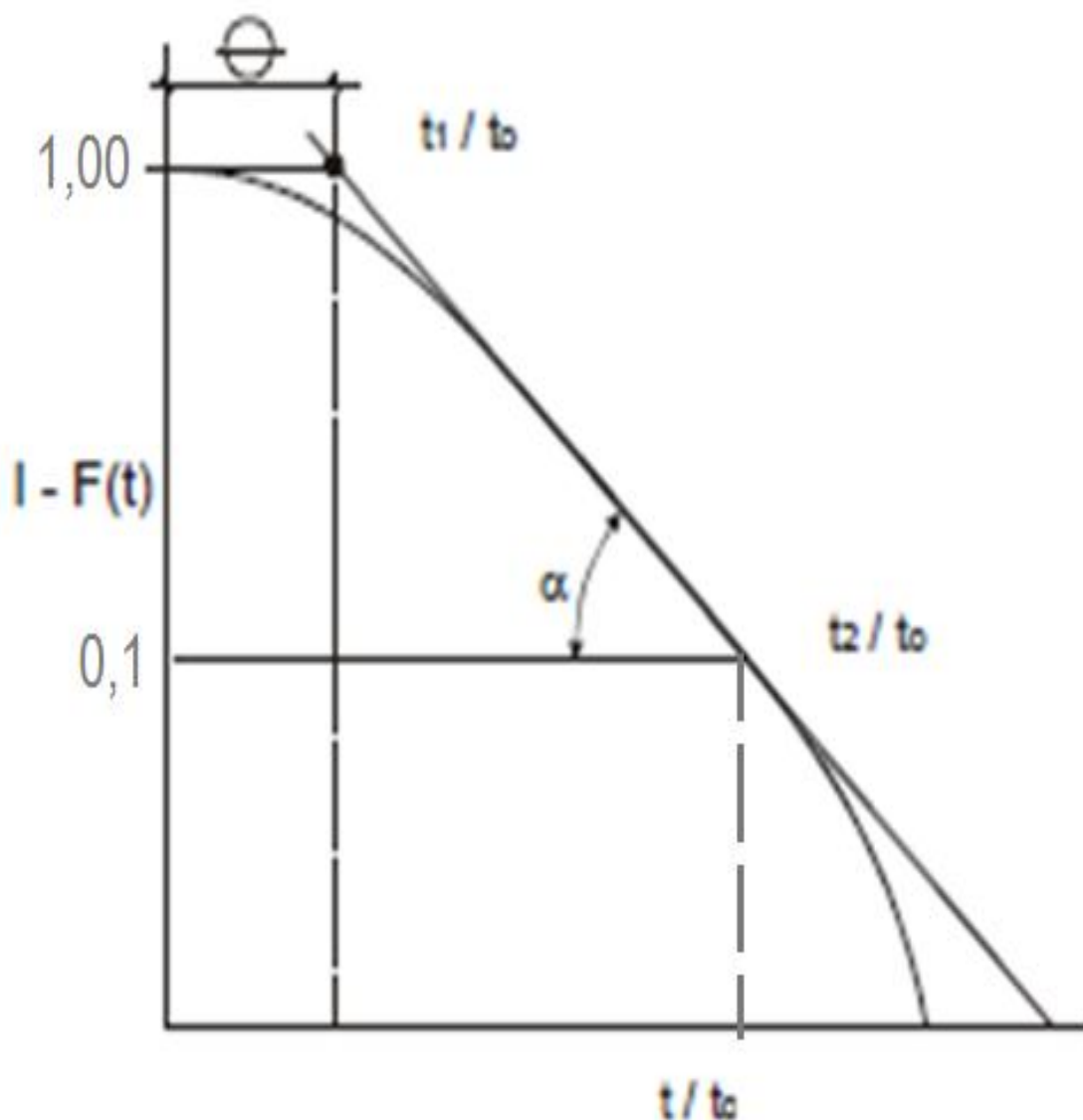


Figura 18. Curva de $1-F(t)$ cantidad de trazador que permanece en el reactor.^[7]

Ecuaciones para el cálculo de los porcentajes de zonas muertas, flujo pistón y flujo mezclado.

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2 - t_1}{t_0 - t_0}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

$\tan \alpha = \text{Ángulo de la curva con el punto } 0,10$

$\frac{t_2}{t_0} = \text{corte de la curva con la recta en el punto } 0,1$

$\frac{t_1}{t_0} = \text{corte de la curva con la recta en el punto } 1,00$

$$\theta = \frac{t_1}{t_0} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

$\frac{t_1}{t_0} = \text{corte de la curva con la recta en el punto } 1,00$

$\frac{t_2}{t_0} = \text{corte de la curva con la recta en el punto } 0,1$

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0,435 + \theta \tan \alpha} * 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde,

$p = \text{Porcentaje de flujo pistón}$

$\tan \alpha = \text{Ángulo de la curva con el punto } 0,10$

$$Mz = (1 - p) * 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde,

$p = \text{Porcentaje de flujo pistón}$

$Mz = \text{Porcentaje de flujo mezclado}$

$$m = \left(1 - \frac{\theta}{p}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde,

$p = \text{Porcentaje de flujo pistón}$

$m = \text{Porcentaje de zonas muertas}$

3.4.5. Análisis de la curva de tendencia

Otra forma de analizar el comportamiento hidráulico de sedimentadores es por medio de la curva de tendencia en donde con la concentración y el tiempo en el que se realizó la prueba se genera dicha curva y se determinan los tiempos.^[7] (Ver Figura 19).

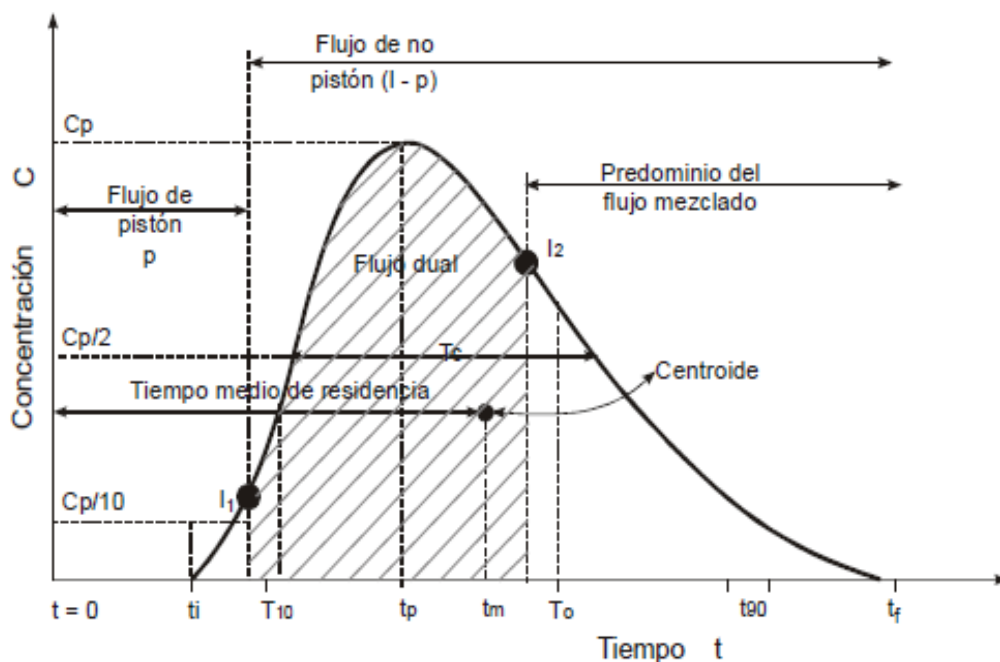


Figura 19. Concentración del trazador en el efluente de un reactor.^[7]

El análisis de la curva se realiza por medio de la siguiente tabla. Ver Tabla 1

Tabla 1. Análisis de la curva de tendencia del trazador.^[9]

Significado (CEPIS, 2004)	
$t_p/t_0 \approx 0$ (predominio flujo mezcla completa)	t_p = tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.
si $t_p/t_0 \approx 1$ y $t_f/t_0 > 0.5$ (predominio flujo pistón)	t_i = tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
$t_f/t_0 = 0$ (flujo mezcla completa)	t_0 = tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención (12.0 horas)
$t_f/t_0 = 1$ (flujo pistón)	t_c = $t_p/2$ o tiempo en que la concentración es mayor que $C_p/2$
$t_f/t_0 < 0.3$ (cortos circuitos)	t_b = tiempo en que la concentración es mayor que $C_p/10$.
$t_c/t_0 = 0.693$ (flujo mezcla completa)	C_p = concentración máxima a la salida
$t_b/t_0 \approx 2.3$ (flujo mezcla completa)	t_m = tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador.
$t_m/t_0 < 1$ (cortos circuitos y/o zonas muertas)	e = excentricidad
$t_m/t_0 > 1$ (acumulación indeseada de trazador o error de ensayo)	
$e \geq 2,3$ (flujo mezcla completa)	
$e = 0$ (flujo pistón)	

3.4.6. Índice de Morrill

En el cual al ir acumulando los datos de la cantidad de trazador que pasa, en porcentajes e ilustrados en papel a escala de probabilidades en las abscisas y escala logarítmica en las ordenadas para diferentes tiempos, se produce aproximadamente una línea recta, si todo el flujo se comportara como pistón, la curva sería una línea horizontal y el índice de Morrill sería igual a 1, pues todo el trazador saldría en el tiempo ($t = t_0$). En contraste, a mayor cantidad de flujo mezclado, existe una distribución más amplia del tiempo de retención y del mismo modo se incrementa el ángulo que la curva hace con la horizontal.^[7] (Ver Figura 20).

$$\text{índice de Morrill} = \frac{\text{tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{tiempo en que pasa el 10\%}}$$

Ecuación 17

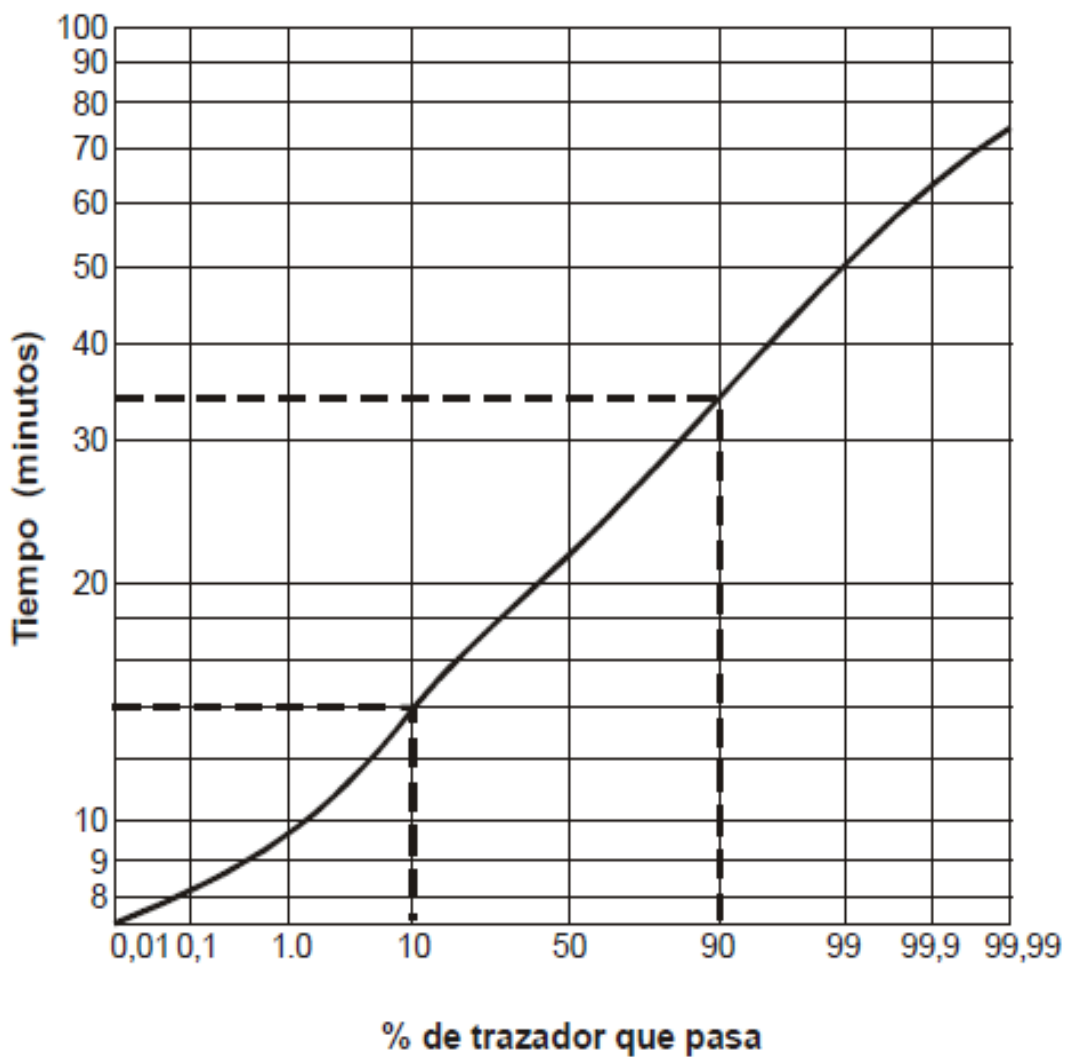


Figura 20. Índice de Morrill.^[7]

3.4.7. Modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM

Este modelo matemático tiene como objeto determinar el comportamiento del sedimentador, en donde la curva experimental $E(t)$ obtenida en el ensayo es comparada con las curvas $E(t)$ teóricas del modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM de 1 a 5. El dominio del régimen hidráulico con flujo a pistón se aumenta a medida que crece el número de RCM en serie. Es decir que si la curva experimental tiene mayor correlación con el RCM-5, el comportamiento del sedimentador tiende a pistón y si la correlación es mayor con el RCM-1, el decantador predomina la mezcla completa (ver Figura 21).^[9]

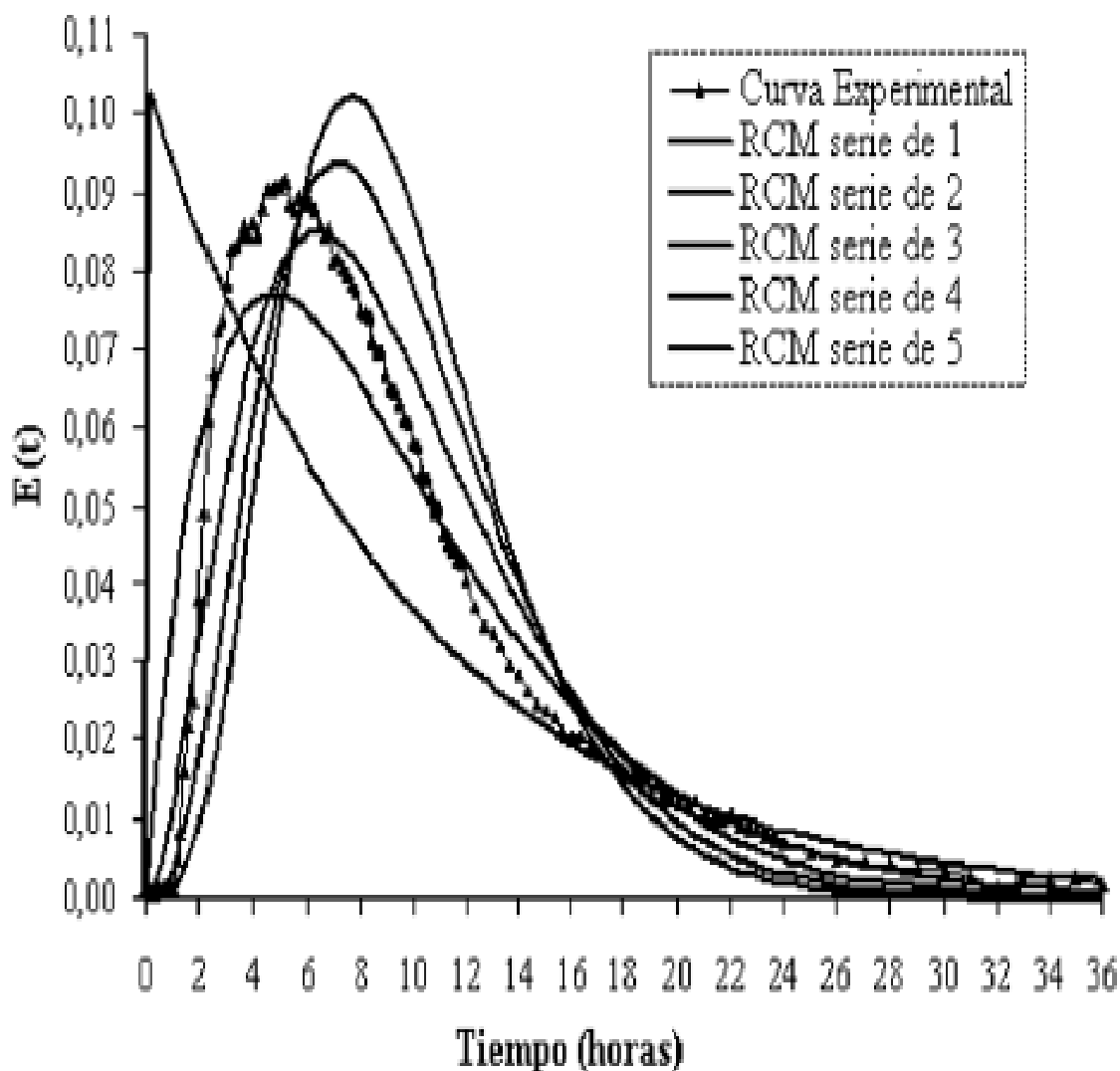


Figura 21. Distribución de tiempos de residencia $E(t)$ experimental y teóricas.^[9]

4. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en la planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca, perteneciente al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga; donde la planta A corresponde a la planta antigua en la cual los sedimentadores tienen dos partes, una convencional y la otra de alta tasa. Así mismo, la planta B o nueva posee en su infraestructura sedimentadores de alta tasa.

El desarrollo del presente estudio permitirá el re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A. Este trabajo se llevó a cabo por medio de tres fases cada una con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos. Fase I: Determinación del tamaño de partícula, fase II: Análisis del comportamiento hidráulico de sedimentadores y fase III: re-diseño de la etapa de sedimentación planta A.

4.1. FASE I: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Esta fase se realizó con el fin de determinar si existen falencias en la floculación o si el floc formado en la etapa de coagulación-floculación posee óptimas características para sedimentar, además con objeto de conocer el tamaño de partícula no removido en los sedimentadores.

El método seguido para el desarrollo de esta fase fue el siguiente:

Definición de los puntos de muestreo

Para la planta A, el punto A1 se estableció para evaluar el tamaño de partícula que ingresa al sedimentador (sirve como punto de referencia para evaluar el floc formada a la salida de los floculadores), A2 corresponde al punto final de los sedimentadores convencionales (punto de referencia de entrada a los sedimentadores de alta tasa), A3 fue establecido por ser el efluente del sedimentador y finalmente nos determina el diámetro no removido en el sedimentador (ver Figura 22).

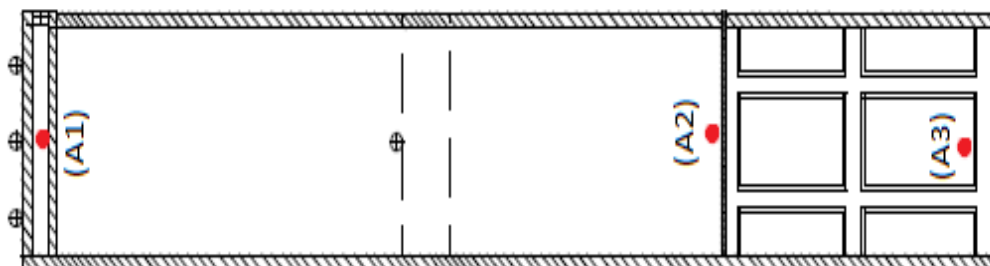


Figura 22. Puntos de toma de muestra para tamaño de partícula planta A.

Paralelo al estudio del sedimentador de la planta A y teniendo en cuenta el reporte por parte del Acueducto del buen funcionamiento de la planta B está se tomó como referencia para evaluar la planta A y también se le realizó el estudio, por lo tanto B1 se determinó por ser el afluente del sedimentador (punto de referencia de la salida de los floculadores), B2 es precisado por ser el efluente del sedimentador e indicara el tamaño de partícula que el sedimentador no removerá (ver Figura 23).

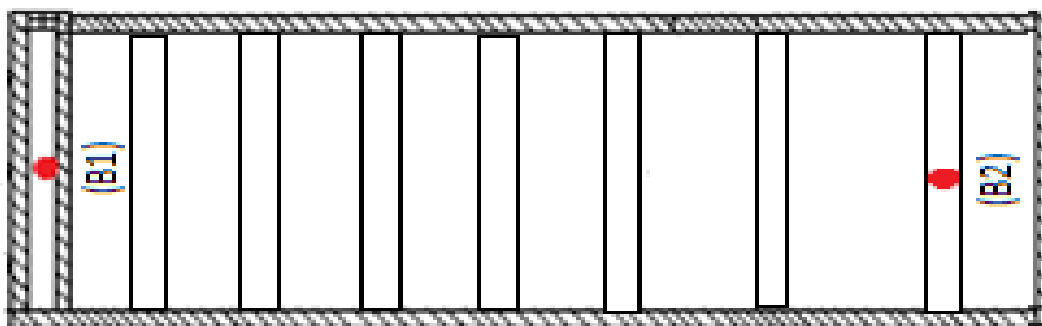


Figura 23. Puntos de toma de muestra para tamaño de partícula planta B.

Muestra de control

Es la muestra tomada de la prueba de jarras y se realizó los mismos días en que se tomó muestra en los sedimentadores. Esta prueba se emplea en el laboratorio del acueducto, para determinar la dosis de coagulante que se aplica en planta y una vez finalizada se procede a tomar la muestra seleccionada por el operador. Este control se hizo para comparar si el tamaño de partícula es similar al medido en los sedimentadores, en el punto de entrada de los sedimentadores de ambas plantas.

Número de muestras y días de muestreo

El número de mediciones se realizó de acuerdo a la capacidad presupuestal y en total fueron 84 muestras. Las muestras se tomaron de la siguiente manera, seis muestras por día, una en cada uno de los puntos definidos en ambas plantas y la muestra de control; por un periodo de catorce días.

Equipo de medición y lugar de análisis

El equipo utilizado para la medición del tamaño de partícula fue el **Mastersizer S**, el cual proporciona una distribución del tamaño de partícula del 5, 10, 20, 50, 70, 90 y 100 por ciento; el tamaño de partícula experimental se tomó del 5% de la distribución que arroja el Mastersizer, por ser el diámetro de partícula crítico y el que siempre saldrá del sedimentador. El análisis de las muestras fue realizado en el laboratorio Fenómenos Interfaciales & Reología del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).

Comparación del tamaño de la partícula

En esta comparación, en primer lugar se calculó el tamaño de partícula teórico del sedimentador para ambas plantas y se comparó con el diámetro de partícula experimental de cada una de ellas en los puntos A2, A3 y B2, en segunda instancia, la comparación entre el tamaño de partícula en el afluente y efluente de ambas plantas y en tercera medida la comparación entre la muestra de laboratorio con el afluente de las plantas A y B.

4.2. FASE II: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

Esta fase se hizo para determinar el comportamiento hidráulico de los sedimentadores actuales tanto de la planta A como B, el tipo de flujo que presentan y si existe la presencia de cortos circuitos, zonas muertas o recirculación en la etapa de sedimentación.

El desarrollo de esta fase se realizó de la siguiente manera:

Definición de los puntos de adición del trazador y toma de muestra

La fijación de los puntos para la planta A se realizó de la siguiente manera, fueron delimitados un punto de adición en la entrada del sedimentador y dos puntos de muestreo; 2 es establecido por ser un punto medio en el tanque y 3 por ser el efluente del sedimentador (ver Figura 24).

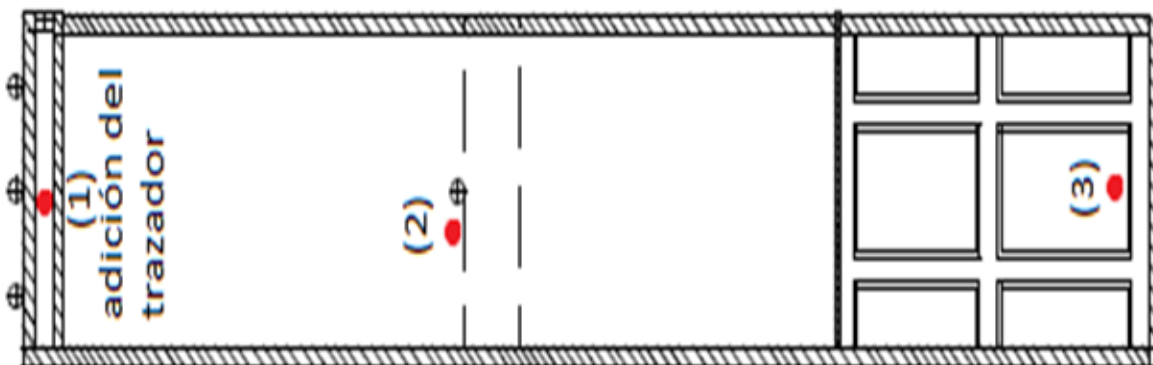


Figura 24. Punto de aplicación del trazador y puntos de toma de muestra para trazadores en la planta A.

Igualmente para la planta B, se fijaron cuatro puntos, 1 como punto de adición de la sustancia trazadora y tres puntos para toma de muestra, 2 por estar ubicado al inicio del tanque, 3 por ser un punto intermedio en el sedimentador y 4 por ser la salida del decantador (ver Figura 25).

