

NO. 66600

T
R5862
2014

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil



Aumento de la Capacidad de Sedimentadores Rectangulares Mediante la Utilización de Placas en Plantas de Tratamiento de Agua Potable

Por
Freddy Alejandro Ríos Donoso

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Yerel Morales Pino
Co-referente: Martín Villalobos Pino

Septiembre, 2014

R. 16853

- Sedimentos
- Agua Potable
- Geomorfología

*Dedicado a
mi hijo Agustín.*

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios y a la Virgen de lo Vásquez por bendecir e iluminar mi camino, llenarme de sabiduría, perseverancia, paciencia y fuerza para alcanzar esta anhelada meta. A mis padres Sandra y Freddy por todo el esfuerzo que han hecho y amor incondicional que me han entregado durante mi vida y estos largos años de estudio. A mis hermanas Catalina y Constanza por hacerme ver lo simple que es la vida, a mis abuelos Francisca y Manuel por toda la sabiduría y cariño entregado, en general a toda mi familia que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo de título.

Agradecer a Delia, por ser un pilar fundamental para el cumplimiento de este importante objetivo, por acompañarme durante todo el proceso universitario y por otorgarme la alegría más grande de mi vida, mi hijo Agustín.

Agradecer también a mi profesor guía Martín Villalobos, por ser el mentor de esta idea, otorgándome todo su apoyo y conocimiento para el desarrollo de este trabajo título. A la consultora de ingeniería sanitaria ICC-COVIL por facilitar todo lo necesario para la ejecución del trabajo y en particular a mis compañeros y amigos de oficina Bárbara y Mauricio por apoyarme, creer en mí y alegrar cada día laboral.

De igual modo agradecer a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Valparaíso, quienes me otorgaron las primeras herramientas para afrontar el mundo laboral de una mejor manera. Especial agradecimiento a la profesora Yerel Morales por su buena voluntad y disposición para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente agradecer a todos mis compañeros de universidad que han estado conmigo en estos años de estudio. A mis amigos de toda la vida, que de alguna manera han aportado significativamente en mi desarrollo personal.

Para todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
GLOSARIO	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS O SIGLAS.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE ECUACIONES.....	XIV
RESUMEN.....	16
CAPÍTULO I – ANTECEDENTES GENERALES.....	17
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Alcances	19
1.4 Metodología de trabajo.....	20
CAPÍTULO II – PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	21
2.1 Captación.....	21
2.2 Conducción.....	22
2.3 Pretratamiento	22
2.4 Coagulación.....	22
2.4.1 Coaguladores hidráulicos.....	22
2.4.2 Coaguladores mecánicos.....	22
2.5 Floculación	23
2.5.1 Floculadores hidráulicos	23
2.5.2 Floculadores mecánicos	23
2.6 Sedimentación.....	23
2.6.1 Sedimentadores de flujo horizontal.....	23
2.6.2 Sedimentadores de flujo vertical	23

2.6.3	Sedimentadores de alta tasa	24
2.7	Filtración	24
2.7.1	Filtros lentos	24
2.7.2	Filtros rápidos	24
2.8	Desinfección	25
2.9	Distribución	26
2.10	Parámetros que rigen la calidad del agua	26
2.10.1	Parámetros físicos	26
2.10.1.1	Turbiedad	26
2.10.1.2	Color	27
2.10.1.3	Olor y sabor	27
2.10.1.4	Temperatura	27
2.10.1.5	pH	27
2.10.2	Parámetros químicos	28
2.10.3	Parámetros radioactivos	28
2.10.4	Parámetros bacteriológicos	28
CAPÍTULO III – MARCO TEORICO: SEDIMENTACION		29
3.1	Conceptos generales	29
3.2	Velocidad de sedimentación	29
3.2.1	Sedimentación de partículas discretas con caída libre	29
3.2.2	Sedimentación de partículas aglomerables	33
3.2.2.1	Sedimentación de partículas aglomerables con caída libre	33
3.2.2.2	Sedimentación de partículas aglomerables con caída interferida	36
3.3	Sedimentadores de flujo horizontal	37
3.3.1	Zonas de un sedimentador de flujo horizontal	37
3.3.2	Criterios de diseño en la zona de sedimentación	38
3.3.3	Variables que influyen en el proceso de sedimentación	40
3.3.3.1	Corrientes de densidad	40
3.3.3.2	Corrientes de viento	40
3.3.3.3	Corrientes cinéticas	41
3.3.4	Tipos de sedimentadores de flujo horizontal	41
3.3.4.1	Sedimentadores rectangulares	41
3.3.4.2	Sedimentadores circulares o cuadrados	42
3.4	Sedimentadores de alta tasa	43
3.4.1	Trayectoria de una partícula en placas paralelas	44
3.4.2	Factores que influyen en el proceso	47
3.4.2.1	Longitud relativa	47
3.4.2.2	Flujo laminar	48
3.4.2.3	Inclinación de las placas	49
3.4.2.4	Tasa de sedimentación	50
3.4.3	Tipos de sedimentadores de alta tasa	50
3.4.3.1	Sedimentadores de alta tasa de flujo horizontal	51
3.4.3.2	Sedimentadores de alta tasa de flujo inclinado	51
CAPÍTULO IV – ANÁLISIS SEDIMENTADORES CONVENCIONALES		53