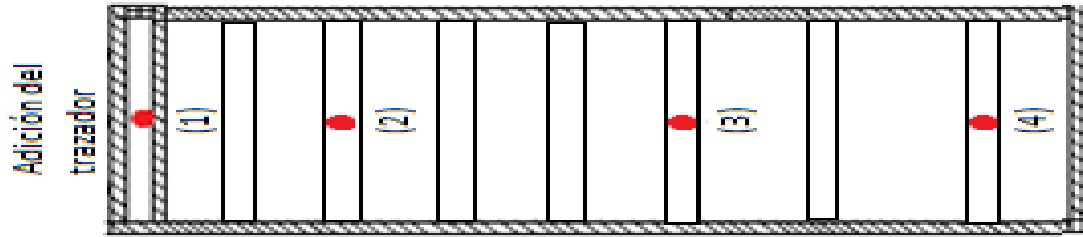


Figura 25. Punto de aplicación del trazador y puntos de toma de muestra para trazadores en la planta B.

Sustancia trazadora, medición de conductividad y tiempo de la prueba

El trazador empleado fue sal (NaCl), el cálculo de la cantidad de sustancia para adicionar se muestra en el anexo I (ver Figura-I y Tabla- VI). Se realizó la medición de la conductividad durante tres veces el tiempo de retención y se tomó muestra con una frecuencia de dos minutos en ambas plantas.

Análisis realizados

Con los resultados obtenidos de la prueba de trazadores, se efectuó el análisis de esta prueba y también se realizaron otros estudios, tales como, el modelo de Wolf-Resnick, el modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM y el análisis de la curva de tendencia para las dos plantas.

Para el modelo de Wolf-Resnick se empleó la función $F(t)$ y su ecuación es la siguiente:

$$F(t) = \int_0^t E(t) \quad \text{Ecuación 18}$$

Para el modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM, la correlación entre la curva experimental y las cinco curvas teóricas del modelo se realizó de manera visual. La función empleada para este modelo fue $E(t)$ y se calculó con la siguiente ecuación:

$$E(t) = \frac{c(t)}{\int c(t)dt} \quad \text{Ecuación 19}$$

La ecuación utilizada para el cálculo de las cinco curvas experimentales del modelo es la siguiente:

$$C_i = \frac{C_o}{(i-1)!} \left(\frac{nt}{t_o}\right)^{i-1} \cdot e^{-\frac{nt}{t_o}} = \frac{C_o}{(i-1)!} (n\theta)^{i-1} \cdot e^{-n\theta} \quad \text{Ecuación 20}$$

C_i = Concentración del efluente del i – esimo reactor en m/l^3
 n = Número total de reactores

$\theta = t/t_o$ *Tiempo de retención normalizado adimensional*

4.3. FASE III: RE-DISEÑO DE LA PLANTA A

Esta fase se realizó con objeto de proponer un diseño para el mejoramiento de la etapa de sedimentación y optimizar el área e infraestructura existente en la planta A, el re-diseño se basó en los resultados de la fase I y II.

Para el desarrollo de la alternativa de re-diseño se llevó a cabo lo siguiente:

Levantamiento de la infraestructura existente de la etapa de sedimentación

Se realizó la toma de medidas de las instalaciones presentes y su debido plano por medio del programa **solid edge**, con el fin de determinar los espacios a utilizar en el re-diseño.

Cálculo de la capacidad a aumentar

Se construyó una gráfica para determinar el caudal que se puede incrementar en la planta A, aprovechando el volumen de los sedimentadores convencionales para convertirlo en floculadores, sedimentadores de alta tasa y filtros; para realizarla se hicieron dos curvas, la primera corresponde al volumen disponible, que se calcula restandole el volumen requerido para floculación al volumen total y la segunda corresponde al cálculo del volumen requerido para sedimentadores, por tanto la convergencia de las dos curvas me da el caudal hasta donde se puede incrementar.

Re-diseño

La metodología de cálculo empleada fue la de Jorge Arboleda Valencia (ver referencia [1]). Seguidamente se realiza la adecuación de la etapa de sedimentación de la planta A, con la alternativa que responda a las necesidades de infraestructura y funcionamiento de la misma y los planos respectivos del re-diseño.

Chequeo de las velocidades de sedimentación

Finalmente se calcula la velocidad de sedimentación de la nueva etapa y se compara con la velocidad de sedimentación de la etapa existente, esto sirve para confirmar que el sedimentador propuesto puede remover un tamaño de partícula inferior al diámetro de partícula mínimo.

5. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos en cada una de las fases expuestas en la metodología de este estudio y el análisis de los mismos; con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados inicialmente.

5.1. FASE I: DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

En esta fase encontrará los resultados de la comparación entre el tamaño de partícula teórico y experimental de las dos plantas, la comparación del tamaño de partícula en el afluente y efluente de ambas plantas y finalmente la comparación entre la muestra de laboratorio el punto de ingreso de las plantas. En el anexo I, en la Tabla-I encontrará los datos de la distribución del tamaño de partícula arrojados por el Mastersizer S de la totalidad de las muestras tomadas; en la Tabla-II (planta A) y Tabla-III (planta B) los datos iniciales de cada uno de los sedimentadores en estudio. Además, en la Tabla-IV y Tabla-V el cálculo teórico del tamaño de partícula de cada uno de los decantadores.

5.1.1. Tamaño de partícula teórico y experimental de las dos plantas

En la Figura 26 se puede observar el tamaño de partícula teórico y experimental de la planta A en el punto A2, donde finaliza la parte convencional del sedimentador.

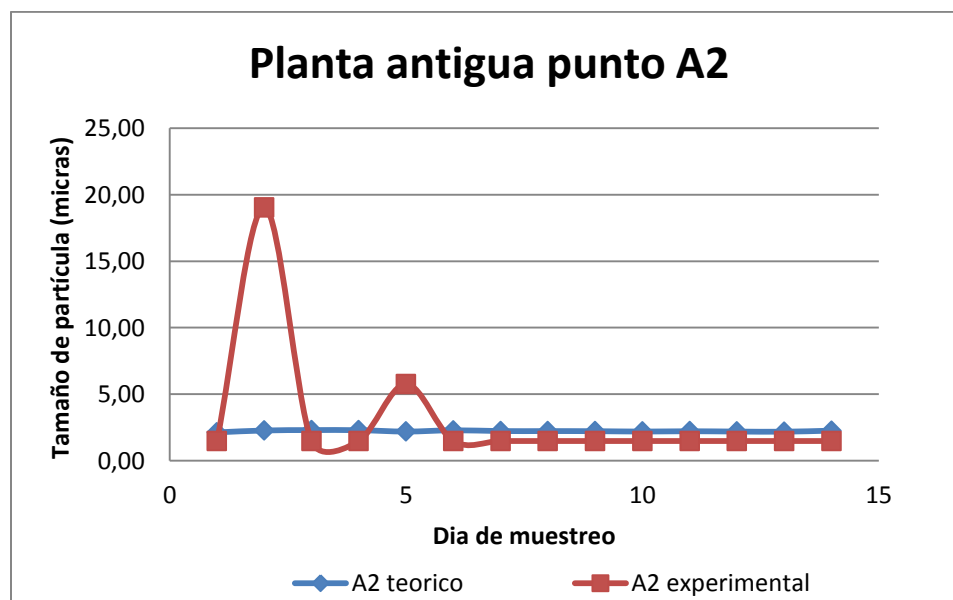


Figura 26. Tamaño de partícula de la planta A, punto A2.

Se puede apreciar en la Figura 26 que el tamaño de partícula teórico es similar al experimental, es decir, que en el punto A2 donde termina la parte convencional del decantador, el diámetro de partícula a remover queda en el sedimentador.

El punto A3 es el efluente del tanque de la planta A, la Figura 27 señala el tamaño de partícula teórico y experimental en este punto.

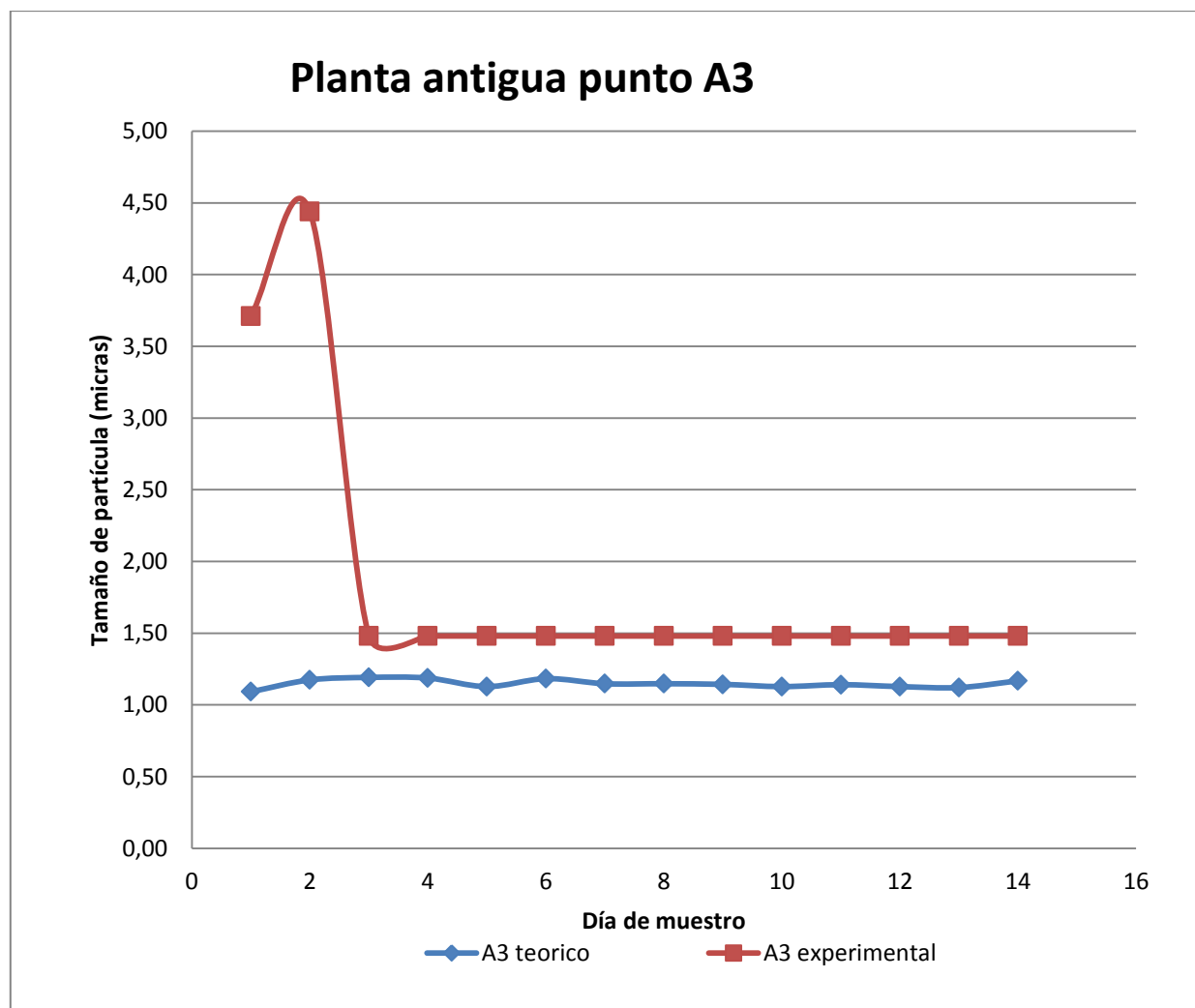


Figura 27. Tamaño de partícula de la planta A, punto A3.

En la Figura 27 se puede observar que el tamaño de partícula teórico es menor que el experimental, esto indica que el sedimentador no remueve el tamaño de partícula para el cual fue diseñado.

Igualmente para la planta B la Figura 28 expone el diámetro de partícula teórico y experimental en el punto B2, que es el efluente del decantador.

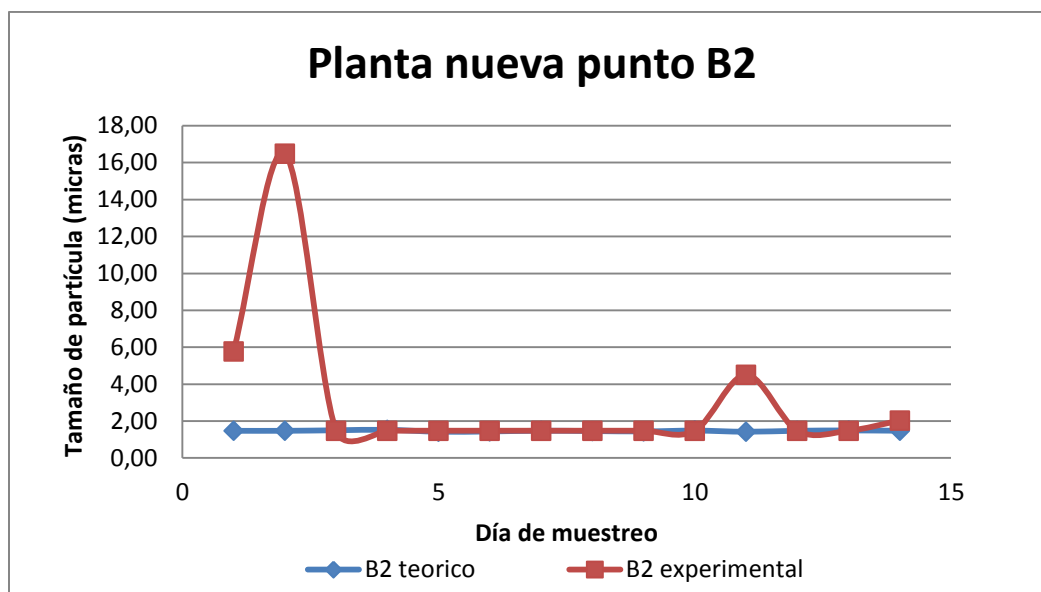


Figura 28. Tamaño de partícula de la planta B, punto B2.

La Figura 28 muestra que el tamaño de partícula experimental fue igual al teórico, indicando un buen funcionamiento del sistema debido a que el diámetro retenido por el sedimentador es el diámetro de partícula para el que fue diseñado.

5.1.2. Comparación del tamaño de partícula en el afluente y efluente.

La Figura 29 presenta el tamaño de partícula en el afluente de ambas plantas. Los datos se encuentran disponibles en el anexo I, Tabla-I

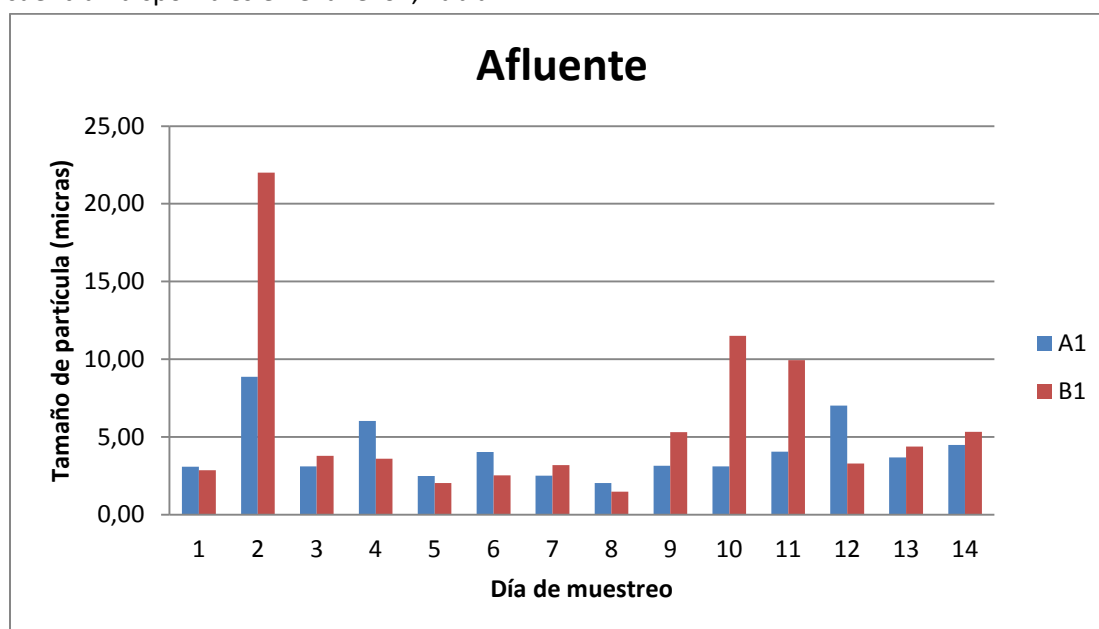


Figura 29. Tamaño de partícula del afluente planta A y B.

El tamaño de partícula a la salida de los floculadores tiene un comportamiento similar en ambas plantas, cabe resaltar que los días 2 (12/oct/12), 10 (07/nov/12) y 11 (08/nov/12) fue significativamente más grande en la planta B (ver Figura 29).

La Figura 30 expone el tamaño de partícula en el efluente de la planta A y B, durante los catorce días de muestreo.

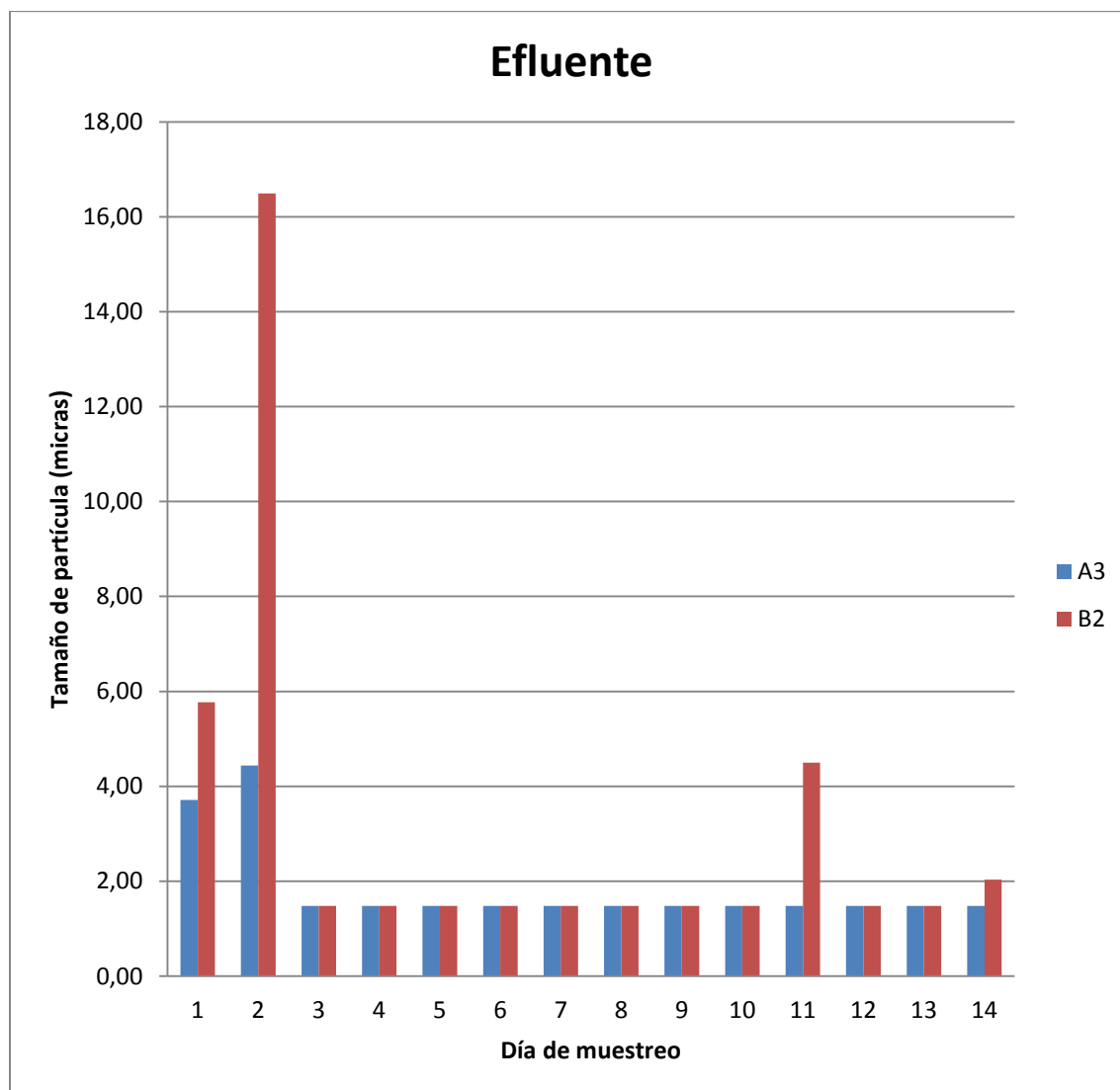


Figura 30. Tamaño de partícula del efluente planta A y B.

En la Figura 30 se puede observar que el 78,6% de los días el tamaño de partícula fue igual a la salida, el otro 21,4% corresponde a los días 1 (09/oct/12) ,2 (12/oct/12) y 11 (08/nov/12) en donde los sedimentadores no removieron el diámetro de partícula requerido por el sistema.

5.1.3. Comparación entre la muestra de laboratorio y el punto de ingreso de las plantas.

La comparación entre los tamaños de partícula en la entrada de las dos plantas y la muestra de laboratorio se pueden ver en la Figura 31. Los datos de la gráfica están disponibles en el anexo I, Tabla-I.

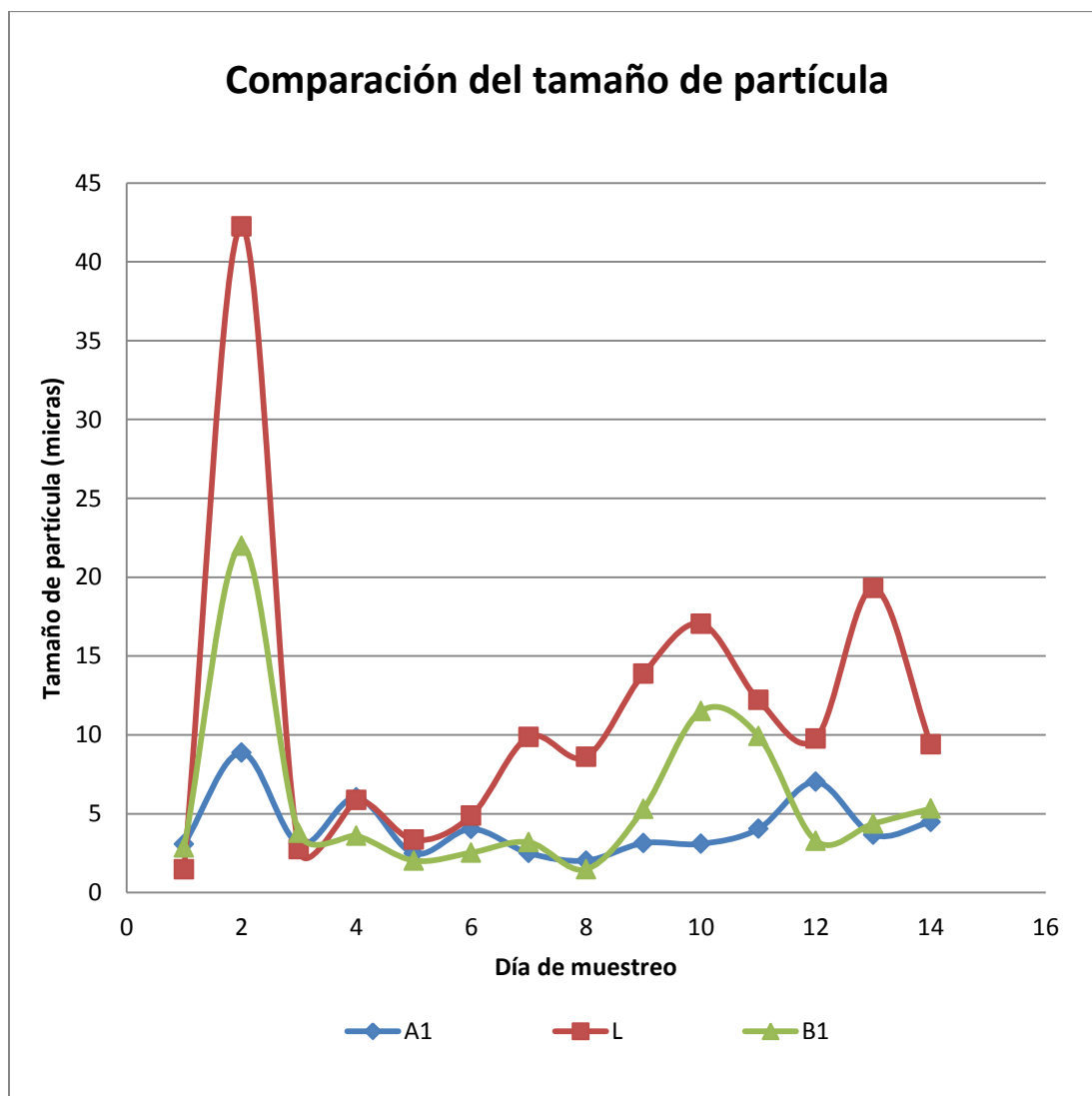


Figura 31. Comparación del tamaño de partícula de la muestra de laboratorio con el afluente de ambas plantas.

En la Figura 31, se puede observar que el tamaño de partícula es mayor en la muestra de laboratorio que en los puntos de ingreso A1 para la planta A y B1 para la planta B, indicando de esta manera un mal funcionamiento de los floculadores, que puede ser por varias razones, tales como, bajo tiempo de retención, utilización del gradiente inadecuado o por mala operación.

5.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

En esta fase se pueden ver los resultados de la prueba de trazadores, el modelo de Wolf-Resnick, el modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM, el análisis de la curva de tendencia y el índice de Morrill, para determinar el comportamiento hidráulico de los sedimentadores de la planta A y B.

5.2.1. Prueba de trazadores

Los resultados de la prueba de trazadores empleada en este estudio, para evaluar el comportamiento hidráulico del sedimentador, se pueden ver para la planta A en la Figura 32; la cual expone el valor de la conductividad en $\mu\text{S/cm}$ versus el tiempo en minutos. Los datos de la prueba de trazadores para la planta A, los puede ver en el anexo I, Tabla- VII.