4.1	PTAP Collipulli.....	53
4.1.1	Descripción general.....	53
4.1.2	Análisis del sedimentador	53
4.2	PTAP Gorbea.....	55
4.2.1	Descripción general.....	55
4.2.2	Análisis de sedimentadores	55
4.3	Evaluación de la eficiencia	57
4.3.1	Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada	58
4.3.2	Eficiencia en función de la calidad del agua cruda	60

CAPÍTULO V – EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA SELECCIONAR EL TIPO DE PLACA 67

5.1	Parámetros a considerar en el diseño de las placas.....	67
5.1.1	Longitud relativa y ángulo de inclinación	67
5.1.2	Criterios de dimensionamiento.....	69
5.2	Módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS).....	70
5.2.1	Características generales	70
5.2.2	Instalación	71
5.2.3	Mantenimiento.....	71
5.2.4	Ventajas	71
5.2.5	Costos de inversión y operación	75
5.3	Módulos de policloruro de vinilo (PVC)	76
5.3.1	Características generales	76
5.3.2	Instalación	77
5.3.3	Mantenimiento.....	78
5.3.4	Ventajas	79
5.3.5	Costos de Inversión y operación.....	84
5.4	Placas planas de polipropileno (PP)	85
5.4.1	Características generales	85
5.4.2	Instalación	85
5.4.3	Mantenimiento.....	85
5.4.4	Ventajas	86
5.4.5	Costos de Inversión y operación.....	90
5.5	Comparación de alternativas.....	91
5.6	Metodología propuesta.....	94
5.6.1	Evaluación de la demanda de agua potable.....	94
5.6.2	Alternativas de placas o módulos	95
5.6.3	Evaluación de alternativas	95
5.6.4	Selección de las placas o módulos a utilizar	95

CAPÍTULO VI – APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PTAP COLLIPULI, IX REGIÓN DE LA ARAUCANIA.....

6.1	Introducción	96
6.2	Antecedentes generales.....	96
6.2.1	Ubicación y características geográficas.....	96

6.2.1.1	Ubicación.....	96
6.2.1.2	Clima	97
6.2.1.3	Hidrografía.....	98
6.2.1.4	Geomorfología.....	98
6.2.2	Características urbanas	98
6.2.3	Actividades económicas.....	99
6.3	Catastro PTAP existente	99
6.3.1	Captación	99
6.3.2	Conducciones.....	99
6.3.2.1	Conducción captación – desarenador.....	99
6.3.2.2	Conducción sedimentador-estanque (TK) de carga Bulnes	100
6.3.2.3	Conducción estanque (TK) de carga Bulnes – PTAP	101
6.3.2.4	Conducción PTAP – Estanque Santa Lucia.	101
6.3.2.5	Conducción estanque semienterrado Santa Lucia – estanque elevado Santa Lucia ..	101
6.3.3	Plantas elevadores de agua potable (PEAP).....	101
6.3.3.1	Planta elevadora Río Malleco	101
6.3.3.2	Planta elevadora PTAP	102
6.3.3.3	Planta elevadora PTAP	103
6.3.4	Tratamiento	104
6.3.4.1	Pretratamiento.....	104
6.3.4.2	Tratamiento	104
6.3.5	Regulación	106
6.3.6	Distribución.....	107
6.4	Proyecto Civil.....	107
6.4.1	Demanda de agua potable	107
6.4.2	Balance de oferta y demanda	109
6.4.2.1	Balance de la fuente.....	109
6.4.2.2	Balance de conducciones	111
6.4.2.3	Balance de tratamiento	114
6.4.2.4	Balance de regulación.....	116
6.5	Aplicación de la metodología.....	119
6.5.1	Determinación de caudales de diseño	119
6.5.2	Determinación de la Velocidad de sedimentación	120
6.5.3	Alternativas para el aumento de la capacidad de sedimentadores	121
6.5.4	Evaluación de alternativas	121
6.5.5	Selección de las placas o módulos a utilizar	122
6.5.5.1	Costos de inversión.....	122
6.5.5.2	Costos de operación y mantenimiento.....	123
6.5.5.3	Selección de alternativa	124
6.5.6	Presupuesto	124
CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES		126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		128
ANEXO A – EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PLACAS		130
ANEXO B – TABLAS DE SUPERFICIE Y NÚMERO DE PLACAS A INSTALAR.....		149

GLOSARIO

- Afluente:** Agua que entra a un depósito o entra a una etapa.
- Agua cruda:** Agua en estado natural sin tratar.
- Agua Tratada:** Agua que ha sido sometida a algún tratamiento para mejorar su calidad.
- Agua Potable:** Agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano.
- Coagulante:** Sustancia, que al introducirse al agua, induce al agrupamiento de las partículas para una fácil sedimentación.
- Coloide:** Partícula de tamaño generalmente definido entre 1 y 1000 μm que no sedimenta por efecto de la fuerza de gravedad.
- Efluente:** Agua que sale en un depósito o termina una etapa.
- Floculación:** Proceso físico-químico que consiste en la aglomeración de partículas no sedimentables para formar flóculos.
- Flóculo:** Partícula macroscópica formada en un líquido por floculación, generalmente separable por sedimentación.
- Sedimentación:** Proceso físico por el cual se eliminan las partículas del agua por efecto de la gravedad.
- Sedimentador:** Estructura o dispositivo diseñado para efectuar el proceso de sedimentación.
- Turbiedad:** Interferencia óptica de las materias en suspensión en el agua que produce reducción de su transparencia.

LISTA DE ABREVIATURAS O SIGLAS

CAPRE	Centro América, Panamá y República Dominicana
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente
EPA	(Environmental Protection Agency) Agencia de Protección Ambiental
HIPS	Poliestireno de Alto Impacto
JTU	Unidad de Jackson para medir la turbiedad
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEAP	Planta de Elevadora de Agua Potable
PP	Polipropileno
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
PVC	Policloruro de Vinilo
TK	Estanque de agua potable
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbiedad

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1- Ecuaciones de coeficiente de arrastre.....	31
Tabla 3.2- Valores de S según el tipo de módulo.....	46
Tabla 4.1- Turbiedad de agua decantada, PTAP Collipulli.....	58
Tabla 4.2- Turbiedad de agua decantada, PTAP Gorbea.....	58
Tabla 4.3- Turbiedad promedio anual, PTAP Collipulli.....	60
Tabla 4.4- Turbiedad promedio anual, PTAP Gorbea.....	61
Tabla 4.5- Mínimos Cuadrados, PTAP Collipulli.....	63
Tabla 4.6- Mínimos Cuadrados, PTAP Gorbea.....	63
Tabla 4.7- Ecuaciones de recta, PTAP Collipulli y Gorbea.....	64
Tabla 4.8- Eficiencia (η) mensual y anual, PTAP Collipulli y Gorbea.....	65
Tabla 4.9- Eficiencia (η) en rangos de turbiedad, PTAP Collipulli y Gorbea.....	66
Tabla 5.1- Características físicas módulos tipo colmena.....	70
Tabla 5.2- Características físicas módulos de PVC.....	77
Tabla 5.3- Características físicas de placas planas de PP.....	85
Tabla 6.1- Resumen longitud y material red de distribución sistema de AP Collipulli.....	107
Tabla 6.2- Demanda de agua potable Collipulli.....	108
Tabla 6.3- Caudales de Bombeo Collipulli.....	109
Tabla 6.4- Estación Malleco en Collipulli.....	110
Tabla 6.5- Capacidad de porteo conducción captación – sedimentador v/s caudal máximo diario.....	111
Tabla 6.6- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Impulsión Río Malleco – TK de carga Bulnes.....	112
Tabla 6.7- Capacidad de porteo conducción TK Bulnes – PTAP v/s caudal máximo diario.....	113
Tabla 6.8- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Conducción PTAP – Recinto estanque semienterrado Santa Lucia.....	113
Tabla 6.9- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Recinto estanque semienterrado Santa Lucia – Estanque elevado Santa Lucia.....	114
Tabla 6.10- Caudal máximo diario v/s caudal de diseño PTAP.....	115
Tabla 6.11- Balance estanque semienterrado Santa Lucia V=1000m ³	117
Tabla 6.12- Balance estanque elevado Santa Lucia V=500m ³	117
Tabla 6.13- Caudales de demandas de AP adoptados.....	119
Tabla 6.14- Tasas de sedimentación para caudal máximo diario.....	120
Tabla 6.15- Datos para el aumento de la capacidad del sedimentador.....	121
Tabla 6.16- Características de placas a instalar de polipropileno (PP).....	121
Tabla 6.17- Características de módulos a instalar de policloruro de vinilo (PVC).....	122