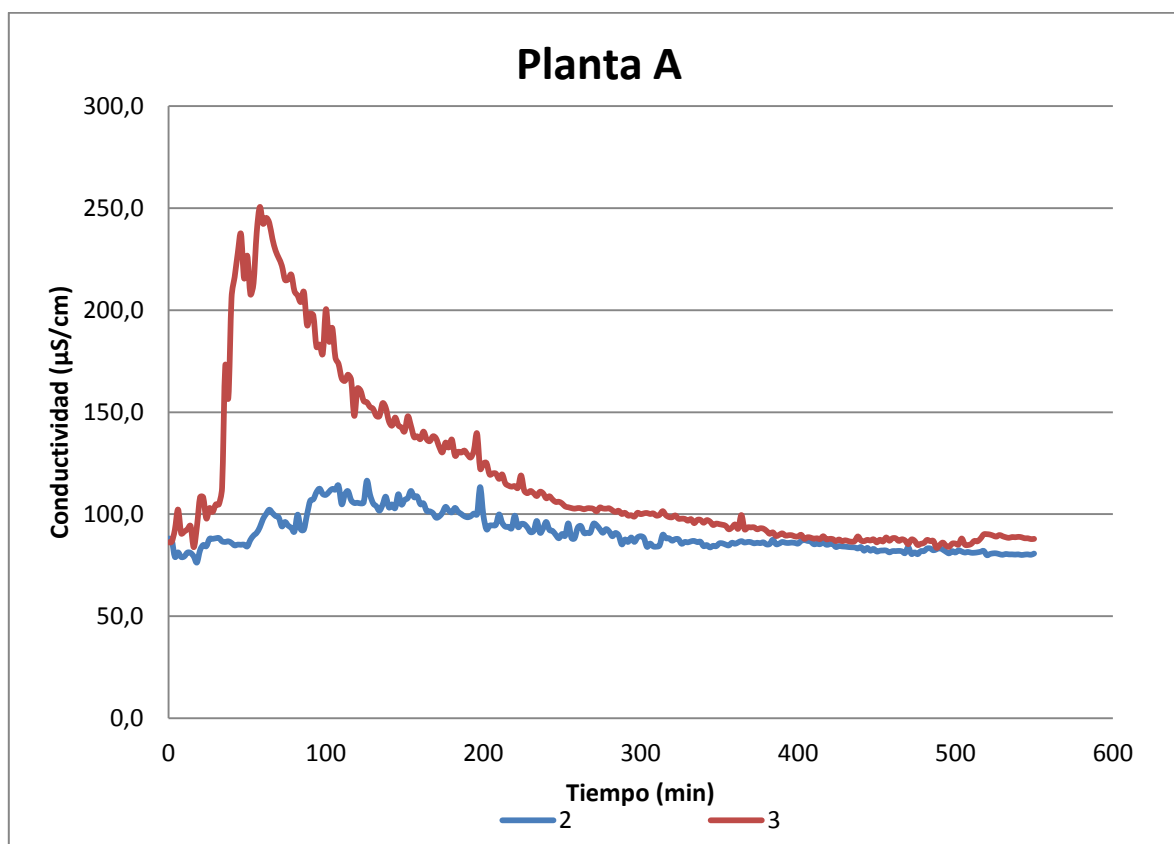


Figura 32. Curva del trazador de la planta A.

En la Figura 32 en el punto 2 (ubicado a 1.10 m de profundidad y 11,34 m de la entrada del decantador), se observa la presencia de una zona muerta en la parte superior del sedimentador, debido a que la curva 2 no alcanza un pico que muestre que gran cantidad del trazador sale por este punto, es decir, la sustancia

se desplaza por debajo del sedimentador y sale directamente al efluente. Además, el sedimentador tiene un tiempo de retención de 133,3 minutos, presentando en la curva 3 al minuto 58 el pico más alto con una conductividad igual a 250,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ratificando la presencia de zona muerta.

De manera conjunta, la prueba de trazadores para la planta B se muestra en la Figura 33, la cual presenta la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ vs tiempo en minutos. Los resultados de la prueba de trazadores para la planta B, se pueden observar en el anexo I, Tabla- VIII.

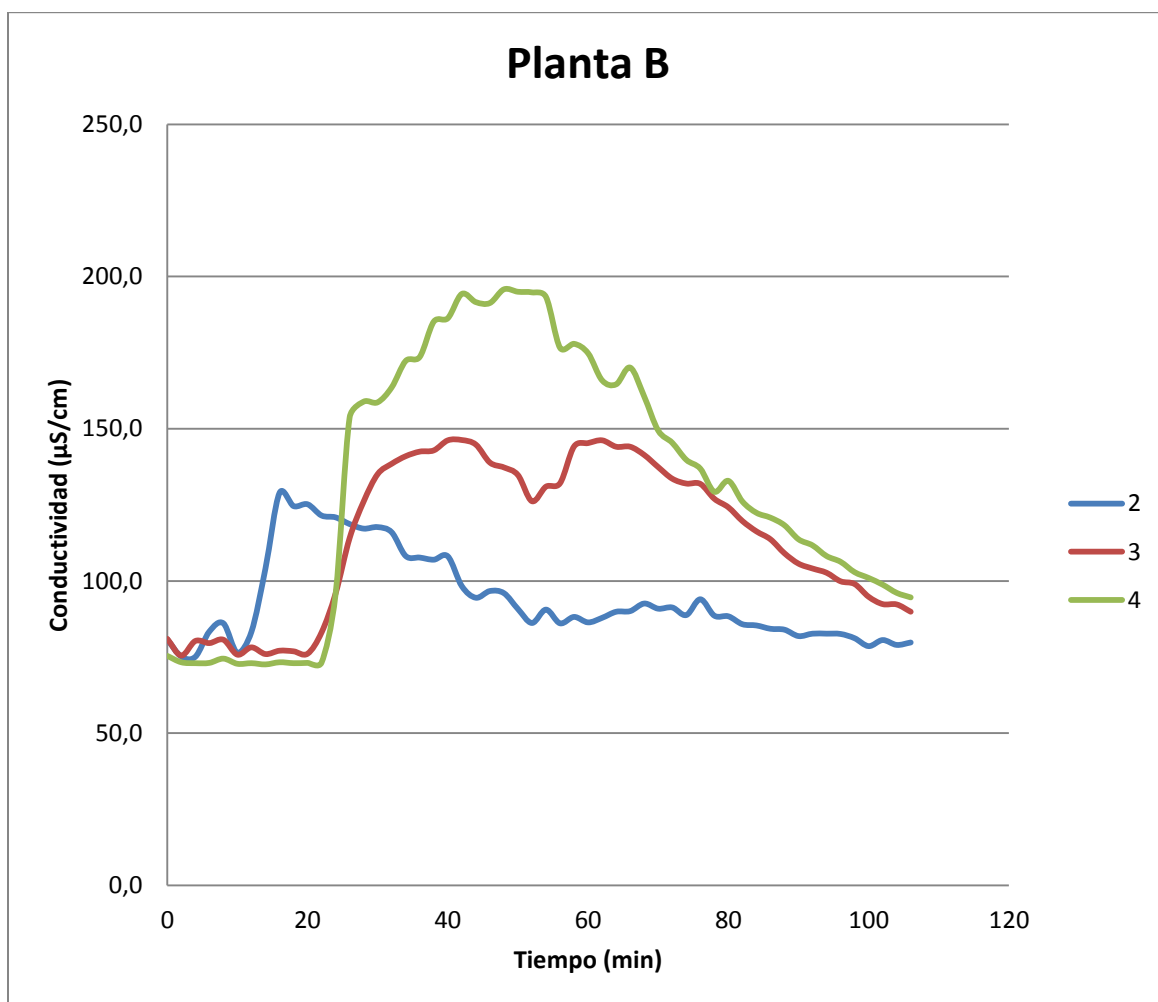


Figura 33. Curva del trazador de la planta B.

La Figura 33 señala que al minuto 16 (punto 2), minuto 20 (punto 3) y minuto 22 (punto 4) empieza a salir el trazador comportándose como flujo pistón. Además, el tiempo de retención del sedimentador es de 48,9 minutos y al minuto 48 (punto 4) se presenta el valor máximo con una conductividad igual a 195,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, el trazador sale en el periodo de tiempo para el que está diseñado.

5.2.2. Modelo de reactores mezclados en serie RCM

El modelo de RCM determina cómo se comportan los decantadores en estudio, en la Figura 34, se muestra el comportamiento del decantador de la planta A y las cinco curvas teóricas de este modelo; la gráfica tiene en las abscisas la función $E(t)$ y en las ordenadas el tiempo en minutos. Los datos de este modelo para la planta A, se encuentran en el anexo I, Tabla- x.

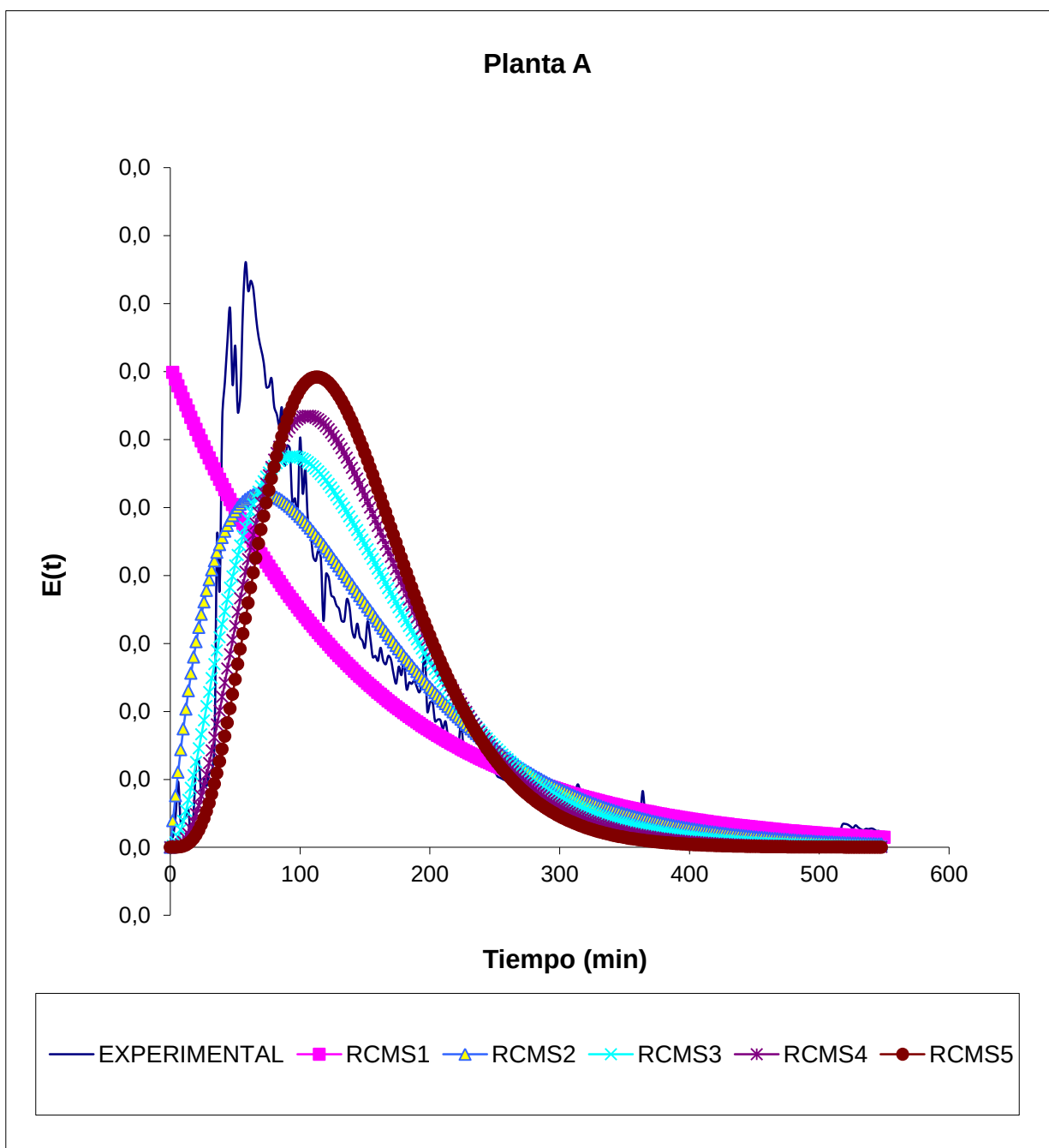


Figura 34. Modelo RCM en serie planta A.

The graph displays the concentration $E(t)$ over time (Tiempo in minutes) for 'Planta A'. The y-axis ranges from 0.0 to 0.0 with major ticks every 0.0. The x-axis ranges from 0 to 600 minutes with major ticks every 100 minutes. Two data series are plotted: 'EXPERIMENTAL' (solid blue line) and 'RCMS2' (blue line with yellow triangle markers). The experimental data shows a sharp peak around 50 minutes, reaching a maximum value of approximately 0.0. The RCMS2 simulation follows the general trend of the experimental data, showing a peak around 70 minutes with a maximum value of approximately 0.0. Both curves decay towards zero as time increases, with the RCMS2 model providing a smoother representation of the experimental data.

Como se muestra en la Figura 35 el sedimentador de la planta A se comporta como un reactor completamente mezclado de serie 2, es decir, que presenta un flujo de mezcla completa y se comporta como dos reactores en serie.

De igual manera para la planta B, en la Figura 36 se muestra la correlación de la curva experimental con cada una de las cinco curvas teóricas del modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM. Los datos del modelo para la planta B, están disponibles en el anexo I, Tabla- XI.

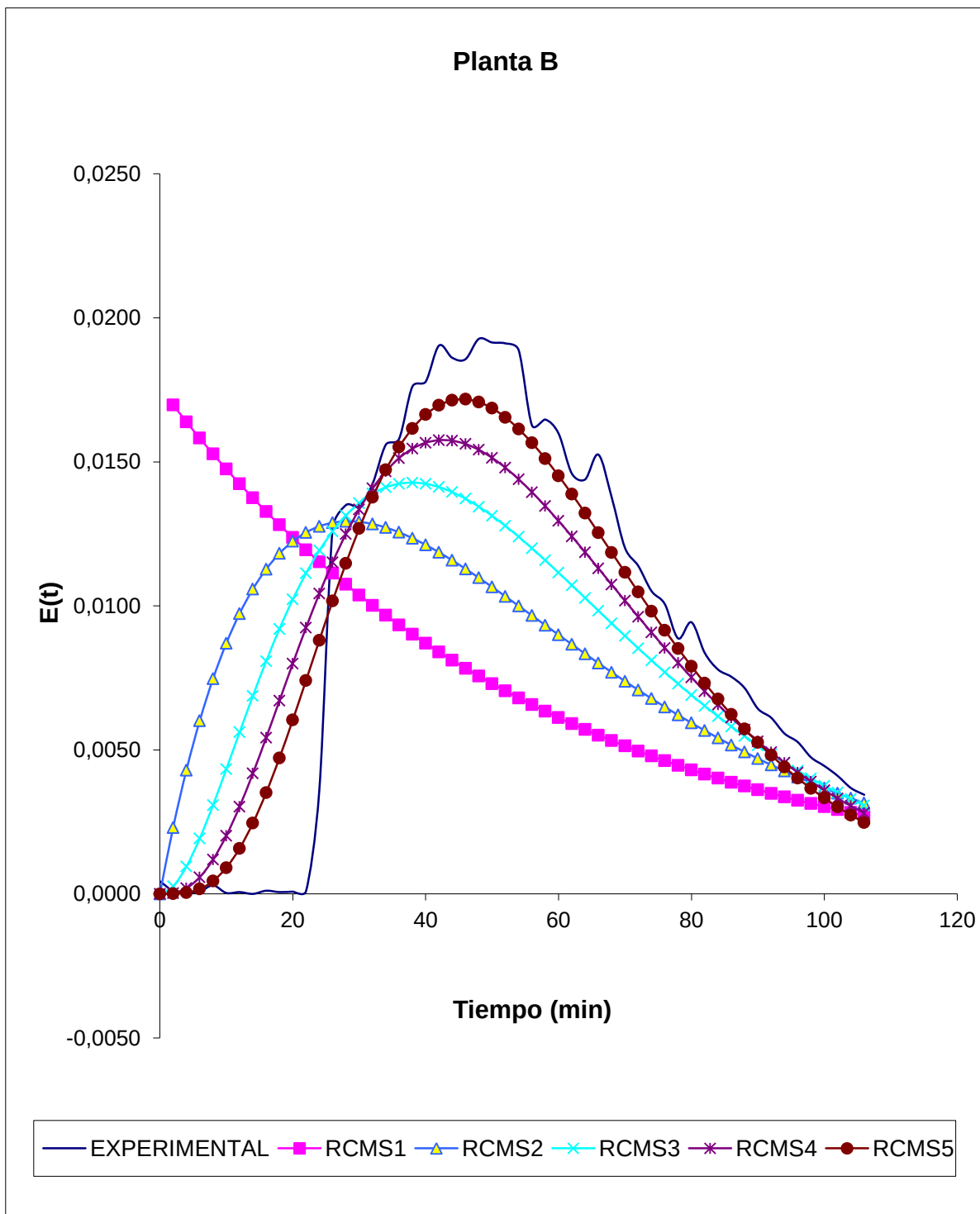


Figura 36. Modelo RCM para la planta B.

La Figura 37 expone la afinidad de la curva experimental para la planta B con el modelo de reactores completamente mezclados en serie RCM.

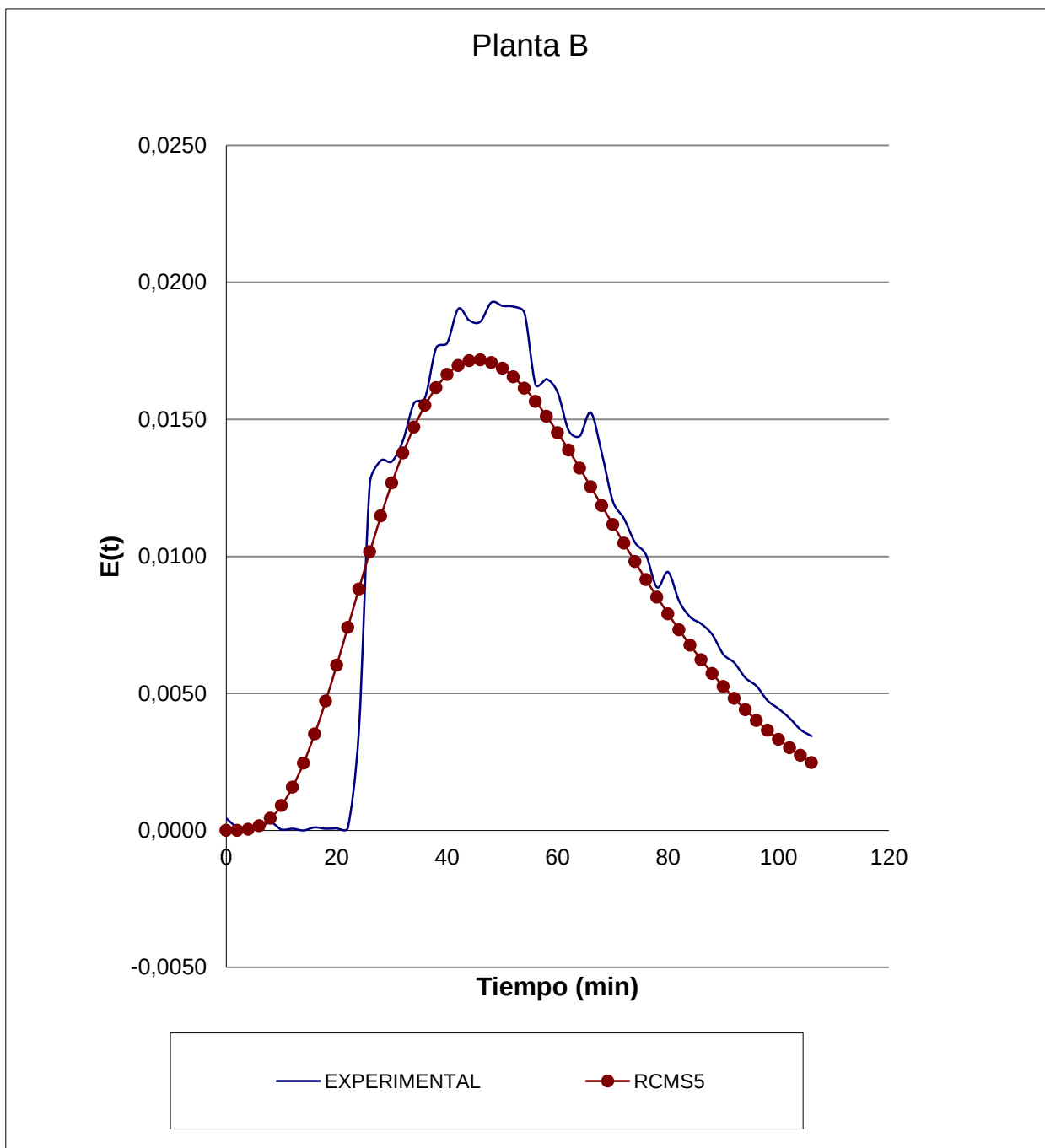


Figura 37. Correlación con el modelo de RCM para la planta B.

Como se aprecia en la Figura 37 el sedimentador de la planta B se comporta como un reactor completamente mezclado de serie cinco, esto indica que aunque existe flujo dual, predomina el flujo pistón.

5.2.3. Modelo de Wolf-Resnick

El modelo de Wolf-Resnick indica el porcentaje de flujo pistón, flujo mezclado y zonas muertas que existen en el sedimentador, en la Figura 38 se puede observar este modelo para la planta A. Los resultados de este modelo se pueden observar en el anexo I, Tabla- x.

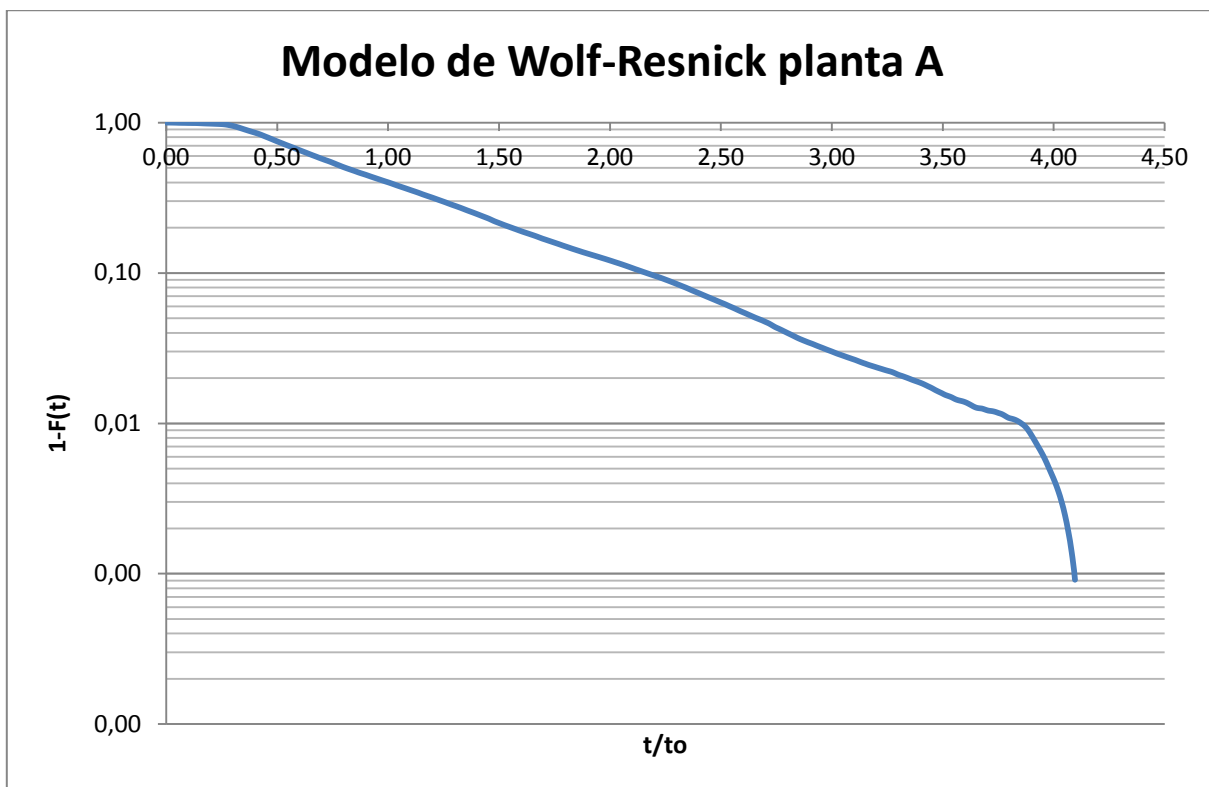


Figura 38. Modelo de Wolf-Resnick planta A.

Tabla 2. Resultados del modelo de Wolf-Resnick planta A.

t1/to	0,51
t2/to	2,13
θ	0,51
$\tan \alpha$	0,62
flujo pistón (p)	42%
flujo mezclado (Mz)	58%
zona muerta (m)	21%

En la Tabla 2 se observan los resultados del modelo Wolf-Resnick para la planta A, donde el sedimentador se comporta un 42% como flujo pistón y un 58% completamente mezclado, ratificando lo dicho en el análisis del modelo RCM. Además, presenta un 21% de zonas muertas, que ya se había expuesto en el razonamiento de la prueba de trazadores.

Igualmente, se establece el modelo de Wolf-Resnick para la planta B como se muestra en la Figura 39. Los resultados para este modelo encuéntrelos en el anexo I, Tabla- xi.