Tabla 6.18- Características de módulos a instalar de poliestileno de alto impacto (HIPS).....	122
Tabla 6.19- Costos de inversión para sistemas de placas planas de PP.....	123
Tabla 6.20- Costos de inversión para sistemas de módulos de PVC.....	123
Tabla 6.21- Costos de inversión para sistemas de módulos de HIPS.....	123
Tabla 6.22- Valor actualizado de costos (VAC) para las diferentes alternativas.....	124
Tabla 6.23- Resumen análisis de alternativas.....	124
Tabla 6.24- Resumen de alternativas económicas evaluadas.....	124
Tabla 6.25- Presupuesto sistema módulos de PVC sedimentador Collipulli.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Captación Rio Malleco, PTAP Collipulli.....	21
Figura 2.2- Sedimentador gravitacional, PTAP Collipulli.....	24
Figura 2.3 - Filtros a presión, PTAP Collipulli.....	25
Figura 2.4- Equipos de cloración, PTAP Collipulli.....	25
Figura 2.5- Equipos de fluoruración, PTAP Collipulli.....	25
Figura 3.1- Fuerzas actuantes en una partícula.....	30
Figura 3.2- Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático.....	32
Figura 3.3- Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático.....	33
Figura 3.4- Equipo de laboratorio para ensayos de sedimentación.....	34
Figura 3.5- Curva de variación de eficiencia.....	35
Figura 3.6- Sedimentación con caída interferida	36
Figura 3.7- Zonas de un sedimentador.....	38
Figura 3-8- Trayectoria ideal de partículas discretas.....	38
Figura 3.9- Corrientes térmicas.....	40
Figura 3-10- Corrientes cinéticas.....	41
Figura 3.11- Sedimentador rectangular.....	42
Figura 3.12- Sedimentador circular.....	43
Figura 3.13- Efecto al introducir placas intermedias.....	44
Figura 3.14- Trayectoria de una partícula en placas paralelas inclinadas.....	44
Figura 3.15- Eficiencia sedimentador de placas en función de la longitud relativa.....	47
Figura 3.16- Desarrollo de la capa limite caracterizando la zona de transición.....	48
Figura 3.17- Variación de la eficiencia del sedimentador en función del ángulo de inclinación... ..	49
Figura 3.18- Comparación entre un decantador convencional y un decantador tubular.....	50
Figura 3.19: Sedimentador de placas de flujo ascendente.....	51
Figura 3-20- sedimentador de placas de flujo descendente.....	52
Figura 4.1- Gráficos de tendencias, PTAP Collipulli.....	54
Figura 4.2- Turbiedad mensual, PTAP Collipulli.....	55
Figura 4.3- Gráficos de tendencias, PTAP Gorbea.....	56
Figura 4.4- Turbiedad mensual, PTAP Gorbea.....	57
Figura 4.5- Frecuencia acumulada, PTAP Collipulli.....	59
Figura 4.6- Frecuencia acumulada, PTAP Gorbea.....	60
Figura 4.7- Agua cruda v/s Agua decantada, PTAP Collipulli.....	61
Figura 4.8- Agua cruda v/s Agua decantada, PTAP Gorbea.....	62
Figura 5.1-Influencia del ángulo y longitud relativa para placas planas.....	68
Figura 5.2-Influencia del ángulo y longitud relativa para placas tubulares.....	68

Figura 5.3-Comparacion placas planas v/s placas tubulares.....	69
Figura 5.4- Módulos tipo colmena.....	70
Figura 5.5- Número de módulos HIPS para caudales menores a 150 (Lts/sg).....	72
Figura 5.6- Número de módulos de HIPS para caudales mayores a 150 (Lts/sg).....	73
Figura 5.7- Superficie requerida de módulos de HIPS para caudales menores a 150 (Lts/sg)...	74
Figura 5.8- Superficie requerida de módulos de HIPS para caudales mayores a 150 (Lts/sg).....	75
Figura 5.9- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de HIPS.....	76
Figura 5.10- Módulos rectangulares de PVC.....	77
Figura 5.11- Número de módulos de PVC para caudales menores a 150 (Lts/sg).....	80
Figura 5.12- Número de módulos de PVC para caudales mayores a 150 (Lts/sg).....	81
Figura 5.13- Superficie requerida de módulos de PVC para caudales menores a 150 (Lts/sg).....	82
Figura 5.14- Superficie requerida de módulos de PVC para caudales mayores a 150 (Lts/sg).....	83
Figura 5.15- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de PVC.....	84
Figura 5.16- Número de Placas (PP) para caudales menores a 150 (Lts/sg).....	87
Figura 5.17- Número de Placas (PP) para caudales mayores a 150 (Lts/sg)	88
Figura 5.18- Superficie requerida de Placas (PP) para caudales menores a 150 (Lts/sg).....	89
Figura 5.19- Superficie requerida de Placas (PP) para caudales mayores a 150 (Lts/sg).....	90
Figura 5.20- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con placas de polipropileno...	91
Figura 5.21- Comparación de costos unitarios de inversión y VAC.....	92
Figura 5.22- Comparación teórica de remoción de partículas.....	92
Figura 5.23- Comparación de resistencia estructural y facilidad de instalación.....	93
Figura 5.24- Comparación de superficie requerida.....	93
Figura 5.25- Diagrama de flujo metodología propuesta.....	94
Figura 6.1- Ubicación de la localidad de Collipulli, a nivel.....	97
Figura 6.2- Desarenador recinto Río Malleco.....	100
Figura 6.3- Estanque (TK) de carga Bulnes.....	100
Figura 6.4- Equipos de bombeo PEAP Río Malleco.....	101
Figura 6.5- Sentina de bombeo PEAP planta de tratamiento.....	102
Figura 6.6- Equipos de bombeo PEAP planta de tratamiento.....	102
Figura 6.7- Caseta de bombeo PEAP recinto estanques Santa Lucia.....	103
Figura 6.8- Equipos de bombeo PEAP recinto estanques Santa Lucia.....	103
Figura 6.9- Cámara de carga e inyección de coagulantes.....	104
Figura 6.10- Equipos de dosificación de coagulantes.....	105
Figura 6.11- Floculador hidráulico existente.....	105
Figura 6.12- Estanque (TK) Santa Lucia semienterrado (S/E).....	106
Figura 6.13- Estanque (TK) Santa Lucia elevado.....	106
Figura 6.14- Barrera provisoria captación Río Malleco Collipulli.....	110

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 3.1 -	30
Ecuación 3.2 -	30
Ecuación 3.3 -	30
Ecuación 3.4 -	30
Ecuación 3.5 -	31
Ecuación 3.6 -	31
Ecuación 3.7 -	32
Ecuación 3.8 -	32
Ecuación 3.9 -	34
Ecuación 3.10 -	34
Ecuación 3.11 -	35
Ecuación 3.12 -	35
Ecuación 3.13 -	36
Ecuación 3.14 -	39
Ecuación 3.15 -	39
Ecuación 3.16 -	39
Ecuación 3.17 -	39
Ecuación 3.18 -	39
Ecuación 3.19 -	45
Ecuación 3.20 -	45
Ecuación 3.21 -	45
Ecuación 3.22 -	45
Ecuación 3.23 -	45
Ecuación 3.24 -	45
Ecuación 3.25 -	45
Ecuación 3.26 -	45
Ecuación 3.27 -	45
Ecuación 3.28 -	46
Ecuación 3.29 -	46
Ecuación 3.30 -	46
Ecuación 3.31 -	47
Ecuación 3.32 -	48
Ecuación 3.33 -	48
Ecuación 3.34 -	49

Ecuación 3.35 -	49
Ecuación 4.1-	62
Ecuación 4.2-	64
Ecuación 4.3-	64
Ecuación 4.4-	65
Ecuación 5.1-	69
Ecuación 5.2-	70

RESUMEN

Para mantener el agua potable al servicio de todos, con una cierta calidad, sumado al crecimiento de la población y por ende el respectivo incremento en la demanda de agua potable en las plantas de tratamientos se hace necesario aumentar la capacidad de algunas de sus unidades de acuerdo al déficit que presentan. En particular las plantas de tratamiento de aguas superficiales son vulnerables a la presencia de turbiedad, por lo tanto el principal componente que se utiliza para el abatimiento de este parámetro es el sedimentador.

De acuerdo a esto se realiza un análisis de la eficiencia de tres tipos de sedimentadores rectangulares que actualmente están en servicio y operados por Aguas Araucanía S.A. en relación al porcentaje de turbiedad que entra y sale del decantador de tal manera obtener una tendencia del comportamiento actual de dichas unidades.