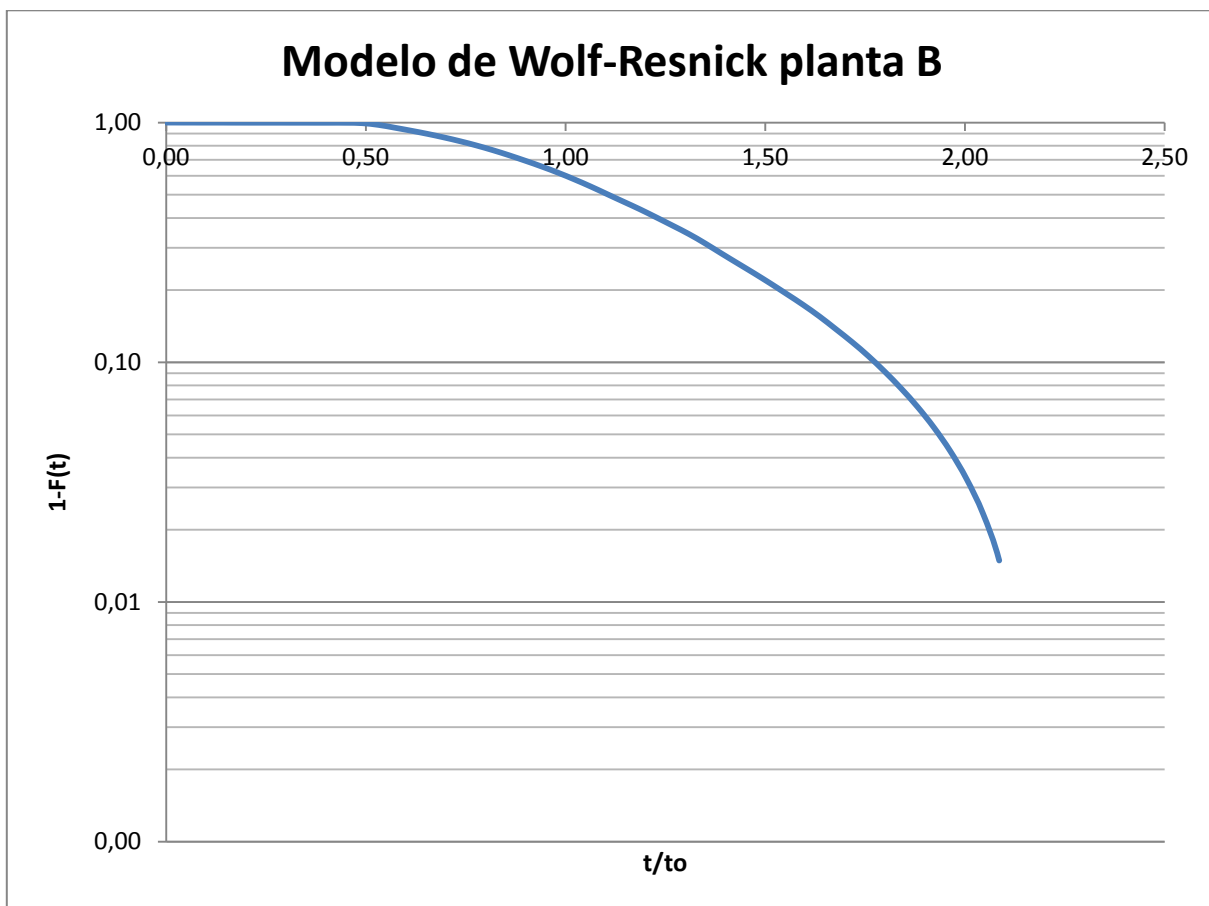


Figura 39. Modelo de Wolf-Resnick planta B.

Tabla 3. Resultados del modelo de Wolf-Resnick planta B.

t_1/t_o	0,78
t_2/t_o	1,76
θ	0,78
$\tan \alpha$	1,02
flujo pistón (p)	65%
flujo mezclado (Mz)	35%
zona muerta (m)	21%

La Tabla 3 indica el comportamiento del sedimentador de la planta B, el cual para flujo pistón es de un 65% y para flujo mezclado de un 35%, esto corrobora lo expuesto en los análisis de prueba de trazadores y el modelo de RCM. También, existe la presencia de zonas muertas con un porcentaje de 21%.

5.2.4. Curva de tendencia

Por medio de la curva de tendencia también es posible el análisis del comportamiento de los sedimentadores. La Figura 40 señala la curva para la planta A que está dada por la concentración en mg/l vs tiempo en minutos. Los datos se pueden ver en el anexo I, Tabla- x.

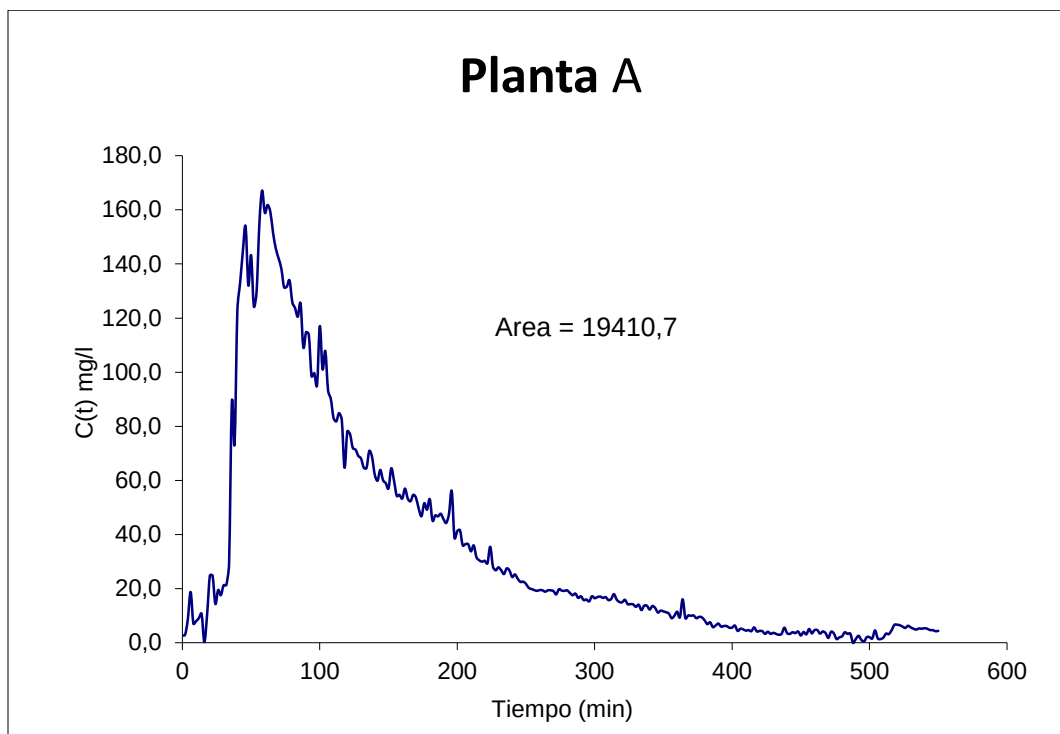


Figura 40. Curva de tendencia planta A.

Tabla 4. Resultados del análisis de la curva de tendencia planta A.

Parámetro	ti	20
	to	133,3
	tp	58
	tc	29
	tb	234
	tm	108
Relación	tp/to	0,44
	ti/to	0,15
	tc/to	0,22
	tb/to	1,76
	tm/to	0,81

Las relaciones de la Tabla 4 denotan el predominio de mezcla completa con $tp/to=0,44$, presenta cortos circuitos con la relación $ti/to=0,15$ y $tm/to=0,81$ menor a

1 demarcando la existencia de zonas muertas, teniendo correlación con los resultados anteriores acerca del sedimentador de la planta A.

Paralelamente para la planta B se muestra la curva de tendencia en la Figura 41. Los datos de este modelo para la planta B, están disponibles en el anexo I, Tabla-XI.

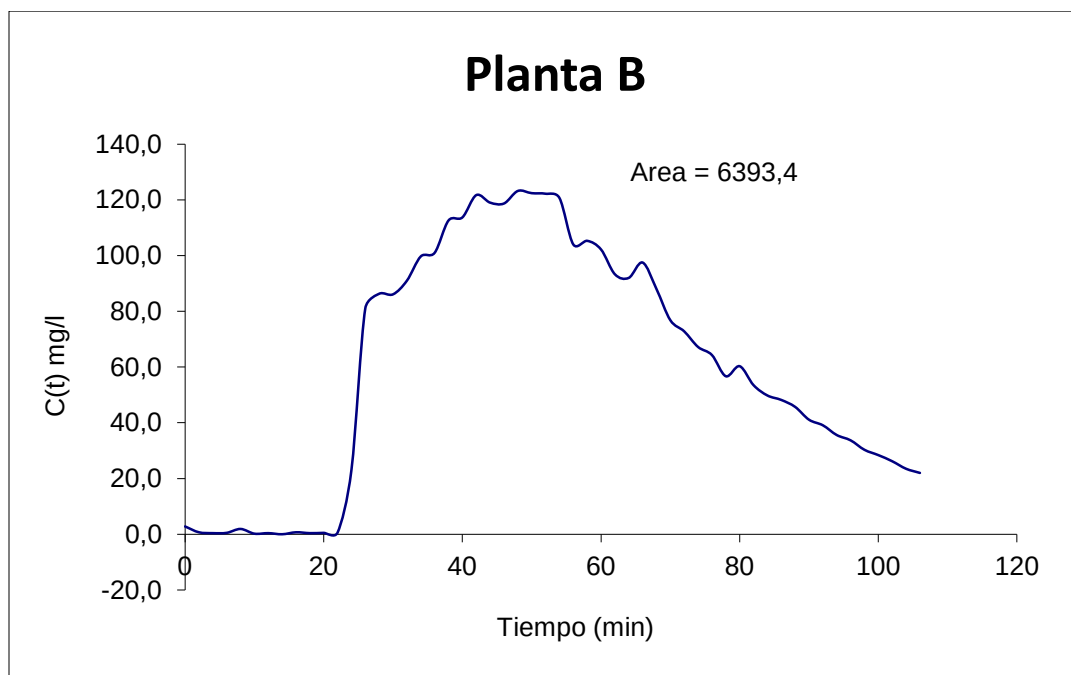


Figura 41. Curva de tendencia planta B.

Tabla 5. Resultados del análisis de la curva de tendencia planta B.

Parámetro	ti	22
	to	48,9
	tp	48
	tc	24
	tb	106
	tm	54
Relación	tp/to	0,98
	ti/to	0,45
	tc/to	0,49
	tb/to	2,17
	tm/to	1,10

En la Tabla 5, la relación $tp/to=0,98$ notifica el predominio de flujo pistón porque tiende a 1, estableciendo la correlación de resultados de la prueba de trazadores y los dos modelos anteriores, el de RCM y el de Wolf-Resnick para la planta B.

5.2.5. Índice de Morrill

La gráfica del índice de Morrill indica la tendencia de flujo del sedimentador, para la planta A se puede observar este índice en la Figura 42. Encuentre los datos de este índice para la planta A en el anexo I, Tabla- x.

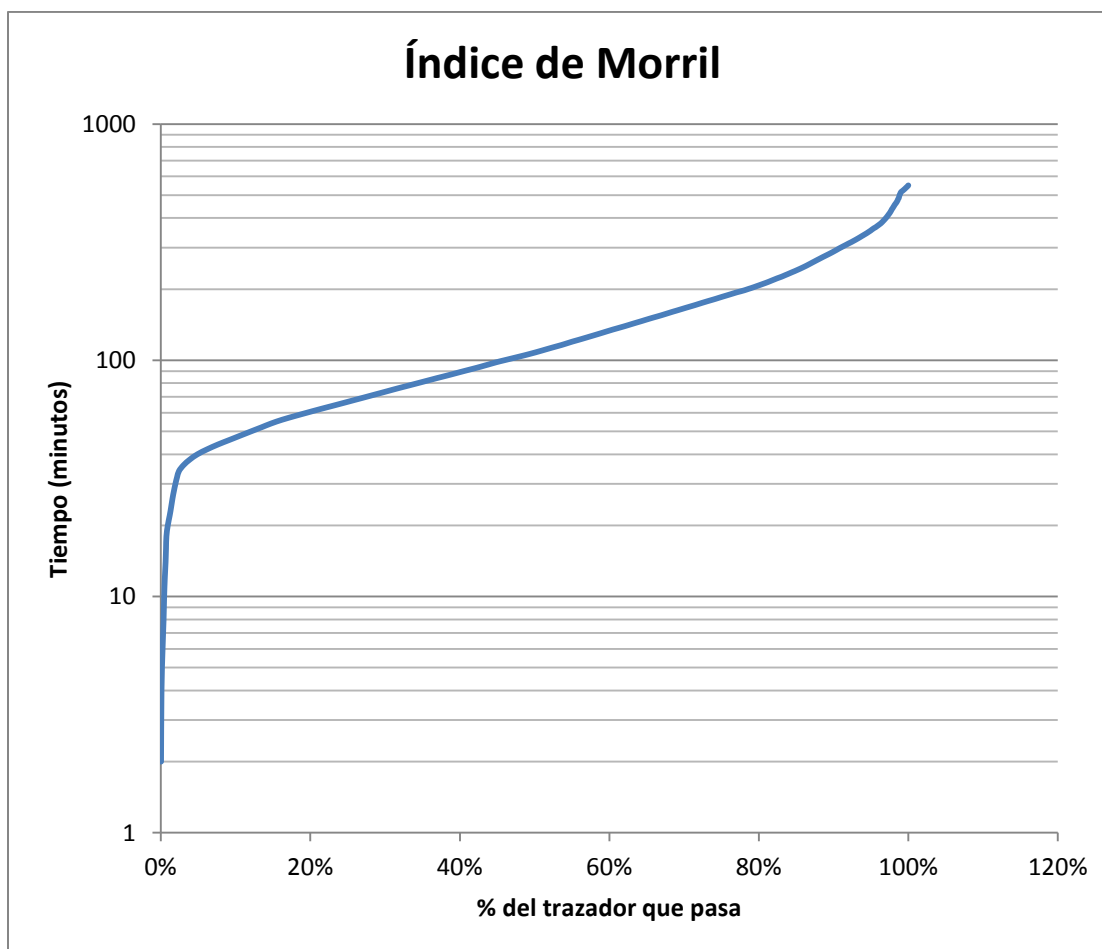


Figura 42. Índice de Morrill planta A.

Tabla 6. Resultados del índice de Morrill planta A.

índice de Morrill	6,17
90%	290
10%	47

La Tabla 6 señala los resultados obtenidos del índice de Morrill con un valor de 6,17 lejano de 1, esto denota que el sedimentador presenta un comportamiento de mezcla completa y no de flujo pistón.

De la misma manera para la planta B, la curva del índice de Morrill se puede ver en la Figura 43; entre más cercano el índice a 1 más tendencia a flujo pistón. Los resultados para la planta B de este índice se pueden ver en el anexo I, Tabla- XI.

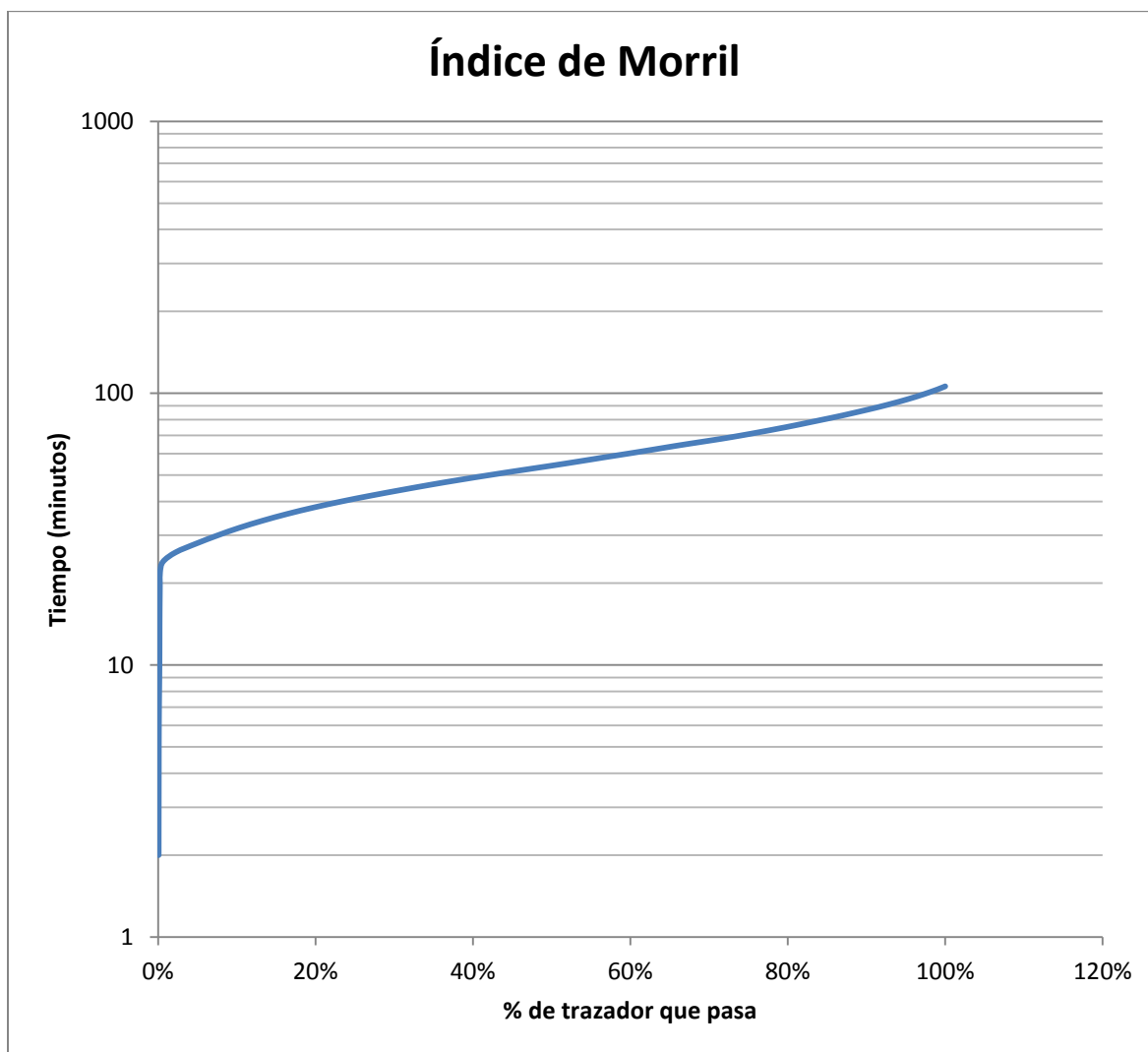


Figura 43. Índice de Morrill planta B.

Tabla 7. Resultados del índice de Morrill planta B.

índice de Morrill	2,7
90%	87
10%	32

Los resultados en la Tabla 7, subrayan un 2,7 de índice de Morrill valor más cercano a 1, por ello aunque el sedimentador de la planta B no se comporte totalmente como flujo pistón existe una mayor tendencia hacia este tipo de flujo.

5.3.1. Plano actual de la etapa de sedimentación

Architectural floor plan of a building, showing a grid system and room layouts. The plan includes dimensions for grid lines and room sizes.

Grid Dimensions (Horizontal):

- Grid 1 to 2: 1000
- Grid 2 to 3: 1000
- Grid 3 to 4: 1000
- Grid 4 to 5: 1000
- Grid 5 to 6: 1000
- Grid 6 to 7: 1000
- Grid 7 to 8: 1000
- Grid 8 to 9: 1000
- Grid 9 to 10: 1000
- Grid 10 to 11: 1000
- Grid 11 to 12: 1000
- Grid 12 to 13: 1000
- Grid 13 to 14: 1000
- Grid 14 to 15: 1000
- Grid 15 to 16: 1000
- Grid 16 to 17: 1000
- Grid 17 to 18: 1000
- Grid 18 to 19: 1000
- Grid 19 to 20: 1000
- Grid 20 to 21: 1000
- Grid 21 to 22: 1000
- Grid 22 to 23: 1000
- Grid 23 to 24: 1000
- Grid 24 to 25: 1000
- Grid 25 to 26: 1000
- Grid 26 to 27: 1000
- Grid 27 to 28: 1000
- Grid 28 to 29: 1000
- Grid 29 to 30: 1000
- Grid 30 to 31: 1000
- Grid 31 to 32: 1000
- Grid 32 to 33: 1000
- Grid 33 to 34: 1000
- Grid 34 to 35: 1000
- Grid 35 to 36: 1000
- Grid 36 to 37: 1000
- Grid 37 to 38: 1000
- Grid 38 to 39: 1000
- Grid 39 to 40: 1000
- Grid 40 to 41: 1000
- Grid 41 to 42: 1000
- Grid 42 to 43: 1000
- Grid 43 to 44: 1000
- Grid 44 to 45: 1000
- Grid 45 to 46: 1000
- Grid 46 to 47: 1000
- Grid 47 to 48: 1000
- Grid 48 to 49: 1000
- Grid 49 to 50: 1000
- Grid 50 to 51: 1000
- Grid 51 to 52: 1000
- Grid 52 to 53: 1000
- Grid 53 to 54: 1000
- Grid 54 to 55: 1000
- Grid 55 to 56: 1000
- Grid 56 to 57: 1000
- Grid 57 to 58: 1000
- Grid 58 to 59: 1000
- Grid 59 to 60: 1000
- Grid 60 to 61: 1000
- Grid 61 to 62: 1000
- Grid 62 to 63: 1000
- Grid 63 to 64: 1000
- Grid 64 to 65: 1000
- Grid 65 to 66: 1000
- Grid 66 to 67: 1000
- Grid 67 to 68: 1000
- Grid 68 to 69: 1000
- Grid 69 to 70: 1000
- Grid 70 to 71: 1000
- Grid 71 to 72: 1000
- Grid 72 to 73: 1000
- Grid 73 to 74: 1000
- Grid 74 to 75: 1000
- Grid 75 to 76: 1000
- Grid 76 to 77: 1000
- Grid 77 to 78: 1000
- Grid 78 to 79: 1000
- Grid 79 to 80: 1000
- Grid 80 to 81: 1000
- Grid 81 to 82: 1000
- Grid 82 to 83: 1000
- Grid 83 to 84: 1000
- Grid 84 to 85: 1000
- Grid 85 to 86: 1000
- Grid 86 to 87: 1000
- Grid 87 to 88: 1000
- Grid 88 to 89: 1000
- Grid 89 to 90: 1000
- Grid 90 to 91: 1000
- Grid 91 to 92: 1000
- Grid 92 to 93: 1000
- Grid 93 to 94: 1000
- Grid 94 to 95: 1000
- Grid 95 to 96: 1000
- Grid 96 to 97: 1000
- Grid 97 to 98: 1000
- Grid 98 to 99: 1000
- Grid 99 to 100: 1000

Room Dimensions (Vertical):

- Room 1 to 2: 1000
- Room 2 to 3: 1000
- Room 3 to 4: 1000
- Room 4 to 5: 1000
- Room 5 to 6: 1000
- Room 6 to 7: 1000
- Room 7 to 8: 1000
- Room 8 to 9: 1000
- Room 9 to 10: 1000
- Room 10 to 11: 1000
- Room 11 to 12: 1000
- Room 12 to 13: 1000
- Room 13 to 14: 1000
- Room 14 to 15: 1000
- Room 15 to 16: 1000
- Room 16 to 17: 1000
- Room 17 to 18: 1000
- Room 18 to 19: 1000
- Room 19 to 20: 1000
- Room 20 to 21: 1000
- Room 21 to 22: 1000
- Room 22 to 23: 1000
- Room 23 to 24: 1000
- Room 24 to 25: 1000
- Room 25 to 26: 1000
- Room 26 to 27: 1000
- Room 27 to 28: 1000
- Room 28 to 29: 1000
- Room 29 to 30: 1000
- Room 30 to 31: 1000
- Room 31 to 32: 1000
- Room 32 to 33: 1000
- Room 33 to 34: 1000
- Room 34 to 35: 1000
- Room 35 to 36: 1000
- Room 36 to 37: 1000
- Room 37 to 38: 1000
- Room 38 to 39: 1000
- Room 39 to 40: 1000
- Room 40 to 41: 1000
- Room 41 to 42: 1000
- Room 42 to 43: 1000
- Room 43 to 44: 1000
- Room 44 to 45: 1000
- Room 45 to 46: 1000
- Room 46 to 47: 1000
- Room 47 to 48: 1000
- Room 48 to 49: 1000
- Room 49 to 50: 1000
- Room 50 to 51: 1000
- Room 51 to 52: 1000
- Room 52 to 53: 1000
- Room 53 to 54: 1000
- Room 54 to 55: 1000
- Room 55 to 56: 1000
- Room 56 to 57: 1000
- Room 57 to 58: 1000
- Room 58 to 59: 1000
- Room 59 to 60: 1000
- Room 60 to 61: 1000
- Room 61 to 62: 1000
- Room 62 to 63: 1000
- Room 63 to 64: 1000
- Room 64 to 65: 1000
- Room 65 to 66: 1000
- Room 66 to 67: 1000
- Room 67 to 68: 1000
- Room 68 to 69: 1000
- Room 69 to 70: 1000
- Room 70 to 71: 1000
- Room 71 to 72: 1000
- Room 72 to 73: 1000
- Room 73 to 74: 1000
- Room 74 to 75: 1000
- Room 75 to 76: 1000
- Room 76 to 77: 1000
- Room 77 to 78: 1000
- Room 78 to 79: 1000
- Room 79 to 80: 1000
- Room 80 to 81: 1000
- Room 81 to 82: 1000
- Room 82 to 83: 1000
- Room 83 to 84: 1000
- Room 84 to 85: 1000
- Room 85 to 86: 1000
- Room 86 to 87: 1000
- Room 87 to 88: 1000
- Room 88 to 89: 1000
- Room 89 to 90: 1000
- Room 90 to 91: 1000
- Room 91 to 92: 1000
- Room 92 to 93: 1000
- Room 93 to 94: 1000
- Room 94 to 95: 1000
- Room 95 to 96: 1000
- Room 96 to 97: 1000
- Room 97 to 98: 1000
- Room 98 to 99: 1000
- Room 99 to 100: 1000

La etapa de sedimentación actual está conformada de cuatro sedimentadores, estos tienen dos partes una convencional y otra de alta tasa. La recolección de agua clarificada es por medio de canaletas lisas de rebose y la evacuación de lodos se realiza de manera manual por medio de unas válvulas ubicadas aproximadamente a 10 m de la entrada del decantador.

5.3.2. Curva de caudal de ampliación.

En la Figura 45 se presenta la curva de caudal de ampliación para el re-diseño de la planta A, sin contemplar el espacio para filtración. Los datos para el cálculo del caudal de ampliación se presentan en el anexo I, Tabla- XII.

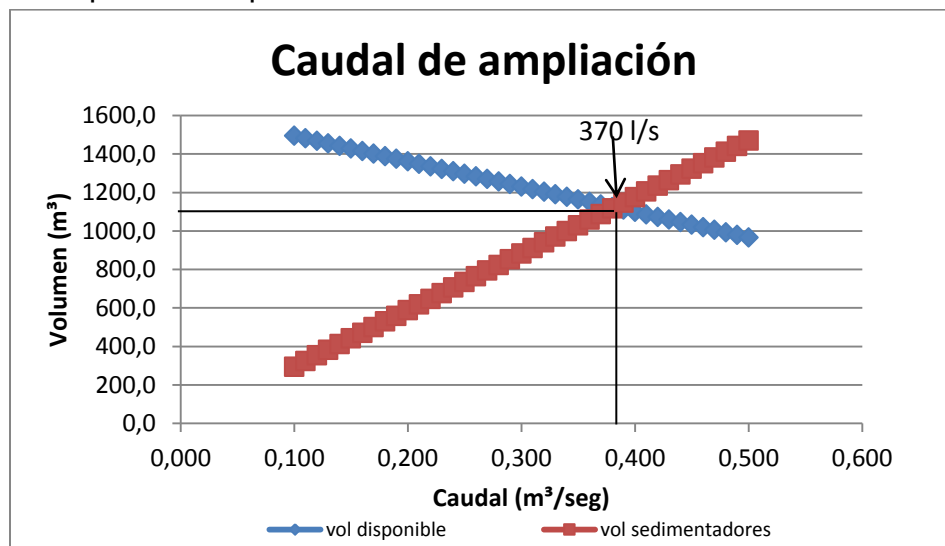


Figura 45. Caudal de ampliación sin contemplar espacio para filtros.

Como se muestra en la Figura 45, el caudal de la planta A se podría aumentar a 370 l/s más, pero la infraestructura no daría lugar para la adición de filtros.

La Figura 46 expone la curva de caudal de ampliación para el re-diseño de la planta A, contemplando un espacio para el proceso de filtración. Los datos para el cálculo del caudal de ampliación con filtros se presentan en el anexo I, Tabla- XIII.

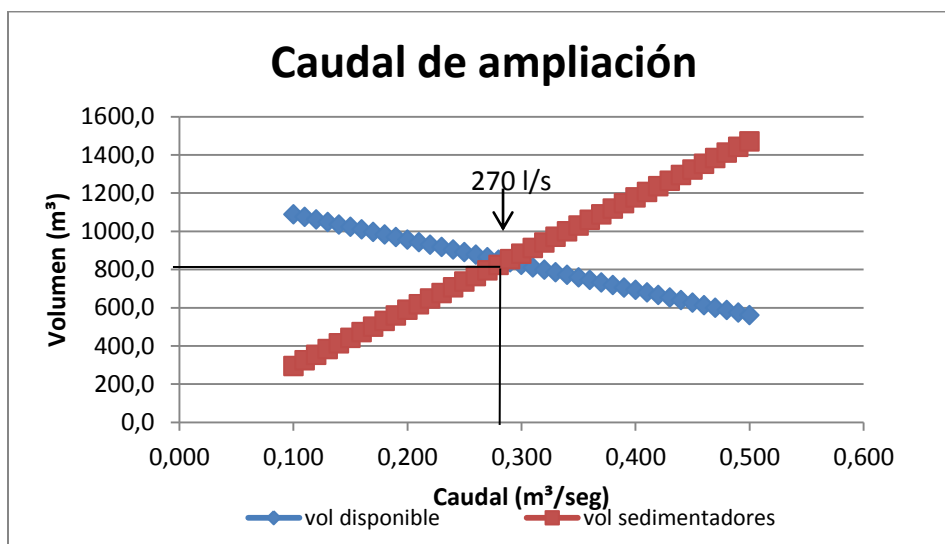


Figura 46. Caudal de ampliación contemplado espacio para filtros.

Considerando el espacio para filtros el caudal de la planta se puede aumentar en 270 lps como se muestra en la Figura 46, considerando un factor seguridad de 1.3 se determinó que el caudal de la planta se puede aumentar en 200 lps.

5.3.3. Planos de re-diseño.

El re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A, quedará de la siguiente manera.

Sección de placas existente

La sección de placas existente quedará de la misma manera como se muestra en la Figura 47, sin embargo, tendrá un cambio en lo referente a la evacuación de lodos que será por medio de tolvas continuas.

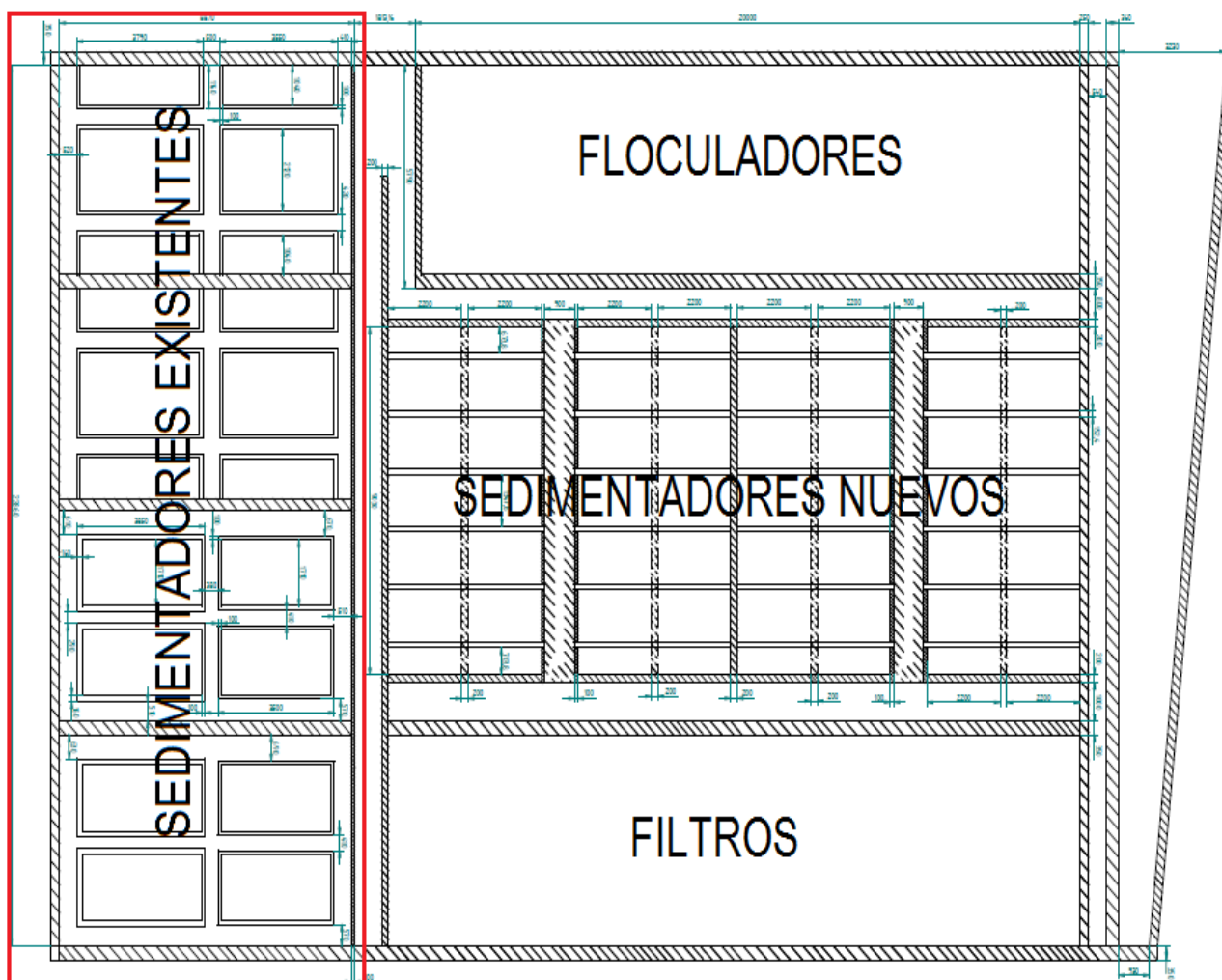


Figura 47. Sección de placas existente en la planta A plano completo.

La Figura 48 presenta la sección de placas existente con las siguientes dimensiones, 22,86 m de ancho, 8,53 m de largo y 3,36 m de profundidad útil, además, está conformada por 4 sedimentadores de placas con canaletas de rebose y maneja un caudal de 200 L/s.

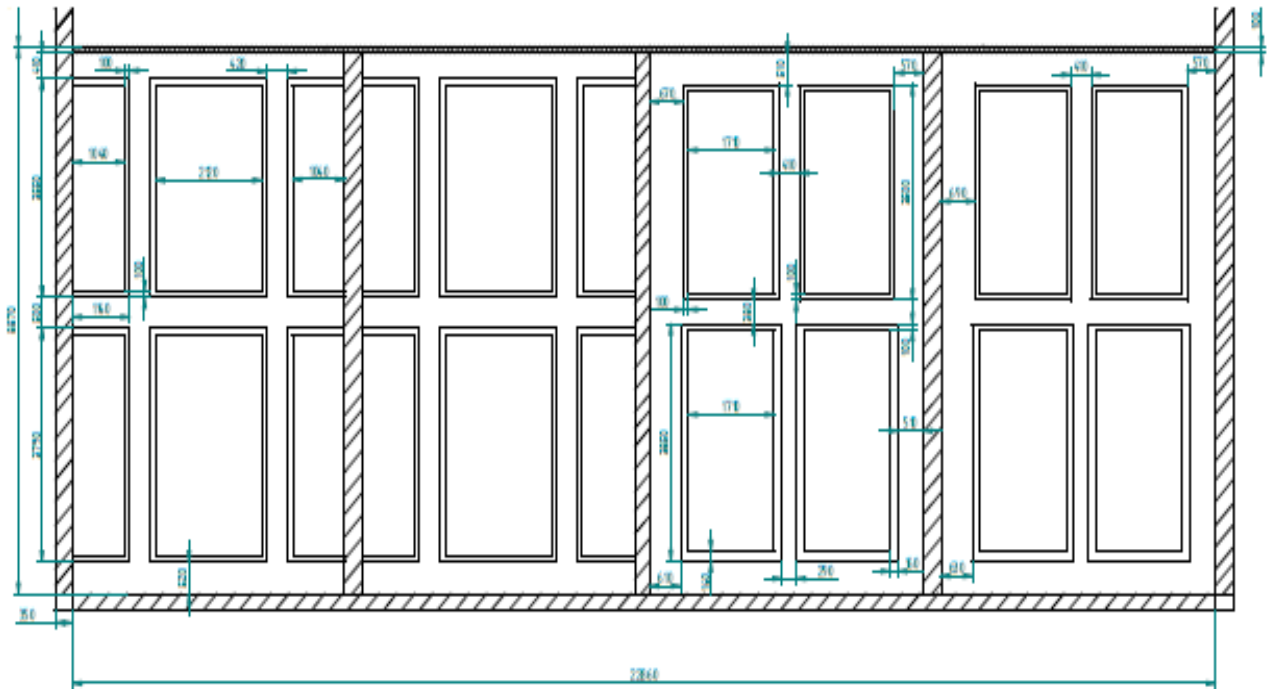


Figura 48. Sección de placas existente.

Para la zona de lodos se colocaron tolvas continuas con pendientes de 60° y una inclinación del 2% del fondo del sedimentador, con 10 orificios ubicados 2 a los extremos a 0,44 m de la pared y los otros 8 cada 0,85 m, con un diámetro de 4 pulgadas (ver Figura 49). Además, Un canal recolector de lodos de 0,5 m x 0,5 m x 8,53 m.

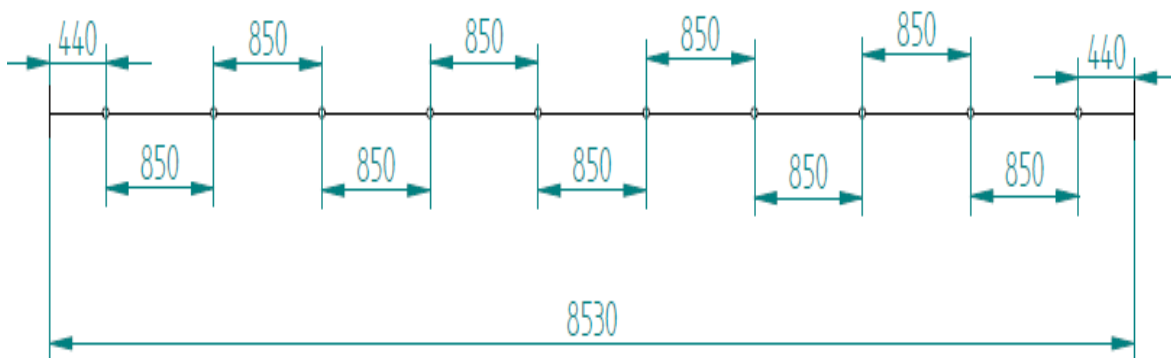


Figura 49. Distribución de los orificios de recolección de lodos.

Re-diseño sección convencional

La Figura 50 es el plano de re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A.

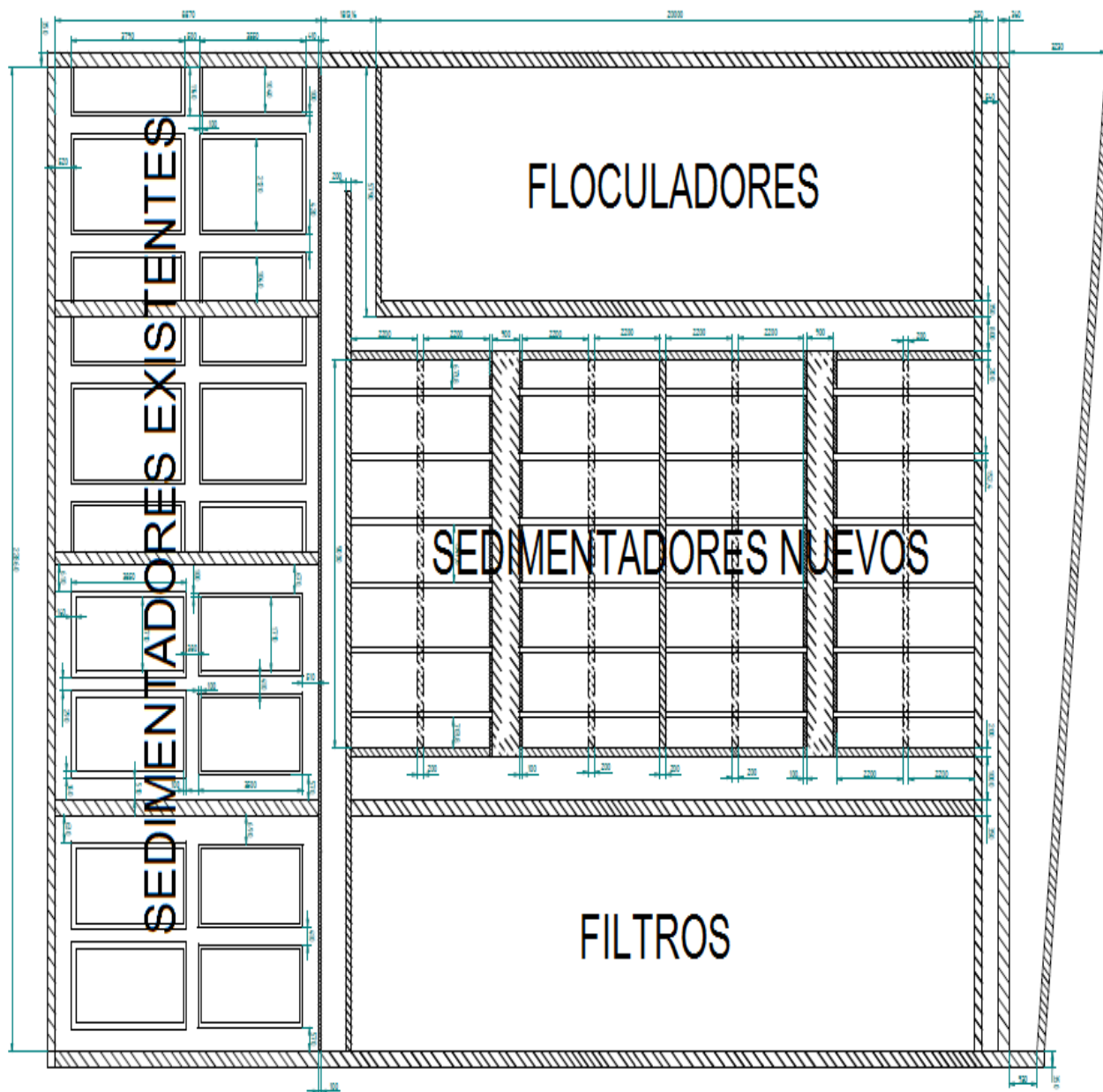


Figura 50. Re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A.

En la Figura 51 se observa el re-diseño del proceso de sedimentación, el cual posee un ancho de 11,23 m, largo de 20,81 m y una profundidad útil de 3,36 m, el número de placas por hilera de cada sedimentador son 150 y en total 1200 placas, separadas a 0,05 m. Las dimensiones de la placa son de 1,2 m x 2,2 m y 0,006 m de espesor y son fabricadas en plástico.

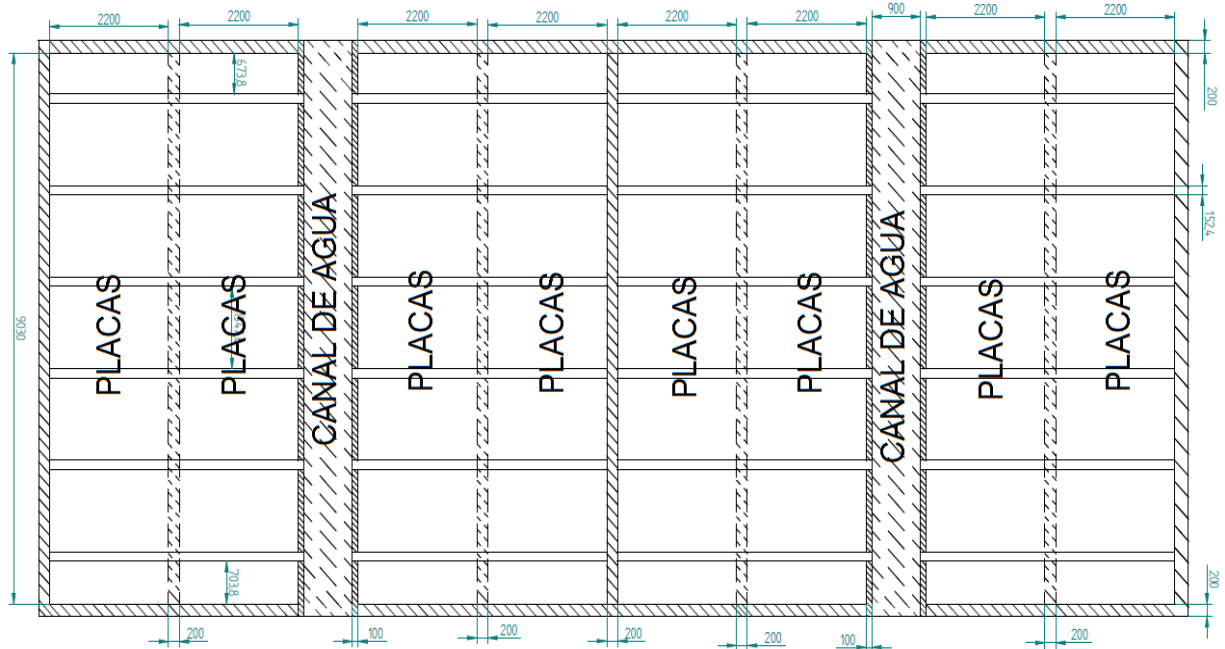


Figura 51. Plano en planta de los sedimentadores nuevos.

La Figura 52 muestra el corte de perfil de los sedimentadores nuevos, donde hay dos canales de recolección 1,10 m de ancho, el canal está dividido en tres: para recolección de agua clarificada, para el transporte de agua floculada y la recolección de lodos. También cuenta con 4 bordes de soporte de placas de 0,20 m de espesor y un borde divisor 0,20 m espesor.

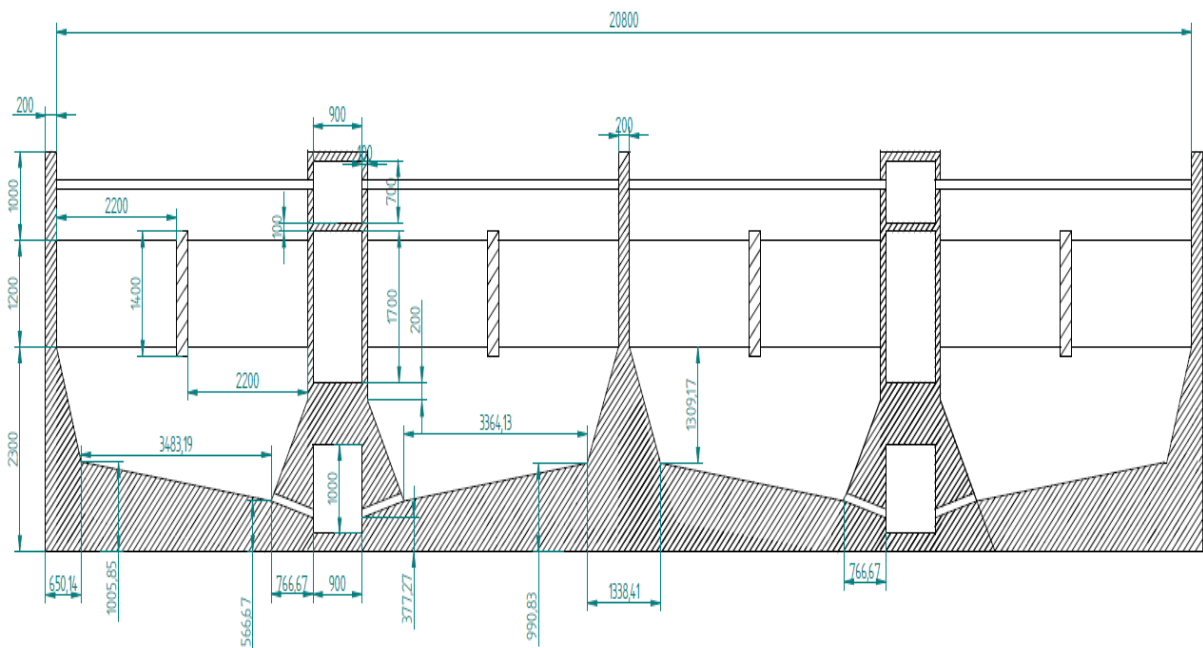


Figura 52. Plano de perfil de los sedimentadores nuevos.

En la Figura 53 se señala el canal de recolección más detallado, el canal está dividido de la siguiente manera, 1 para recolección de agua clarificada con una altura de 0,7 m y llega por medio de 6 tuberías perforadas en cada sedimentador de 6 pulgadas de diámetro y cada tubería transporta un caudal aproximado de 8,3 lps (ver anexo I, Tabla- XV), 2 para el agua floculada con una altura de 1,7 m y 3 recolección de lodos con altura de 1 m.

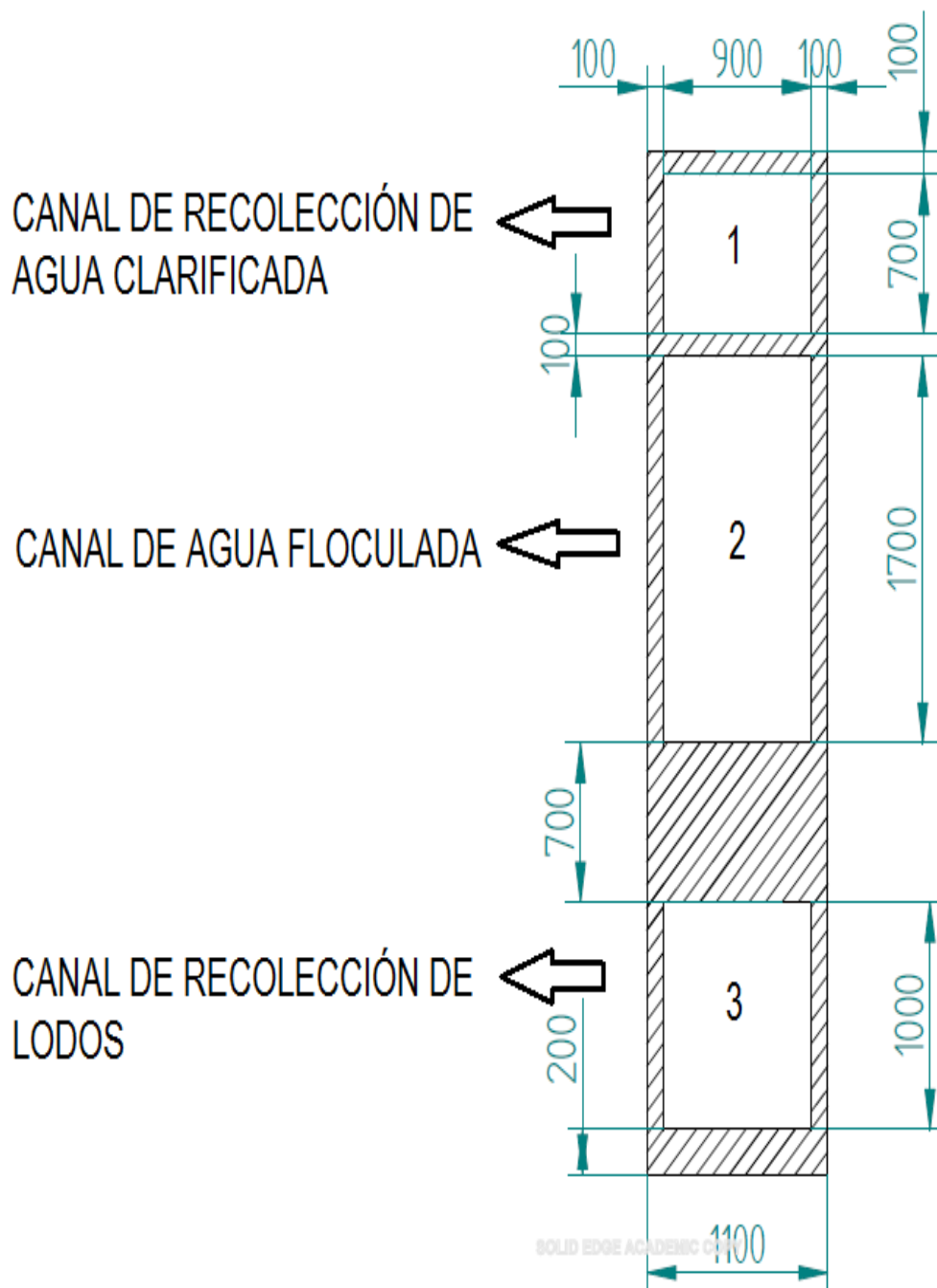


Figura 53. Canal de recolección.