En base a los párrafos anteriores, el trabajo consiste en analizar de manera técnica y económica tres tipos de sistemas que se utilizan en el aumento de la capacidad de los sedimentadores rectangulares como lo son las placas planas de polipropileno (PP), módulos de policloruro de vinilo (PVC) y módulos de poliestireno expandido (HIPS). Con el objetivo de determinar su factibilidad a nivel de ingeniería básica. De esta manera se entrega una metodología que permite al evaluador por medio de herramientas gráficas, estimar ordenadamente la alternativa que se quiere incorporar al sedimentador en cuestión.

Finalmente se utiliza la metodología propuesta para elaborar el proyecto de diseño y mejoramiento del sistema de producción de agua potable de la comuna de Collipulli, provincia de Malleco, IX Región de la Araucanía.

CAPÍTULO I – ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

El agua es el elemento más abundante en el planeta; de esta manera el 97.5% del agua se encuentra en mares y océanos de forma salada, lo que la hace inútil para la alimentación, la agricultura y la mayor parte de los usos industriales. El 2.5% del agua restante es dulce, pero casi toda ella está en los hielos de polos o glaciares, en depósitos subterráneos o en otros lugares de difícil acceso. Por todo esto, solo un 0.26% de la masa total de agua del planeta es fácilmente aprovechable para los humanos.

Actualmente existen graves problemas de disponibilidad y calidad de agua dulce para personas, especies y ecosistemas. Un 20% de la población mundial carece del agua necesaria para una vida sana y segura. Cinco millones de personas mueren al año por enfermedades asociadas a aguas contaminadas y 2600 millones no cuentan con sistemas de saneamiento.

Chile es un país privilegiado en cuanto a la disponibilidad de este recurso, ya que posee fuentes naturales fácilmente aprovechables, tales como: las fuentes de agua superficiales en donde se cuenta con abundantes ríos, lagos, canales etc. y las fuentes de aguas subterráneas como lo son los manantiales, pozos, nacientes. También cuenta con una de las mayores reservas mundiales de este recurso (congelado), en Campos de Hielo Norte y Sur (en la zona austral).

Para la selección de la fuente de abastecimiento deben ser considerados los requerimientos de la población, la disponibilidad y la calidad de agua durante todo el año, así como todos los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

El tipo de fuente de abastecimiento influye directamente en las alternativas tecnológicas viables. El rendimiento de la fuente de abastecimiento puede condicionar el nivel de servicio a brindar. La operación y el mantenimiento de la alternativa seleccionada deben estar de acuerdo a la capacidad de gestión de los beneficiarios del proyecto, a costos compatibles con su perfil socio económico.

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes. En cambio las fuentes superficiales pueden estar comprometidas por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos, y otros.

La calidad del agua debe ser evaluada antes de la construcción del sistema de abastecimiento. El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físico-química o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Cuando las impurezas presentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su consumo. Además de no contener elementos nocivos a la salud, el agua no debe presentar características que puedan rechazar el consumo.

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

Existen varios factores que afectan al costo de esta; la necesidad de tratar el agua para transformarla en agua potable, es decir factores relacionados con la calidad de la fuente, la necesidad de transportar el agua desde la fuente hasta el punto de consumo y la necesidad de almacenar el agua en los periodos en que esta abunda para ser utilizadas en periodos de escasez.

El agua potable en Chile cuenta con una reglamentación muy estricta que exige que sus estándares sean de calidad y aptas para el consumo humano. La Norma Chilena Oficial NCh 409/2005 rige las características que debe tener el agua de consumo humano y su primera versión se aprobó en 1984. La actual normativa determina los parámetros que el agua considerada potable debe cumplir, como los requisitos físicos (turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, ph), químicos, radiactivos y bacteriológicos para consumo humano.

Ingerir agua en malas condiciones implica un peligro de salud. Shigella, tifoidea, giardiasis, poliomielitis, meningitis, hepatitis A y E y cólera son sólo algunas de las enfermedades que se pueden transmitir por esta vía. Es por esto que el 80% de las infecciones gastrointestinales en el mundo se deben al uso y consumo de agua insalubre.

La fuente de agua más susceptible a diferentes problemas es la superficial, la cual presenta globalmente problemas en cuanto a su caudal variable, ya que depende de las estaciones del año cuánta agua tendrá dicha fuente, las cuales en invierno aumentan su nivel. Además a su calidad que también es variable debido a que está expuesta al medio, aquí el agua viene con varios desechos sólidos de la ciudad, por ende hay un mayor nivel de contaminación.