Finalmente, se diseñan las tolvas continuas, el volumen de la tolva de lodos de cada sedimentador es de $72,6 \text{ m}^3$, con 10 orificios distribuidos dos en los extremos a 0,465 m de la pared y los 8 restantes a distancias de 0,9 m entre ellos, el diámetro de los orificios es de 4 pulgadas (ver Figura 54).

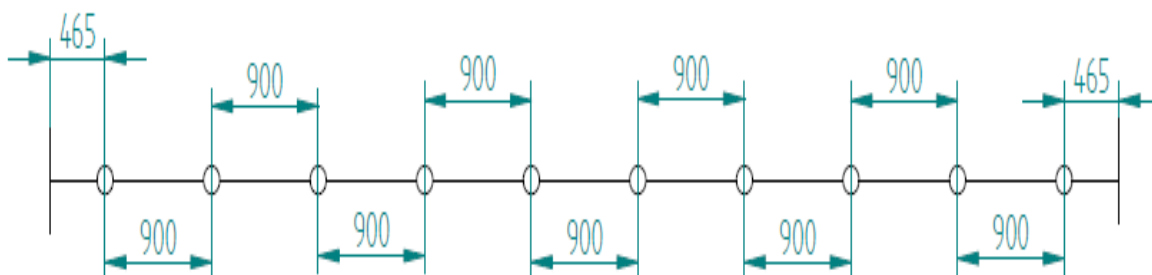


Figura 54. Sección de orificios de la tolva de lodos.

5.3.4. Chequeo de la velocidad de sedimentación

La Tabla 8 presenta el resultado de la velocidad de sedimentación para la etapa de sedimentación actual y para la etapa de sedimentación re-diseñada. Los datos se encuentran disponibles en el anexo I, para la planta actual Tabla- XIV y para la planta re-diseñada Tabla- XIV.

Tabla 8. Velocidad de sedimentación de etapa de sedimentación actual y re-diseñada

plantas	Vo (m/s)	NR	Vsc	Lu	d (m)	micras
re-diseño	1,20E-03	128,06	1,00E-04	22,34	9,23E-07	0,92319074
antigua alta tasa	1,02E-02	1301,3	1,51E-04	133,08	1,14E-06	1,13511488

Como se observa en la Tabla 8, la velocidad de sedimentación es mayor en la etapa de sedimentación actual que etapa de sedimentación re-diseñada, es decir, que el diseño de la etapa de sedimentación propuesto puede remover un tamaño de partícula menor al diámetro mínimo.

6. CONCLUSIONES

- A partir del estudio del tamaño de partícula y teniendo como referencia el tamaño de partícula mínimo en el afluente de ambas plantas, se encontró que son de mayor tamaño las partículas de floc formado en el laboratorio, en segundo lugar el floc de la planta B y en tercera instancia el floc formado en la planta A mostrando que se debe verificar el funcionamiento de la etapa de floculación.
- El sedimentador de la planta de la planta A, no remueve el tamaño de partícula para el cual fue diseñado ya que las partículas en el efluente son de un tamaño mayor que el diámetro de partícula teórico.
- Se pudo establecer por medio del análisis de comportamiento hidráulico que el sedimentador de la planta A presenta una tendencia de flujo completamente mezclado, lo cual no es adecuado porque se genera resuspensión del floc. El sedimentador de la planta B tiende a comportarse como un reactor de flujo pistón.
- Se encontró que los sedimentadores convencionales no estaban ofreciendo ningún beneficio por lo que se aprovechó este espacio para la adecuación de sedimentadores de alta tasa, espacios para adición de floculadores y filtros y un sistema de evacuación de lodos
- Por medio del análisis de los resultados de la medición del tamaño de partícula y del comportamiento hidráulico de sedimentadores, se determinaron los parámetros de re-diseño de la etapa de sedimentación de la planta A, los cálculos realizados permitieron demostrar que la capacidad de la planta se puede aumentar en 200 lps.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar las adecuaciones de flocladores y filtros en los espacios señalados en el plano de re-diseño de la etapa de sedimentación (ver Figura 50).
- Realizar un estudio de la etapa de floclación en ambas plantas con la finalidad de optimizarlos.
- Verificar que la potencia de los motores existentes en los flocladores de la planta A se puedan acoplar a la sección propuesta para floclación y que los flocladores dispuestos en la sección señalada en la Figura 50 sean del mismo tipo (reciprocantes).
- Mejorar la parte hidráulica de los sedimentadores de placas existentes, por medio de adecuaciones en las estructuras de entrada y salida, cambiando el sistema de recolección de agua clarificada que son las canaletas de rebose lisas por tuberías perforadas o vertederos dentados.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] ARBOLEDA VALENCIA. Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Capítulo 6, Tercera Edición, Bogotá D.C: McGraw-Hill, 2000. Tomo 1. 362 p.

[2] CÁNEPA DE VARGAS, Lidia. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, OPS, CEPIS Y OMS Lima, 2005. 34 p. [citado 2013-01-14]. Disponible en internet:
<<http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>>

[3].....Decantadores laminares, Capítulo 4. 2009. 46 p. [citado 2012-11-17] Disponible en internet:
<<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/111/5/CDAM0000014-5.pdf>>

[4] DESTÉFANO MOLERO, Javier Adolfo. Diseño preliminar de una planta de tratamiento de agua para consumo humano en los distritos de Andahuaylas, San Jerónimo y Talavera de la Reyna, provincia de Andahuaylas, Región Apurímac. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2008. 180 p. [citado en 2012-10-17]. Disponible en Internet:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/977/DESTEFANO_MOLERO_JAVIER_PLANTA_TRATAMIENTO_AGUA_APURIMAC.pdf?sequence=1>.

[5] GRUPO TAR. Tratamiento de potabilización del agua. Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. 2003. Pág. 12. [Citado 2012-11-13]. Disponible en internet:<[http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20\(Grupo%20TAR\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20(Grupo%20TAR).pdf)>.

[6] MALDONADO YACTAYO, Víctor. Sedimentación. Capítulo 7. 61 p. [Citado 2012-10-18]. Disponible en Internet:
<<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/9/CDAM0000012-8.pdf>>.

[7].....Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención, Capítulo 2. El capítulo constituye una revisión realizada por el Ing. Víctor Maldonado Yactayo del texto “Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención”, de J. M. Pérez Carrión, publicado en CEPIS/OPS, Manual de evaluación. Tomo II, Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, CEPIS/OPS, 1992. [Citado 2012-11-15]. Disponible en Internet:
<<http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/capitulo2.pdf>>.

[8] ORTIZ RIOS, Juan Carlos. Evaluación y diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca y actualización del manual de operaciones de la planta. Trabajo de grado Ingeniero sanitario y ambiental. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. Escuela de ingeniería sanitaria y ambiental. 2003.

- [9] PÉREZ, A. y TORRES, P. Evaluación del comportamiento hidrodinámico como herramienta para optimización de reactores anaerobios de crecimiento en medio fijo. Facultad de Ingeniería, Escuela EIDENAR .Área Académica de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Cali, Colombia.2008. 14 p (27-40). [Citado 2013-01-14]. Disponible en Internet: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro045/27_40.pdf>.
- [10] PÉREZ, José. Avances en sedimentación. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima. 2005. 27 p. [citado 2012-10-17]. Disponible en internet: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/007926/07926-12.pdf>>.
- [11].....Sedimentadores de placas. Empresa de Teléfono, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca. Capitulo I. Ecuador. Pág. 7. [Citado 2012-12-05]. Disponible en internet: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/02554-placas.pdf>>.
- [12] PÉREZ, Luis. Teoría de la sedimentación. Instituto de ingeniería sanitaria y ambiental. Área de hidráulica. Cátedra de hidráulica aplicada a la ingeniería sanitaria. 2005. 25 pág. [Citado 2012-11-12]. Disponible en internet: <<http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>>

9. ANEXO I

Tabla-I. Resultados del Mastersizer S. Distribución del tamaño de partícula de la planta A, B y laboratorio.

FECHA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	DISTRIBUCION TAMAÑO PARTICULA						
		5%	10%	20%	50%	70%	90%	100%
09-oct	A1	3,07	5,57	9,45	21,17	34,03	66,46	258,95
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	3,71	5,9	9,26	20,5	34,83	127,22	301,68
	B1	2,86	5,43	9,35	20,77	33,42	71,55	301,68
	B2	5,77	9,9	14,87	27,43	38,3	57,66	120,67
	L	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
12-oct	A1	8,87	14,33	22,09	45,50	73,91	175,53	409,45
	A2	19,05	27,82	40,29	80,16	126,79	215,27	409,45
	A3	4,44	7,22	10,87	20,98	30,73	52,09	301,68
	B1	22,0	32,32	45,82	81,94	115,0	176,58	301,68
	B2	16,49	25,18	36,55	66,95	93,79	143,93	258,95
	L	42,24	58,65	81,88	147,47	205,28	308,7	555,71
23-oct	A1	3,09	5,80	9,53	19,46	29,47	55,30	120,7
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	3,79	7,02	11,61	24,00	35,08	56,11	120,70
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	2,76	5,05	8,60	19,90	33,81	78,18	190,80
24-oct	A1	6,03	9,34	13,95	27,06	39,79	67,26	163,8
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	3,60	5,52	9,18	20,65	35,56	63,00	140,60
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	5,87	8,59	13,17	28,93	45,75	81,95	259,00
25-oct	A1	2,48	4,33	7,06	15,65	27,01	63,61	140,6
	A2	5,76	7,54	10,41	19,96	31,40	62,74	140,60
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	2,03	3,65	6,42	15,43	26,10	56,87	120,70
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	3,35	5,69	9,19	19,93	32,19	71,30	190,80
26-oct	A1	4,03	6,55	10,56	24,38	40,88	81,43	190,8
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	2,53	4,47	7,78	19,23	33,02	66,49	190,80
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	4,88	7,12	10,68	22,77	38,31	78,44	190,80
30-oct	A1	2,51	4,59	8,1	18,81	30,53	60,89	301,7
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48

	B1	3,19	6,06	10,55	22,69	33,73	54,92	140,6
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	9,87	15,95	23,53	42,52	57,92	85,99	163,8
31-oct	A1	2,03	3,7	6,45	14,23	22,00	41,55	301,7
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	1,48	2,54	4,39	10,09	16,00	30,07	103,6
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	8,6	14,41	22,15	41,86	58,21	88,41	190,8
02-nov	A1	3,14	5,37	8,88	20,38	34,45	74,49	409,5
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	5,31	9,07	16,03	39,09	59,78	101,5	351,5
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	13,89	20,86	30,19	54,34	75,18	117,8	351,5
07-nov	A1	3,09	5,13	8,57	21,5	39,25	85,57	222,3
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	11,51	17,83	25,83	45,98	62,45	94,06	222,3
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	17,05	24,79	35,1	62,28	86,22	132,5	301,7
08-nov	A1	4,04	6,63	11,78	45,71	82,3	138,2	259
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	9,93	13,41	19,09	36,84	55,38	125,2	878,7
	B2	4,5	7,18	11,35	25,18	42,32	92,29	301,7
	L	12,21	19,29	28,27	52	74,8	135,2	477
09-nov	A1	7,02	11,7	24,39	83,87	113,9	162,70	259
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	3,28	5,33	8,64	21,35	41,21	100,9	351,5
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	9,76	15,46	22,78	42,76	64,57	216,6	647,4
13-nov	A1	3,67	5,81	9,67	30,74	74,03	161,9	647,4
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	4,37	7,16	11,86	32,09	58,87	102,9	190,8
	B2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	L	19,31	27,87	39,27	70,87	103	287,3	878,7
14-nov	A1	4,48	7,01	11,32	28,22	49,39	99,26	409,5
	A2	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	A3	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
	B1	5,32	8,83	15,39	48,91	105,2	279,3	647,4
	B2	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
	L	9,4	14,6	21,14	36,18	47,35	66,3	103,6

Tabla-II. Datos iniciales de la planta A.

Planta A	
Convencional	
L (m)	23,00
a (m)	5,45
h (m)	3,59
Alta rata	
L (m)	9,00
a (m)	5,45
h (m)	3,59
θ rad	1,05
e (m)	0,06
e_p (m)	0,008
T (°C)	23
μ (m ² /s)	9,40e-07
ρ_{h_2O} (kg/m ³)	997,57
ρ (kg/m ³)	1200,00
g(m/s ²)	9,81
Ancho de la placa (m)	2,40
Profundidad de la placa (m)	1,20

Tabla-III. Datos iniciales de la planta B.

Planta B	
Alta rata	
L (m)	14,00
a (m)	2,35
h (m)	4,00
θ rad	1,05
e (m)	0,06
e_p (m)	0,008
T (°C)	23
μ (m ² /s)	9,40e-07
ρ_{h_2O} (kg/m ³)	997,57
ρ (kg/m ³)	1200,00
G (m/s ²)	9,81
Ancho de la placa (m)	2,40
Profundidad de la placa (m)	1,20

Tabla-IV. Hoja de cálculo del diámetro de partícula de la planta A.

Planta A												
Caudal	Caudal c/sedimentador	Convencional				Alta rata						
Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	As (m ²)	Vsc (m/s)	D (m)	Micras	As (m ²)	Vsc (m/s)	Vo (m/s)	Lu	NR	D (m)	Micras
0,26700	0,06675	125,35	0,0005325	2,13006E-06	2,130059348	49,05	0,00013976	0,00136	17,742	173,73	1,09125E-06	1,09125475
0,30400	0,07600	125,35	0,0006063	2,27286E-06	2,27286094	49,05	0,00016173	0,00155	17,429	197,80	1,17388E-06	1,17388489
0,31200	0,07800	125,35	0,0006223	2,30257E-06	2,302572801	49,05	0,00016658	0,00159	17,361	203,01	1,19134E-06	1,19133599
0,31000	0,07750	125,35	0,0006183	2,29518E-06	2,295180895	49,05	0,00016536	0,00158	17,378	201,70	1,18699E-06	1,18698572
0,28300	0,07075	125,35	0,0005644	2,19295E-06	2,192952834	49,05	0,00014918	0,00144	17,606	184,14	1,12740E-06	1,12740026
0,30800	0,07700	125,35	0,0006143	2,28777E-06	2,287765105	49,05	0,00016415	0,00157	17,395	200,40	1,18263E-06	1,18262719

0,2920 0	0,07300	125, 35	0,0005 824	2,2275 5E-06	2,22755 0195	49, 05	0,00015 453	0,00 149	17,5 30	189, 99	1,14745 E-06	1,14744 757
0,2920 0	0,07300	125, 35	0,0005 824	2,2275 5E-06	2,22755 0195	49, 05	0,00015 453	0,00 149	17,5 30	189, 99	1,14745 E-06	1,14744 757
0,2900 0	0,07250	125, 35	0,0005 784	2,2199 1E-06	2,21990 849	49, 05	0,00015 334	0,00 148	17,5 47	188, 69	1,14301 E-06	1,14300 938
0,2830 0	0,07075	125, 35	0,0005 644	2,1929 5E-06	2,19295 2834	49, 05	0,00014 918	0,00 144	17,6 06	184, 14	1,12740 E-06	1,12740 026
0,2890 0	0,07225	125, 35	0,0005 764	2,2160 8E-06	2,21607 7757	49, 05	0,00015 274	0,00 147	17,5 55	188, 04	1,14079 E-06	1,14078 674
0,2830 0	0,07075	125, 35	0,0005 644	2,1929 5E-06	2,19295 2834	49, 05	0,00014 918	0,00 144	17,6 06	184, 14	1,12740 E-06	1,12740 026
0,2800 0	0,07000	125, 35	0,0005 584	2,1813 E-06	2,18129 8441	49, 05	0,00014 74	0,00 143	17,6 32	182, 18	1,12067 E-06	1,12067 368
0,3010 0	0,07525	125, 35	0,0006 003	2,2616 2E-06	2,26161 836	49, 05	0,00015 992	0,00 153	17,4 54	195, 85	1,16731 E-06	1,16730 561

Tabla-V. Hoja de cálculo del diámetro de partícula de la planta B.

Planta B								
Caudal	Caudal c/sedimentador	Alta rata						
Q (m3/s)	Q (m3/s)	As (m²)	Vsc (m/s)	Vo (m/s)	Lu	NR	D (m)	Micras
0,30100	0,07525	32,90	0,0002550	0,00229	16,204	291,99	1,4741E-06	1,47412
0,30100	0,07525	32,90	0,0002550	0,00229	16,204	291,99	1,4741E-06	1,47412
0,31100	0,07775	32,90	0,0002654	0,00236	16,078	301,69	1,5037E-06	1,50370
0,31900	0,07975	32,90	0,0002738	0,00242	15,977	309,45	1,5273E-06	1,52725
0,28400	0,07100	32,90	0,0002378	0,00216	16,419	275,50	1,4234E-06	1,42341
0,28900	0,07225	32,90	0,0002428	0,00220	16,355	280,35	1,4384E-06	1,43838
0,30300	0,07575	32,90	0,0002571	0,00230	16,179	293,93	1,4801E-06	1,48005
0,29600	0,07400	32,90	0,0002499	0,00225	16,267	287,14	1,4593E-06	1,45926
0,29000	0,07250	32,90	0,0002438	0,00220	16,343	281,32	1,4414E-06	1,44137
0,30500	0,07625	32,90	0,0002592	0,00232	16,154	295,87	1,486E-06	1,48597
0,28400	0,07100	32,90	0,0002378	0,00216	16,419	275,50	1,4234E-06	1,42341
0,30200	0,07550	32,90	0,0002561	0,00229	16,192	292,96	1,4771E-06	1,47709
0,30800	0,07700	32,90	0,0002623	0,00234	16,116	298,78	1,4948E-06	1,49485
0,30200	0,07550	32,90	0,0002561	0,00229	16,192	292,96	1,4771E-06	1,47709

Tabla- VI. Cálculo de la cantidad de trazador a aplicar de la planta A y B.

	m³ de agua	conductivida d $\mu\text{S/cm}$	sal (gr)	Concentració n (Kg/m3)	Y	kg/m3	Kilos de sal
Plant a A	0,01	2232	10,0	1,0	220	0,08198 1	49
	0,01	1058	5,0	0,5			
	conductivida d del agua	75	0,0	0,0			
	volumen del sedimentador (m³)			600			

	m³ de agua	conductivida d $\mu\text{S/cm}$	sal (gr)	Concentració n (Kg/m3)	Y	kg/m3	Kilos de sal
Plant a B	0,01	2232	10,0	1,0	220	0,08198 1	12
	0,01	1058	5,0	0,5			
	conductivida d del agua	75	0,0	0,0			
	volumen del sedimentador (m³)			144			

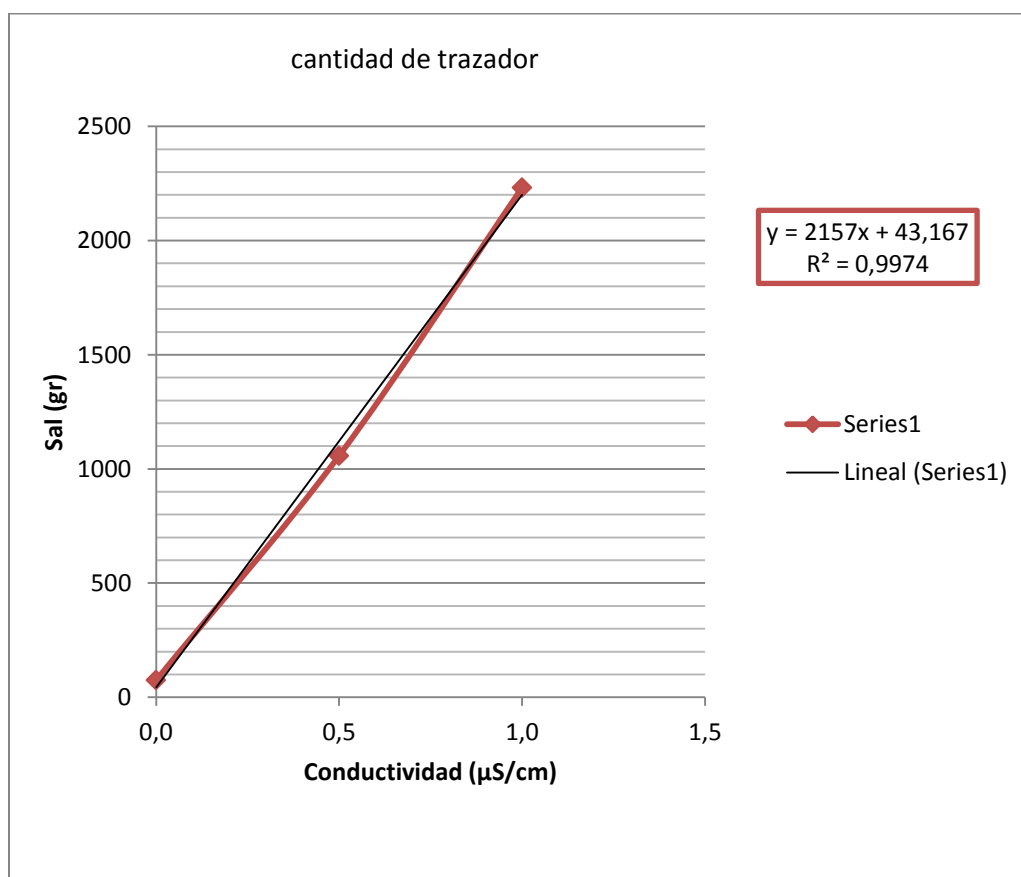


Figura-I. Curva de cantidad de trazador.

Tabla- VII. Datos de la prueba de trazadores de la planta A.

# DE MUESTRAS	TIEMPO	CONDUCTIVIDAD	
		INICIAL	FINAL
1	0	88,1	86,2
2	2	87,4	86,5
3	4	79,1	92,3
4	6	81,3	102,3
5	8	79,0	90,6
6	10	79,3	91,5
7	12	81,2	92,6
8	14	81,0	94,2
9	16	79,3	83,8
10	18	76,3	93,9
11	20	82,3	108,3
12	22	84,9	108,3
13	24	84,3	97,9
14	26	87,9	103,0
15	28	87,9	101,1
16	30	88,2	104,8
17	32	88,3	104,9
18	34	86,7	113,0
19	36	86,4	172,3
20	38	86,7	157,2
21	40	85,9	206,0
22	42	84,7	216,3
23	44	85,1	228,1
24	46	85,0	237,4
25	48	85,1	215,6
26	50	84,2	226,7
27	52	87,4	207,8
28	54	89,5	213,2
29	56	90,9	238,0
30	58	93,6	250,6
31	60	97,6	242,4
32	62	100,1	245,3
33	64	102,2	242,8
34	66	100,6	235,0
35	68	99,1	229,2

36	70	98,4	225,6
37	72	94,0	221,8
38	74	96,2	214,9
39	76	94,4	215,1
40	78	93,3	217,4
41	80	91,5	209,4
42	82	99,8	207,2
43	84	92,6	204,0
44	86	92,5	208,9
45	88	99,9	192,7
46	90	106,6	198,3
47	92	107,3	197,4
48	94	110,8	182,0
49	96	112,5	183,2
50	98	109,9	178,7
51	100	109,5	200,5
52	102	111,0	184,6
53	104	112,4	191,3
54	106	112,0	176,8
55	108	114,0	173,7
56	110	104,9	166,6
57	112	109,6	165,3
58	114	111,3	168,4
59	116	106,9	165,9
60	118	105,5	148,2
61	120	105,6	161,6
62	122	105,3	160,6
63	124	105,8	155,5
64	126	116,4	154,9
65	128	109,6	152,6
66	130	105,3	151,6
67	132	103,9	148,2
68	134	101,7	148,1
69	136	104,6	154,4
70	138	108,6	152,2
71	140	103,3	145,6
72	142	104,8	143,4
73	144	103,0	147,4
74	146	109,8	143,6
75	148	104,7	142,5
76	150	107,0	140,6

77	152	107,9	148,0
78	154	111,4	143,4
79	156	108,3	137,8
80	158	108,7	138,2
81	160	104,9	136,8
82	162	105,3	140,5
83	164	101,6	136,8
84	166	101,4	135,8
85	168	100,5	138,2
86	170	98,3	137,1
87	172	98,9	133,0
88	174	100,7	130,3
89	176	103,6	135,1
90	178	101,8	132,7
91	180	100,9	136,6
92	182	103,1	128,7
93	184	101,2	130,6
94	186	100,1	130,2
95	188	99,0	131,2
96	190	98,5	129,2
97	192	99,0	127,8
98	194	100,3	131,1
99	196	99,9	139,6
100	198	113,3	122,3
101	200	99,7	124,8
102	202	92,6	125,1
103	204	94,4	119,5
104	206	94,5	120,0
105	208	94,8	119,9
106	210	99,9	117,3
107	212	95,8	119,5
108	214	93,9	115,1
109	216	93,8	114,0
110	218	93,1	113,5
111	220	99,3	113,8
112	222	93,7	112,9
113	224	95,2	119,0
114	226	95,1	111,6
115	228	93,5	110,3
116	230	91,2	111,4
117	232	91,8	110,3

118	234	96,7	108,9
119	236	90,9	111,0
120	238	93,0	110,2
121	240	96,2	107,8
122	242	92,3	108,8
123	244	91,8	107,2
124	246	89,9	106,0
125	248	88,2	106,1
126	250	90,3	105,3
127	252	89,4	103,8
128	254	95,5	103,4
129	256	88,4	103,0
130	258	88,2	102,7
131	260	93,4	103,0
132	262	94,2	102,9
133	264	90,8	102,4
134	266	90,9	102,9
135	268	91,0	102,9
136	270	95,3	102,6
137	272	94,6	101,4
138	274	92,7	103,3
139	276	90,9	102,8
140	278	92,7	102,7
141	280	91,5	102,9
142	282	89,2	101,9
143	284	90,8	101,1
144	286	89,6	101,7
145	288	85,2	100,1
146	290	87,6	100,7
147	292	86,4	99,3
148	294	88,6	99,5
149	296	86,4	98,8
150	298	88,6	100,7
151	300	89,2	100,0
152	302	88,4	100,4
153	304	84,0	100,6
154	306	85,6	100,1
155	308	84,2	100,4
156	310	84,1	99,3
157	312	84,7	99,7
158	314	89,9	101,5

159	316	88,2	99,5
160	318	88,2	98,6
161	320	87,0	98,5
162	322	87,8	99,4
163	324	87,7	97,8
164	326	85,5	97,8
165	328	86,4	97,7
166	330	86,2	96,8
167	332	86,7	97,6
168	334	86,9	95,6
169	336	86,3	97,2
170	338	86,5	97,2
171	340	84,3	95,8
172	342	84,9	97,1
173	344	83,7	96,4
174	346	84,5	94,7
175	348	84,3	95,4
176	350	85,7	95,1
177	352	85,7	94,8
178	354	85,1	94,3
179	356	84,7	92,6
180	358	86,0	93,5
181	360	85,5	95,0
182	362	86,2	92,9
183	364	86,8	99,6
184	366	86,1	92,6
185	368	86,4	93,6
186	370	86,3	93,5
187	372	85,7	93,6
188	374	86,0	92,6
189	376	85,8	93,1
190	378	86,2	92,9
191	380	85,2	91,8
192	382	85,4	90,4
193	384	87,5	91,1
194	386	85,3	89,3
195	388	85,6	89,9
196	390	86,4	90,6
197	392	86,0	89,5
198	394	85,9	89,7
199	396	86,1	89,7

200	398	85,9	89,1
201	400	85,6	89,1
202	402	86,9	89,9
203	404	87,3	87,9
204	406	86,9	88,7
205	408	86,6	88,5
206	410	85,3	88,0
207	412	85,5	88,2
208	414	85,3	87,8
209	416	86,2	89,2
210	418	85,0	87,7
211	420	85,3	87,9
212	422	85,6	87,8
213	424	83,9	86,8
214	426	84,4	87,6
215	428	84,2	86,8
216	430	84,1	87,2
217	432	83,9	86,8
218	434	83,8	86,5
219	436	83,7	86,8
220	438	83,2	89,1
221	440	83,9	87,1
222	442	82,1	86,8
223	444	83,5	87,4
224	446	82,1	87,1
225	448	83,0	87,7
226	450	81,7	86,2
227	452	82,1	87,5
228	454	82,2	86,6
229	456	82,2	88,6
230	458	81,3	87,0
231	460	81,9	88,2
232	462	81,9	88,2
233	464	82,0	86,9
234	466	81,8	87,7
235	468	80,9	87,1
236	470	83,8	85,3
237	472	80,5	87,6
238	474	81,3	87,0
239	476	80,4	84,9
240	478	81,9	85,5

241	480	81,9	85,9
242	482	83,2	87,4
243	484	83,2	86,8
244	486	82,3	86,9
245	488	82,8	83,5
246	490	83,3	84,9
247	492	82,6	86,1
248	494	81,6	84,6
249	496	80,8	84,0
250	498	81,9	85,6
251	500	81,2	85,6
252	502	82,3	85,1
253	504	81,7	88,1
254	506	81,2	85,1
255	508	81,5	84,9
256	510	81,1	85,4
257	512	81,1	86,9
258	514	81,3	86,7

259	516	81,6	88,1
260	518	82,0	90,1
261	520	79,9	90,2
262	522	80,5	90,0
263	524	80,8	89,5
264	526	80,8	89,0
265	528	80,4	89,8
266	530	80,1	89,2
267	532	80,5	88,7
268	534	80,3	88,4
269	536	80,3	88,8
270	538	80,2	88,7
271	540	80,3	88,9
272	542	80,0	88,7
273	544	80,2	88,2
274	546	80,3	88,2
275	548	80,1	87,8
276	550	80,7	87,9

Tabla- VIII. Datos de la prueba de trazadores planta B.

# DE MUESTRAS	TIEMPO	CONDUCTIVIDAD		
		INICIAL	MEDIA	FINAL
1	0	80,8	81,0	75,4
2	2	75,2	75,5	73,3
3	4	75,1	80,3	73,0
4	6	83,4	79,6	73,1
5	8	86,1	80,7	74,5
6	10	76,4	75,8	72,8
7	12	83,3	78,2	73,0
8	14	104,1	76,0	72,6
9	16	128,9	77,1	73,3
10	18	124,6	76,9	73,0
11	20	125,2	76,1	73,1
12	22	121,5	83,1	73,2
13	24	120,9	95,9	95,7
14	26	118,7	114,1	153,7
15	28	117,2	126,1	158,9
16	30	117,7	135,1	158,7
17	32	116,0	138,5	163,6

18	34	108,2	141,0	172,3
19	36	107,7	142,5	173,6
20	38	107,0	142,9	185,2
21	40	108,1	146,2	186,3
22	42	98,3	146,3	194,3
23	44	94,5	144,8	191,6
24	46	96,7	138,9	191,3
25	48	96,0	137,3	195,8
26	50	90,8	134,8	195,0
27	52	86,2	126,2	194,8
28	54	90,6	131,0	193,3
29	56	86,1	132,1	176,6
30	58	88,2	144,2	177,9
31	60	86,4	145,3	174,8
32	62	87,9	146,2	165,9
33	64	89,9	144,1	164,6
34	66	90,1	144,1	170,1
35	68	92,6	141,4	160,6
36	70	90,9	137,4	149,4
37	72	91,3	133,6	145,4
38	74	88,8	132,0	139,8
39	76	94,0	131,9	136,9

40	78	88,6	127,0	129,3	48	94	82,7	102,7	108,2
41	80	88,4	124,2	132,9	49	96	82,6	99,9	106,3
42	82	85,8	119,7	126,1	50	98	81,2	99,0	102,9
43	84	85,4	116,3	122,4	51	100	78,6	94,8	101,0
44	86	84,3	113,7	120,8	52	102	80,6	92,4	98,8
45	88	84,0	109,1	118,3	53	104	79,0	92,3	96,1
46	90	81,9	105,7	113,7	54	106	79,8	89,9	94,6
47	92	82,7	104,1	111,7					

Tabla 9. Cálculo del tiempo de retención de los sedimentadores.

CONDICIONES DEL SEDIMENTADOR PLANTA A		CONDICIONES DEL SEDIMENTADOR PLANTA B	
Volumen (m ³)	600	Volumen (m ³)	170
Caudal (l/s)	300	Caudal (l/s)	232
Caudal (m ³ /min)	4,5	Caudal (m ³ /min)	3,48
Tiempo de retención (min)	133,3	Tiempo de retención (min)	48,9

Tabla- IX. Hoja de cálculo para los modelos de RCM, Wolf-Resnick y análisis de la curva de tendencia planta A.

TIEMPO (min)	Condu $\mu\text{S}/\text{cm}$	c(t) $\mu\text{S}/\text{cm}$	Área c(t)	Área acumulada	E(t)	t.E(t)	Área t.E(t)	F(t)	W(T)	MODELO E(t) para RCMS (N)					t/to	1- F(t)
										1	2	3	4	5		
0	86,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	1,00
2	86,5	3,0	5,7	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	1,00
4	92,3	8,8	11,8	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	1,00
6	102,3	18,8	27,6	45,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	1,00
8	90,6	7,1	25,9	71,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06	1,00
10	91,5	8,0	15,1	86,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	1,00
12	92,6	9,1	17,1	103,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,99
14	94,2	10,7	19,8	123,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,99
16	83,8	0,3	11,0	134,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12	0,99
18	93,9	10,4	10,7	144,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,14	0,99
20	108,3	24,8	35,2	179,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,15	0,99
22	108,3	24,8	49,6	229,5	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,17	0,99
24	97,9	14,4	39,2	268,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,18	0,99
26	103,0	19,5	33,9	302,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,20	0,98
28	101,1	17,6	37,1	339,7	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,21	0,98
30	104,8	21,3	38,9	378,6	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23	0,98
32	104,9	21,4	42,7	421,3	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,24	0,98
34	113,0	29,5	50,9	472,2	0,0	0,1	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,26	0,98
36	172,3	88,8	118,3	590,5	0,0	0,2	0,2	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27	0,97
38	157,2	73,7	162,5	753,0	0,0	0,1	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,29	0,96
40	206,0	122,5	196,2	949,2	0,0	0,3	0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,95
42	216,3	132,8	255,3	1204,5	0,0	0,3	0,5	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,32	0,94
44	228,1	144,6	277,4	1481,9	0,0	0,3	0,6	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	0,92
46	237,4	153,9	298,5	1780,4	0,0	0,4	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,91
48	215,6	132,1	286,0	2066,4	0,0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,36	0,89
50	226,7	143,2	275,3	2341,7	0,0	0,4	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,38	0,88
52	207,8	124,3	267,5	2609,2	0,0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,39	0,87
54	213,2	129,7	254,0	2863,2	0,0	0,4	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,41	0,85
56	238,0	154,5	284,2	3147,4	0,0	0,4	0,8	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,42	0,84
58	250,6	167,1	321,6	3469,0	0,0	0,5	0,9	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,44	0,82
60	242,4	158,9	326,0	3795,0	0,0	0,5	1,0	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45	0,80
62	245,3	161,8	320,7	4115,7	0,0	0,5	1,0	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,47	0,79
64	242,8	159,3	321,1	4436,8	0,0	0,5	1,0	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,48	0,77
66	235,0	151,5	310,8	4747,6	0,0	0,5	1,0	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,76
68	229,2	145,7	297,2	5044,8	0,0	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,51	0,74
70	225,6	142,1	287,8	5332,6	0,0	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,53	0,73
72	221,8	138,3	280,4	5613,0	0,0	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,54	0,71
74	214,9	131,4	269,7	5882,7	0,0	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,56	0,70
76	215,1	131,6	263,0	6145,7	0,0	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,68
78	217,4	133,9	265,5	6411,2	0,0	0,5	1,1	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,59	0,67

80	209,4	125,9	259,8	6671,0	0,0	0,5	1,1	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,60	0,66
82	207,2	123,7	249,6	6920,6	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,62	0,64
84	204,0	120,5	244,2	7164,8	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,63	0,63
86	208,9	125,4	245,9	7410,7	0,0	0,6	1,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,65	0,62
88	192,7	109,2	234,6	7645,3	0,0	0,5	1,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,66	0,61
90	198,3	114,8	224,0	7869,3	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,68	0,59
92	197,4	113,9	228,7	8098,0	0,0	0,5	1,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,69	0,58
94	182,0	98,5	212,4	8310,4	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,71	0,57
96	183,2	99,7	198,2	8508,6	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,72	0,56
98	178,7	95,2	194,9	8703,5	0,0	0,5	1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,74	0,55
100	200,5	117,0	212,2	8915,7	0,0	0,6	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,75	0,54
102	184,6	101,1	218,1	9133,8	0,0	0,5	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,77	0,53
104	191,3	107,8	208,9	9342,7	0,0	0,6	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,78	0,52
106	176,8	93,3	201,1	9543,8	0,0	0,5	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,80	0,51
108	173,7	90,2	183,5	9727,3	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,81	0,50
110	166,6	83,1	173,3	9900,6	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,83	0,49
112	165,3	81,8	164,9	10065,5	0,0	0,5	0,9	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,84	0,48
114	168,4	84,9	166,7	10232,2	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,86	0,47
116	165,9	82,4	167,3	10399,5	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,87	0,46
118	148,2	64,7	147,1	10546,6	0,0	0,4	0,9	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,89	0,46
120	161,6	78,1	142,8	10689,4	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,90	0,45
122	160,6	77,1	155,2	10844,6	0,0	0,5	1,0	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,92	0,44
124	155,5	72,0	149,1	10993,7	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,93	0,43
126	154,9	71,4	143,4	11137,1	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,95	0,43
128	152,6	69,1	140,5	11277,6	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,96	0,42
130	151,6	68,1	137,2	11414,8	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,98	0,41
132	148,2	64,7	132,8	11547,6	0,0	0,4	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,99	0,41
134	148,1	64,6	129,3	11676,9	0,0	0,4	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,01	0,40
136	154,4	70,9	135,5	11812,4	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,02	0,39
138	152,2	68,7	139,6	11952,0	0,0	0,5	1,0	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,04	0,38
140	145,6	62,1	130,8	12082,8	0,0	0,4	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,05	0,38
142	143,4	59,9	122,0	12204,8	0,0	0,4	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,07	0,37
144	147,4	63,9	123,8	12328,6	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,08	0,36
146	143,6	60,1	124,0	12452,6	0,0	0,5	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,10	0,36
148	142,5	59,0	119,1	12571,7	0,0	0,4	0,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,11	0,35
150	140,6	57,1	116,1	12687,8	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,13	0,35
152	148,0	64,5	121,6	12809,4	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,14	0,34
154	143,4	59,9	124,4	12933,8	0,0	0,5	1,0	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,16	0,33
156	137,8	54,3	114,2	13048,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,17	0,33
158	138,2	54,7	109,0	13157,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,19	0,32
160	136,8	53,3	108,0	13265,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,20	0,32
162	140,5	57,0	110,3	13375,3	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,22	0,31
164	136,8	53,3	110,3	13485,6	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,23	0,31
166	135,8	52,3	105,6	13591,2	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,25	0,30
168	138,2	54,7	107,0	13698,2	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,26	0,29
170	137,1	53,6	108,3	13806,5	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,28	0,29

172	133,0	49,5	103,1	13909,6	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,29	0,28
174	130,3	46,8	96,3	14005,9	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,31	0,28
176	135,1	51,6	98,4	14104,3	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,32	0,27
178	132,7	49,2	100,8	14205,1	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,34	0,27
180	136,6	53,1	102,3	14307,4	0,0	0,5	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,35	0,26
182	128,7	45,2	98,3	14405,7	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,37	0,26
184	130,6	47,1	92,3	14498,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,38	0,25
186	130,2	46,7	93,8	14591,8	0,0	0,4	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,40	0,25
188	131,2	47,7	94,4	14686,2	0,0	0,5	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,41	0,24
190	129,2	45,7	93,4	14779,6	0,0	0,4	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,43	0,24
192	127,8	44,3	90,0	14869,6	0,0	0,4	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,44	0,23
194	131,1	47,6	91,9	14961,5	0,0	0,5	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,46	0,23
196	139,6	56,1	103,7	15065,2	0,0	0,6	1,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,47	0,22
198	122,3	38,8	94,9	15160,1	0,0	0,4	1,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,49	0,22
200	124,8	41,3	80,1	15240,2	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,50	0,21
202	125,1	41,6	82,9	15323,1	0,0	0,4	0,9	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,52	0,21
204	119,5	36,0	77,6	15400,7	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,53	0,21
206	120,0	36,5	72,5	15473,2	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,55	0,20
208	119,9	36,4	72,9	15546,1	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,56	0,20
210	117,3	33,8	70,2	15616,3	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,58	0,20
212	119,5	36,0	69,8	15686,1	0,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,59	0,19
214	115,1	31,6	67,6	15753,7	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,61	0,19
216	114,0	30,5	62,1	15815,8	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,62	0,19
218	113,5	30,0	60,5	15876,3	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,64	0,18
220	113,8	30,3	60,3	15936,6	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,65	0,18
222	112,9	29,4	59,7	15996,3	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,18
224	119,0	35,5	64,9	16061,2	0,0	0,4	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,68	0,17
226	111,6	28,1	63,6	16124,8	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,70	0,17
228	110,3	26,8	54,9	16179,7	0,0	0,3	0,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,71	0,17
230	111,4	27,9	54,7	16234,4	0,0	0,3	0,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,73	0,16
232	110,3	26,8	54,7	16289,1	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,74	0,16
234	108,9	25,4	52,2	16341,3	0,0	0,3	0,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,76	0,16
236	111,0	27,5	52,9	16394,2	0,0	0,3	0,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,77	0,16
238	110,2	26,7	54,2	16448,4	0,0	0,3	0,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,79	0,15
240	107,8	24,3	51,0	16499,4	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,80	0,15
242	108,8	25,3	49,6	16549,0	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,82	0,15
244	107,2	23,7	49,0	16598,0	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,83	0,14
246	106,0	22,5	46,2	16644,2	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,85	0,14
248	106,1	22,6	45,1	16689,3	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,86	0,14
250	105,3	21,8	44,4	16733,7	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,88	0,14
252	103,8	20,3	42,1	16775,8	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,89	0,14
254	103,4	19,9	40,2	16816,0	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,91	0,13
256	103,0	19,5	39,4	16855,4	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,92	0,13
258	102,7	19,2	38,7	16894,1	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,94	0,13
260	103,0	19,5	38,7	16932,8	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,95	0,13
262	102,9	19,4	38,9	16971,7	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,97	0,13

264	102,4	18,9	38,3	17010,0	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,98	0,12
266	102,9	19,4	38,3	17048,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,00	0,12
268	102,9	19,4	38,8	17087,1	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,01	0,12
270	102,6	19,1	38,5	17125,6	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,03	0,12
272	101,4	17,9	37,0	17162,6	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,04	0,12
274	103,3	19,8	37,7	17200,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,06	0,11
276	102,8	19,3	39,1	17239,4	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,07	0,11
278	102,7	19,2	38,5	17277,9	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,09	0,11
280	102,9	19,4	38,6	17316,5	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,10	0,11
282	101,9	18,4	37,8	17354,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,12	0,11
284	101,1	17,6	36,0	17390,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,13	0,10
286	101,7	18,2	35,8	17426,1	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,15	0,10
288	100,1	16,6	34,8	17460,9	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,16	0,10
290	100,7	17,2	33,8	17494,7	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,18	0,10
292	99,3	15,8	33,0	17527,7	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,19	0,10
294	99,5	16,0	31,8	17559,5	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,21	0,10
296	98,8	15,3	31,3	17590,8	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,22	0,09
298	100,7	17,2	32,5	17623,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,24	0,09
300	100,0	16,5	33,7	17657,0	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,25	0,09
302	100,4	16,9	33,4	17690,4	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,27	0,09
304	100,6	17,1	34,0	17724,4	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,28	0,09
306	100,1	16,6	33,7	17758,1	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,30	0,09
308	100,4	16,9	33,5	17791,6	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,31	0,08
310	99,3	15,8	32,7	17824,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,33	0,08
312	99,7	16,2	32,0	17856,3	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,34	0,08
314	101,5	18,0	34,2	17890,5	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,36	0,08
316	99,5	16,0	34,0	17924,5	0,0	0,3	0,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,37	0,08
318	98,6	15,1	31,1	17955,6	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,39	0,07
320	98,5	15,0	30,1	17985,7	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,40	0,07
322	99,4	15,9	30,9	18016,6	0,0	0,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,42	0,07
324	97,8	14,3	30,2	18046,8	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,43	0,07
326	97,8	14,3	28,6	18075,4	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,45	0,07
328	97,7	14,2	28,5	18103,9	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,46	0,07
330	96,8	13,3	27,5	18131,4	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,48	0,07
332	97,6	14,1	27,4	18158,8	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,49	0,06
334	95,6	12,1	26,2	18185,0	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,51	0,06
336	97,2	13,7	25,8	18210,8	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,52	0,06
338	97,2	13,7	27,4	18238,2	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,54	0,06
340	95,8	12,3	26,0	18264,2	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,55	0,06
342	97,1	13,6	25,9	18290,1	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,57	0,06
344	96,4	12,9	26,5	18316,6	0,0	0,2	0,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,58	0,06
346	94,7	11,2	24,1	18340,7	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,60	0,06
348	95,4	11,9	23,1	18363,8	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,61	0,05
350	95,1	11,6	23,5	18387,3	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,63	0,05
352	94,8	11,3	22,9	18410,2	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,64	0,05
354	94,3	10,8	22,1	18432,3	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,66	0,05

356	92,6	9,1	19,9	18452,2	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,67	0,05
358	93,5	10,0	19,1	18471,3	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,69	0,05
360	95,0	11,5	21,5	18492,8	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,70	0,05
362	92,9	9,4	20,9	18513,7	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,72	0,05
364	99,6	16,1	25,5	18539,2	0,0	0,3	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,73	0,04
366	92,6	9,1	25,2	18564,4	0,0	0,2	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,75	0,04
368	93,6	10,1	19,2	18583,6	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,76	0,04
370	93,5	10,0	20,1	18603,7	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,78	0,04
372	93,6	10,1	20,1	18623,8	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,79	0,04
374	92,6	9,1	19,2	18643,0	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,81	0,04
376	93,1	9,6	18,7	18661,7	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,82	0,04
378	92,9	9,4	19,0	18680,7	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,84	0,04
380	91,8	8,3	17,7	18698,4	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,85	0,04
382	90,4	6,9	15,2	18713,6	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,87	0,04
384	91,1	7,6	14,5	18728,1	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,88	0,04
386	89,3	5,8	13,4	18741,5	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,90	0,03
388	89,9	6,4	12,2	18753,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,91	0,03
390	90,6	7,1	13,5	18767,2	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,93	0,03
392	89,5	6,0	13,1	18780,3	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,94	0,03
394	89,7	6,2	12,2	18792,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,96	0,03
396	89,7	6,2	12,4	18804,9	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,97	0,03
398	89,1	5,6	11,8	18816,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,99	0,03
400	89,1	5,6	11,2	18827,9	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,00	0,03
402	89,9	6,4	12,0	18839,9	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,02	0,03
404	87,9	4,4	10,8	18850,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,03	0,03
406	88,7	5,2	9,6	18860,3	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,05	0,03
408	88,5	5,0	10,2	18870,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,06	0,03
410	88,0	4,5	9,5	18880,0	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,08	0,03
412	88,2	4,7	9,2	18889,2	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,09	0,03
414	87,8	4,3	9,0	18898,2	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,11	0,03
416	89,2	5,7	10,0	18908,2	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,12	0,03
418	87,7	4,2	9,9	18918,1	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,14	0,03
420	87,9	4,4	8,6	18926,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,15	0,02
422	87,8	4,3	8,7	18935,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,17	0,02
424	86,8	3,3	7,6	18943,0	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,18	0,02
426	87,6	4,1	7,4	18950,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,20	0,02
428	86,8	3,3	7,4	18957,8	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,21	0,02
430	87,2	3,7	7,0	18964,8	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,23	0,02
432	86,8	3,3	7,0	18971,8	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,24	0,02
434	86,5	3,0	6,3	18978,1	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,26	0,02
436	86,8	3,3	6,3	18984,4	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,27	0,02
438	89,1	5,6	8,9	18993,3	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,29	0,02
440	87,1	3,6	9,2	19002,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,30	0,02
442	86,8	3,3	6,9	19009,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,32	0,02
444	87,4	3,9	7,2	19016,6	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,33	0,02
446	87,1	3,6	7,5	19024,1	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,35	0,02

448	87,7	4,2	7,8	19031,9	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,36	0,02
450	86,2	2,7	6,9	19038,8	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,38	0,02
452	87,5	4,0	6,7	19045,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,39	0,02
454	86,6	3,1	7,1	19052,6	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,41	0,02
456	88,6	5,1	8,2	19060,8	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,42	0,02
458	87,0	3,5	8,6	19069,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,44	0,02
460	88,2	4,7	8,2	19077,6	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,45	0,02
462	88,2	4,7	9,4	19087,0	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,47	0,02
464	86,9	3,4	8,1	19095,1	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,48	0,02
466	87,7	4,2	7,6	19102,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,50	0,02
468	87,1	3,6	7,8	19110,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,51	0,02
470	85,3	1,8	5,4	19115,9	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,53	0,02
472	87,6	4,1	5,9	19121,8	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,54	0,01
474	87,0	3,5	7,6	19129,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,56	0,01
476	84,9	1,4	4,9	19134,3	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,57	0,01
478	85,5	2,0	3,4	19137,7	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,59	0,01
480	85,9	2,4	4,4	19142,1	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,60	0,01
482	87,4	3,9	6,3	19148,4	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,62	0,01
484	86,8	3,3	7,2	19155,6	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,63	0,01
486	86,9	3,4	6,7	19162,3	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,65	0,01
488	83,5	0,0	3,4	19165,7	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,66	0,01
490	84,9	1,4	1,4	19167,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,68	0,01
492	86,1	2,6	4,0	19171,1	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,69	0,01
494	84,6	1,1	3,7	19174,8	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,71	0,01
496	84,0	0,5	1,6	19176,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,72	0,01
498	85,6	2,1	2,6	19179,0	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,74	0,01
500	85,6	2,1	4,2	19183,2	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,75	0,01
502	85,1	1,6	3,7	19186,9	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,77	0,01
504	88,1	4,6	6,2	19193,1	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,78	0,01
506	85,1	1,6	6,2	19199,3	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,80	0,01
508	84,9	1,4	3,0	19202,3	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,81	0,01
510	85,4	1,9	3,3	19205,6	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,83	0,01
512	86,9	3,4	5,3	19210,9	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,84	0,01
514	86,7	3,2	6,6	19217,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,86	0,01
516	88,1	4,6	7,8	19225,3	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,87	0,01
518	90,1	6,6	11,2	19236,5	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,89	0,01
520	90,2	6,7	13,3	19249,8	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,90	0,01
522	90,0	6,5	13,2	19263,0	0,0	0,2	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,92	0,01
524	89,5	6,0	12,5	19275,5	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,93	0,01
526	89,0	5,5	11,5	19287,0	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,95	0,01
528	89,8	6,3	11,8	19298,8	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,96	0,01
530	89,2	5,7	12,0	19310,8	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,98	0,01
532	88,7	5,2	10,9	19321,7	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,99	0,00
534	88,4	4,9	10,1	19331,8	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,01	0,00
536	88,8	5,3	10,2	19342,0	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,02	0,00
538	88,7	5,2	10,5	19352,5	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,04	0,00

540	88,9	5,4	10,6	19363,1	0,0	0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,05	0,00
542	88,7	5,2	10,6	19373,7	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,07	0,00
544	88,2	4,7	9,9	19383,6	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,08	0,00
546	88,2	4,7	9,4	19393,0	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,10	0,00
548	87,8	4,3	9,0	19402,0	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,11	0,00
550	87,9	4,4	8,7	19410,7	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,13	0,00
$\int c(t)dt =$ 19411				$\int t.E(t)dt =$ 141,17												

Tabla- X. Hoja de cálculo para los modelos de RCM, Wolf-Resnick y análisis de la curva de tendencia planta B.