Un ejemplo de esto se presentó en la ciudad de Santiago en febrero del año 2013, cuando la fuente superficial principal que abastece la región metropolitana el río Maipo, sufrió un alud de barro que aumento los niveles de turbiedad, decretando una alerta temprana por posibles problemas que se presentarían en las plantas de tratamiento y por tanto una posible contaminación en el agua tratada.

En general el sistema de potabilización del agua cuenta con las siguientes etapas:

- Captación
- Conducción
- Pretratamiento
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección
- Distribución

Como se puede apreciar la potabilización del agua es un sistema complejo que posee operaciones y procesos unitarios de alto grado de importancia para la vida, es por eso que contar en nuestro país con unidades de tratamientos de agua potable con la mayor eficiencia posible de acuerdo al crecimiento de la población sería el escenario ideal para mantener continuamente este recurso tan importante al servicio de todos.

Por otra parte un factor que se debe tomar en cuenta en la potabilización del agua es la turbiedad, ya que posee un papel muy importante al ser directamente proporcional a la dosificación de productos químicos utilizados en el tratamiento de agua como lo son los coagulantes y desinfectantes.

Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos

casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas. La presencia de turbiedad en el proceso pueden comprometer el desempeño de las unidades de clarificación y éstas a su vez alterar la eficiencia de la filtración.

Uno de los procesos más antiguos y ampliamente usados en el tratamiento del agua potable especialmente en eliminar la turbiedad, es la sedimentación. Proceso que consiste en la remoción por acción de la gravedad de las partículas que son más pesadas que el agua y que se encuentran en suspensión.

Actualmente en todo el mundo y particularmente en Chile se están implementando sedimentadores de alta tasa con celdas inclinadas, ya que sus características técnicas determinan soluciones sumamente económicas, tanto para el tratamiento de agua potable como para el de aguas servidas. De esta manera estos sistemas de sedimentación poseen tiempos de retención de no más de 15 minutos, con una eficiencia comparable a los sedimentadores rectangulares con tiempo retención de más de dos horas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Comparar diferentes materiales de placas utilizadas en el aumento de la capacidad de sedimentadores rectangulares, contribuyendo al buen funcionamiento del proceso de potabilización del agua, generando una herramienta gráfica que permita identificar el tipo de placa a emplear de acuerdo a sus características, a los costos de inversión y operación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las eficiencias de los sedimentadores rectangulares utilizados en este trabajo.
- Evaluar técnica y económicamente las diferentes alternativas de materialidad de las placas utilizadas en los sedimentadores rectangulares, generando gráficas que permitan identificar los costos de inversión y operación de los diferentes sistemas.
- Aplicar alternativas evaluadas en un caso de estudio.

1.3 Alcances

- En el presente estudio se evalúan los sedimentadores rectangulares.
- Los datos que se disponen son la turbiedad medida en la planta de tratamiento de agua potable de Collipulli desde abril de 2012 hasta abril de 2013, y la turbiedad medida en la Planta de Tratamiento de Gorbea desde abril de 2012 hasta abril de 2013.
- La eficiencia se evaluará por medio del porcentaje de remoción de partículas, aplicando el criterio de cuanta turbiedad entra y cuanta sale, utilizando los datos entregados por la empresa de servicios sanitario Aguas Araucanía S.A. descritos en el punto anterior.

- Se evalúan diferentes materiales de las placas desde el punto de vista económico de acuerdo a los sedimentadores en estudio, tales como PVC, Polipropileno (PP), y Poliestireno de alto impacto (HIPS).
- El estudio considera la comparación económica de distintas alternativas de los sedimentadores en cuestión, para lo cual se realizará el cálculo del valor actualizado de costos (VAC) de cada una de ellas.
- Para la determinación de los costos de operación y mantenimiento, se utilizara un porcentaje de la inversión inicial, tomando como referencia otros proyectos de sistemas de sedimentación.
- El caso de estudio corresponde a la comuna de Collipulli, que pertenece a la provincia de Malleco en la Región de la Araucanía (IX Región).

1.4 Metodología de trabajo

La metodología propuesta tiene como objetivo explicar brevemente las actividades más trascendentales del trabajo de título.

En un comienzo se describen los problemas que presentan las plantas de tratamiento de agua potable actualmente, enfocándose precisamente en los sistemas de sedimentación. Luego comienza una revisión bibliográfica (OMS, CEPIS, EPA, entre otros), que permita recolectar toda la información relevante al estudio, dando paso a la propuesta de trabajo y objetivos.