TIEMPO (min)	Conducción $\mu S/cm$	c(t) $\mu S/cm$	Área c(t)	Área acumulada	E(t)	t.E(t)	Área t.E(t)	F(t)	W(T)	MODELO E(t) para RCMS (N)					t/to	1- F(t)
										1	2	3	4	5		
0	75,4	2,8	0	0	0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	1,00
2	73,3	0,7	3,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	1,00
4	73,0	0,4	1,1	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	1,00
6	73,1	0,5	0,9	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12	1,00
8	74,5	1,9	2,4	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,16	1,00
10	72,8	0,2	2,1	10	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,20	1,00
12	73,0	0,4	0,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	1,00
14	72,6	0,0	0,4	11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,29	1,00
16	73,3	0,7	0,7	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	1,00
18	73,0	0,4	1,1	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1,00
20	73,1	0,5	0,9	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,41	1,00
22	73,2	0,6	1,1	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45	1,00
24	95,7	23,1	23,7	38,5	0,0	0,1	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,49	0,99
26	153,7	81,1	104	142,7	0,0	0,3	0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,53	0,98
28	158,9	86,3	167	310,1	0,0	0,4	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,95
30	158,7	86,1	172	482,5	0,0	0,4	0,8	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,61	0,92
32	163,6	91,0	177	659,6	0,0	0,5	0,9	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,65	0,90
34	172,3	99,7	191	850,3	0,0	0,5	1,0	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,70	0,87
36	173,6	101,0	201	1051	0,0	0,6	1,1	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,74	0,84
38	185,2	112,6	214	1264,6	0,0	0,7	1,2	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,78	0,80
40	186,3	113,7	226	1490,9	0,0	0,7	1,4	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,82	0,77
42	194,3	121,7	235	1726,3	0,0	0,8	1,5	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,86	0,73
44	191,6	119,0	241	1967	0,0	0,8	1,6	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,90	0,69
46	191,3	118,7	238	2204,7	0,0	0,9	1,7	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,94	0,66
48	195,8	123,2	242	2446,6	0,0	0,9	1,8	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,98	0,62
50	195,0	122,4	246	2692,2	0,0	1,0	1,9	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,02	0,58
52	194,8	122,2	245	2936,8	0,0	1,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,06	0,54
54	193,3	120,7	243	3179,7	0,0	1,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,10	0,50
56	176,6	104,0	225	3404,4	0,0	0,9	1,9	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,15	0,47

58	177,9	105,3	209	3613,7	0,0	1,0	1,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,19	0,43
60	174,8	102,2	208	3821,2	0,0	1,0	1,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,23	0,40
62	165,9	93,3	196	4016,7	0,0	0,9	1,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,27	0,37
64	164,6	92,0	185	4202	0,0	0,9	1,8	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,31	0,34
66	170,1	97,5	190	4391,5	0,0	1,0	1,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,35	0,31
68	160,6	88,0	186	4577	0,0	0,9	1,9	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,39	0,28
70	149,4	76,8	165	4741,8	0,0	0,8	1,8	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,43	0,26
72	145,4	72,8	150	4891,4	0,0	0,8	1,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,47	0,23
74	139,8	67,2	140	5031,4	0,0	0,8	1,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,51	0,21
76	136,9	64,3	132	5162,9	0,0	0,8	1,5	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,55	0,19
78	129,3	56,7	121	5283,9	0,0	0,7	1,5	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,60	0,17
80	132,9	60,3	117	5400,9	0,0	0,8	1,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,64	0,16
82	126,1	53,5	114	5514,7	0,0	0,7	1,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,68	0,14
84	122,4	49,8	103	5618	0,0	0,7	1,3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,72	0,12
86	120,8	48,2	98	5716	0,0	0,6	1,3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,76	0,11
88	118,3	45,7	93,9	5809,9	0,0	0,6	1,3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,80	0,09
90	113,7	41,1	86,8	5896,7	0,0	0,6	1,2	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,84	0,08
92	111,7	39,1	80,2	5976,9	0,0	0,6	1,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,88	0,07
94	108,2	35,6	74,7	6051,6	0,0	0,5	1,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,92	0,05
96	106,3	33,7	69,3	6120,9	0,0	0,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,96	0,04
98	102,9	30,3	64	6184,9	0,0	0,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,00	0,03
100	101,0	28,4	58,7	6243,6	0,0	0,4	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,04	0,02
102	98,8	26,2	54,6	6298,2	0,0	0,4	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,09	0,01
104	96,1	23,5	49,7	6347,9	0,0	0,4	0,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,13	0,01
106	94,6	22,0	45,5	6393,4	0,0	0,4	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,17	0,00

$$\int c(t)dt$$

$$= \frac{639}{3}$$

$$\int t.E$$

$$(t)dt = \frac{56,8}{7}$$

Tabla- XI.Cálculo de la capacidad aumentar sin espacios para filtros

Floculadores		Vol. floculadores	Caudal	Vol. disponible	Vol. sedimentadores
TR nueva (seg)	1320	132,0	0,100	1494,0	294,0
TR antigua (seg)	900	145,2	0,110	1480,8	323,4
Promedio TR	1110	158,4	0,120	1467,6	352,8
Volumen (m³)	330	171,6	0,130	1454,4	382,2
		184,8	0,140	1441,2	411,6
		198,0	0,150	1428,0	441,0
sedimentadores					
TR nueva (seg)	2940	211,2	0,160	1414,8	470,4
TR antigua (seg)	7980	224,4	0,170	1401,6	499,8
Promedio TR	5460	237,6	0,180	1388,4	529,2
Volumen total (m³)	1626	250,8	0,190	1375,2	558,6
		264,0	0,200	1362,0	588,0
		277,2	0,210	1348,8	617,4
		290,4	0,220	1335,6	646,8
		303,6	0,230	1322,4	676,2
		316,8	0,240	1309,2	705,6
		330,0	0,250	1296,0	735,0
		343,2	0,260	1282,8	764,4
		356,4	0,270	1269,6	793,8
		369,6	0,280	1256,4	823,2
		382,8	0,290	1243,2	852,6
		396,0	0,300	1230,0	882,0
		409,2	0,310	1216,8	911,4
		422,4	0,320	1203,6	940,8
		435,6	0,330	1190,4	970,2
		448,8	0,340	1177,2	999,6
		462,0	0,350	1164,0	1029,0
		475,2	0,360	1150,8	1058,4
		488,4	0,370	1137,6	1087,8
		501,6	0,380	1124,4	1117,2
		514,8	0,390	1111,2	1146,6
		528,0	0,400	1098,0	1176,0
		541,2	0,410	1084,8	1205,4
		554,4	0,420	1071,6	1234,8
		567,6	0,430	1058,4	1264,2
		580,8	0,440	1045,2	1293,6
		594,0	0,450	1032,0	1323,0
		607,2	0,460	1018,8	1352,4
		620,4	0,470	1005,6	1381,8
		633,6	0,480	992,4	1411,2
		646,8	0,490	979,2	1440,6
		660,0	0,500	966,0	1470,0

Tabla- XII.Cálculo de la capacidad aumentar con espacio para filtros

Floculadores		Vol. floculadores	Caudal	Vol. disponible	Vol. sedimentadores
TR nueva (seg)	1320	132,0	0,100	1087,5	294,0
TR antigua (seg)	900	145,2	0,110	1074,3	323,4
Promedio TR	1110	158,4	0,120	1061,1	352,8
Volumen (m³)	330	171,6	0,130	1047,9	382,2
		184,8	0,140	1034,7	411,6
sedimentadores		198,0	0,150	1021,5	441,0
TR nueva (seg)	2940	211,2	0,160	1008,3	470,4
TR antigua (seg)	7980	224,4	0,170	995,1	499,8
Promedio TR	5460	237,6	0,180	981,9	529,2
Volumen total (m³)	1219,5	250,8	0,190	968,7	558,6
		264,0	0,200	955,5	588,0
		277,2	0,210	942,3	617,4
		290,4	0,220	929,1	646,8
		303,6	0,230	915,9	676,2
		316,8	0,240	902,7	705,6
		330,0	0,250	889,5	735,0
		343,2	0,260	876,3	764,4
		356,4	0,270	863,1	793,8
		369,6	0,280	849,9	823,2
		382,8	0,290	836,7	852,6
		396,0	0,300	823,5	882,0
		409,2	0,310	810,3	911,4
		422,4	0,320	797,1	940,8
		435,6	0,330	783,9	970,2
		448,8	0,340	770,7	999,6
		462,0	0,350	757,5	1029,0
		475,2	0,360	744,3	1058,4
		488,4	0,370	731,1	1087,8
		501,6	0,380	717,9	1117,2
		514,8	0,390	704,7	1146,6
		528,0	0,400	691,5	1176,0
		541,2	0,410	678,3	1205,4
		554,4	0,420	665,1	1234,8
		567,6	0,430	651,9	1264,2
		580,8	0,440	638,7	1293,6
		594,0	0,450	625,5	1323,0
		607,2	0,460	612,3	1352,4
		620,4	0,470	599,1	1381,8
		633,6	0,480	585,9	1411,2
		646,8	0,490	572,7	1440,6
		660,0	0,500	559,5	1470,0

Tabla- XIII. Datos de la etapa de sedimentación actual

planta actual	
alta rata	
L (m)	9,00
a (m)	5,45
h (m)	3,36
θ rad	1,05
ϵ (m)	0,06
ϵ_p (m)	0,008
T (°C)	23
μ (m ² /s)	9,40E-07
ρ_{H_2O} (Kg/m ³)	997,57
ρ (Kg/m ³)	1200,00
g (m/s ²)	9,81
ancho de la placa (m)	2,40
profundidad de la placa (m)	1,20
As	49,05

Tabla- XIV. Datos de la etapa de sedimentación re-diseñada

re-diseño planta A	
alta rata	
L (m)	9,03
a (m)	4,60
h (m)	3,36
θ rad	1,05
ϵ (m)	0,05
ϵ_p (m)	0,006
T (°C)	23
μ (m ² /s)	9,40E-07
ρ_{H_2O} (Kg/m ³)	997,57
ρ (Kg/m ³)	1200,00
g (m/s ²)	9,81
ancho de la placa (m)	2,20
profundidad de la placa (m)	1,20
As	41,538

Tabla- XV. Calculo del caudal trasportado por cada tubería.

Q (lps)	22,94	Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n/n variable)											
Q (m³)	0,02294	Q/Q ₀	ReL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
n	0,009	0.0	V/V ₀	0.000	0.292	0.362	0.400	0.427	0.453	0.473	0.492	0.505	0.520
A (m²)	0,0182		d/D	0.000	0.092	0.124	0.148	0.165	0.182	0.196	0.210	0.220	0.232
R (m)	0,0762		R/R ₀	0.000	0.239	0.315	0.370	0.410	0.449	0.481	0.510	0.530	0.554
6pulgadas	0,1524	0.1	V/V ₀	0.540	0.553	0.570	0.580	0.590	0.600	0.613	0.624	0.634	0.645
d(m)			d/D	0.248	0.258	0.270	0.280	0.289	0.298	0.308	0.315	0.323	0.334
asumido			R/R ₀	0.586	0.606	0.630	0.650	0.668	0.686	0.704	0.716	0.729	0.748
r (m)	0,0762	0.2	V/V ₀	0.656	0.664	0.672	0.680	0.687	0.695	0.700	0.706	0.713	0.720
s	0,01		d/D	0.346	0.353	0.362	0.370	0.379	0.386	0.393	0.400	0.409	0.417
π	3,14		R/R ₀	0.768	0.780	0.795	0.809	0.824	0.836	0.848	0.860	0.874	0.886
d/D	0,47	0.3	V/V ₀	0.729	0.732	0.740	0.750	0.755	0.760	0.768	0.776	0.781	0.787
(asumido)	0,360		d/D	0.424	0.431	0.438	0.447	0.452	0.459	0.468	0.476	0.482	0.488
q/Q			R/R ₀	0.896	0.907	0.919	0.931	0.938	0.950	0.962	0.974	0.983	0.992
q (lps)		0.4	V/V ₀	0.796	0.802	0.806	0.810	0.816	0.822	0.830	0.834	0.840	0.845
caudal x	8,2584		d/D	0.498	0.504	0.510	0.516	0.523	0.530	0.536	0.542	0.550	0.557
tuberia			R/R ₀	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035	1.043	1.050	1.056	1.065	1.073
		0.5	V/V ₀	0.830	0.855	0.860	0.865	0.870	0.875	0.880	0.885	0.890	0.895
			d/D	0.563	0.570	0.576	0.582	0.588	0.594	0.601	0.608	0.615	0.620
			R/R ₀	1.079	1.087	1.094	1.100	1.107	1.113	1.121	1.125	1.129	1.132
		0.6	V/V ₀	0.900	0.903	0.908	0.913	0.918	0.922	0.927	0.931	0.936	0.941
			d/D	0.626	0.632	0.639	0.645	0.651	0.658	0.666	0.672	0.678	0.686
			R/R ₀	1.136	1.139	1.143	1.147	1.151	1.155	1.160	1.163	1.167	1.172
		0.7	V/V ₀	0.945	0.951	0.955	0.958	0.961	0.965	0.969	0.972	0.975	0.980
			d/D	0.692	0.699	0.705	0.710	0.719	0.724	0.732	0.738	0.743	0.750
			R/R ₀	1.175	1.179	1.182	1.184	1.188	1.190	1.193	1.195	1.197	1.200
		0.8	V/V ₀	0.984	0.987	0.990	0.993	0.997	1.001	1.005	1.007	1.011	1.015
			d/D	0.756	0.763	0.770	0.778	0.785	0.791	0.798	0.804	0.813	0.820
			R/R ₀	1.202	1.205	1.208	1.211	1.214	1.216	1.219	1.219	1.215	1.214
		0.9	V/V ₀	1.018	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.036	1.038	1.039	1.040
			d/D	0.826	0.835	0.843	0.852	0.860	0.868	0.876	0.884	0.892	0.900
			R/R ₀	1.212	1.210	1.207	1.204	1.202	1.200	1.197	1.195	1.192	1.190
		1.0	V/V ₀	1.041	1.042	1.042	1.042						
			d/D	0.914	0.920	0.931	0.942						
			R/R ₀	1.172	1.164	1.150	1.136						

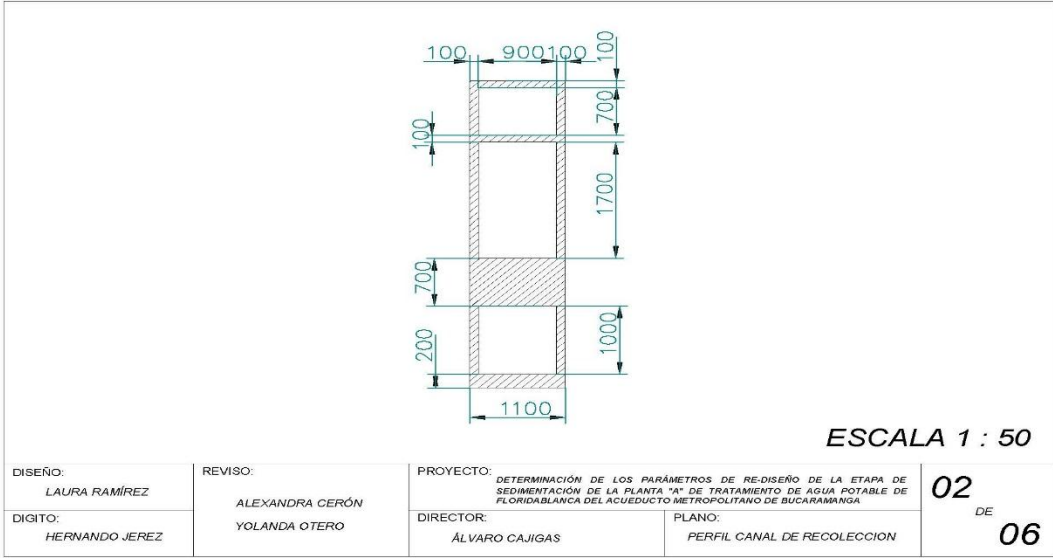
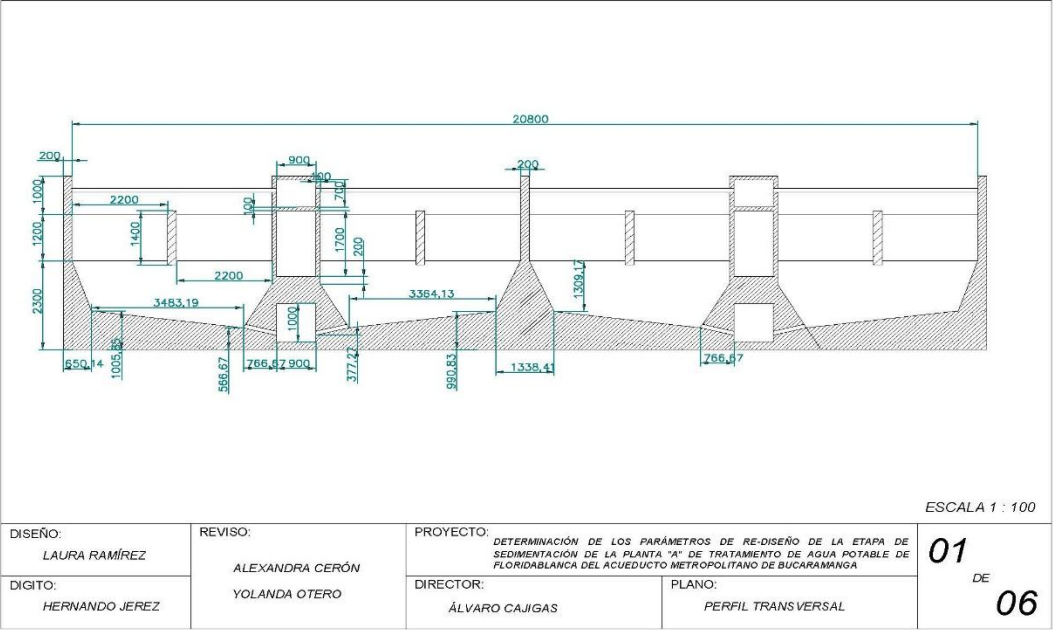
$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$
$$R = \frac{r}{2}$$
$$A = \pi r^2$$

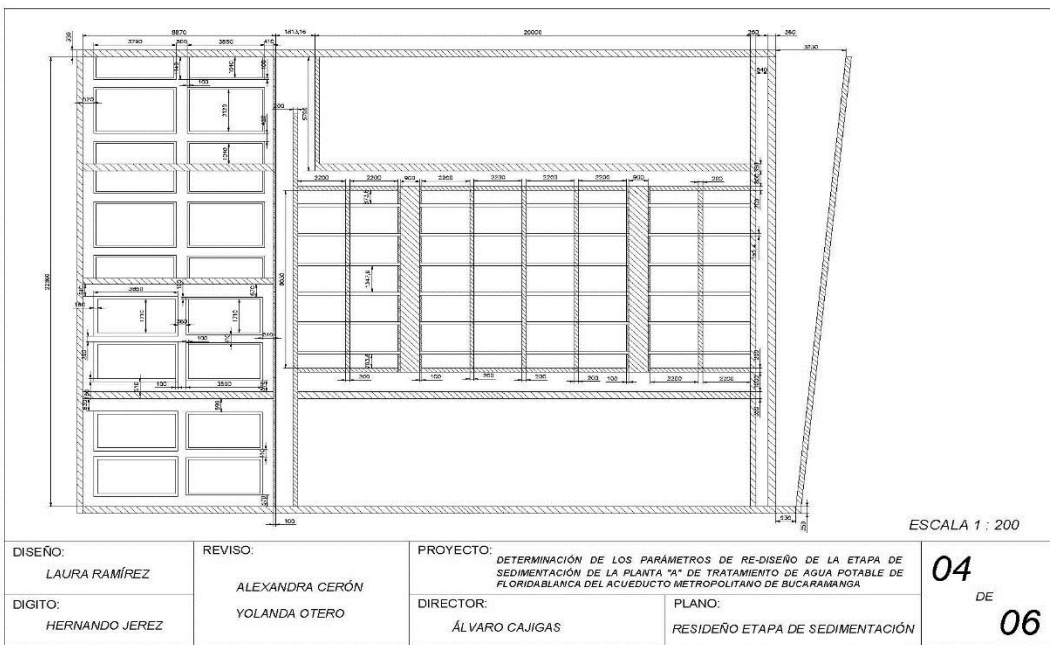
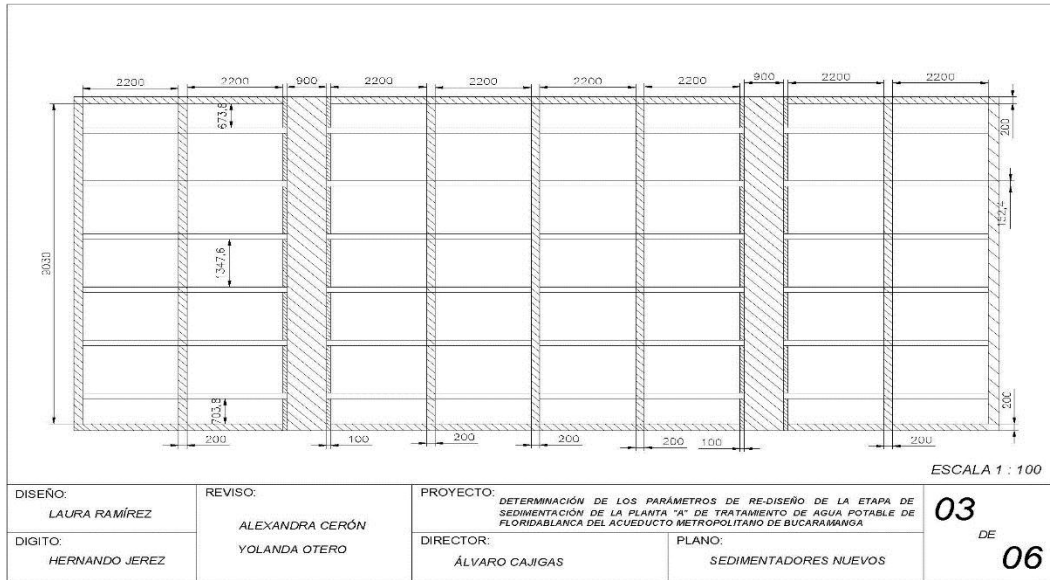
$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

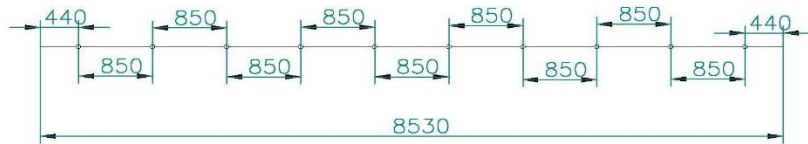
$$R = \frac{r}{2}$$

$$A = \pi r^2$$

10. ANEXO II

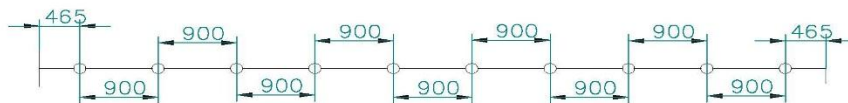






ESCALA 1 : 50

DISEÑO: LAURA RAMÍREZ	REVISO: ALEXANDRA CERÓN	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RE-DISEÑO DE LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA "A" DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA	05 DE 06
DIGITO: HERNANDO JEREZ	YOLANDA OTERO	DIRECTOR: ÁLVARO CAJIGAS PLANO: SECCIÓN DE ORIFICIOS DE PLACAS EXISTENTES	



ESCALA 1 : 50

DISEÑO: LAURA RAMÍREZ	REVISO: ALEXANDRA CERÓN	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RE-DISEÑO DE LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA "A" DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA	06 DE 06
DIGITO: HERNANDO JEREZ	YOLANDA OTERO	DIRECTOR: ÁLVARO CAJIGAS PLANO: SECCIÓN DE ORIFICIOS DE SEDIMENTADORES NUEVOS	