A continuación se describe teóricamente la sedimentación, precisando en los sedimentadores de flujo horizontal y los de alta tasa. Posteriormente, de acuerdo a los decantadores existentes y medidos en los diferentes proyectos de Aguas Araucanía S.A, donde la consultora ICC-COVIL está trabajando, se realiza un análisis para tener un parámetro de comparación de cada tipo de sedimentador estudiado, en base a las diferentes características que presentan.

Primero, se realiza una comparación en cuanto a las eficiencias de los diferentes sedimentadores utilizados en el presente trabajo. Segundo, se procede a realizar una evaluación técnica de acuerdo a la incorporación de placas a dichos sistemas. Tercero, se realiza una evaluación económica de ellas, identificando los costos de inversión, operación y mantenimiento de estas.

Se desarrolla una herramienta grafica que permita identificar de manera preliminar el tipo de método a emplear a los sedimentadores de forma rectangular para aumentar su capacidad, en relación a sus características técnicas, costos de operación y mantenimiento.

Por último se utiliza la localidad de Collipulli como caso de estudio, donde se aplicará toda la metodología desarrollada, utilizando las alternativas de placas propuestas para el aumento de la capacidad de los sedimentadores convencionales.

Finalmente se entrega las conclusiones del trabajo de título, dando respuestas a los objetivos planteados.

CAPÍTULO II – PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Como las principales fuentes de agua para el tratamiento con fines de consumo humano son de origen superficial, en este trabajo solo se analiza este tipo fuente, debido a que es más susceptible a problemas debido a la turbiedad. El tratamiento de aguas superficiales en Chile consta de una serie de procesos que en conjunto logran la purificación del agua.

Para lograr la potabilización del recurso y posterior distribución existen normativas tales como; la norma de diseño (NCh 777) y la norma de la calidad del agua (NCh 409) las cuales rigen los parámetros mínimos a considerar en los diferentes procesos.

2.1 Captación

Esta etapa consiste en extraer el agua de las distintas fuentes naturales, ya sean superficiales o subterráneas, lo que conlleva a diferentes procesos para la obtención del agua cruda.

Los componentes de una estructura de captación de fuentes superficiales, dependen de las características geológicas, hidrológicas y topográficas de la zona o cuenca. Principalmente se componen por captaciones laterales que funcionan como bocatoma. Ver figura 2.1.



Figura 2.1- Captación Rio Malleco, PTAP Collipulli. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

En la figura 2.1 también se puede observar las rejillas, que tienen por finalidad separar el material sólido que proviene de la fuente, esta estructura debe ser constantemente limpiada para mantener activo el ingreso de agua.

Posteriormente el agua ingresa a una cámara para su posterior conducción hacia los desarenadores o coaguladores. Estas conducciones pueden ser gravitacionales o a presión.

2.2 Conducción

Consiste en una tubería que conduce hacia los presedimentadores o también hacia los coaguladores. El tipo de conducción va a depender de la cota de entrada respecto a la de salida y si es que esta necesita un sistema de bombeo.

2.3 Pretratamiento

En esta etapa se acondiciona el agua antes de aplicar los coagulantes. El agua se deja estancar por unos minutos para que sólidos tales como piedras, arena, ripio u otra partícula que no quedaron retenidas anteriormente, decanten por su propio peso.

2.4 Coagulación

Este proceso consiste en agregar coagulantes al agua para que las partículas en suspensión se desestabilicen y formen flóculos. Esto se logra mediante la utilización de productos químicos que serán agregados según las condiciones de la fuente de abastecimiento superficial, pueden ser coagulantes metálicos y/o polielectrolitos [7].

Los coagulantes metálicos pueden ser sales de aluminio o sales de hierro, mientras que los coagulantes polielectrolitos son sustancias químicas que poseen carga positiva y que neutralizan los flóculos que generan la turbiedad la cual posee carga negativa.

El proceso de coagulación se realiza mediante una unidad física llamada coagulador en donde se incorpora el coagulante al agua cruda que entra al sistema, pueden ser hidráulicos o mecánicos [8].

2.4.1 Coaguladores hidráulicos

Existen tres tipos de coaguladores hidráulicos, puede ser de resalto hidráulico, de orificio o bombas.

En el primero se genera una turbulencia debido al cambio de pendiente existente en el canal, provocando la mezcla del coagulante agregado con el agua a tratar, pueden ser; la canaleta Parshall, el vertedero triangular y compuertas.

Los coaguladores hidráulicos de orificios, funcionan debido a una pared sumergida, en donde se distinguen aberturas que generan la turbulencia al otro lado de la pared en donde se le aplica el coagulante [9].

El mecanismo de coagulador hidráulico por bombas, se genera a partir de una transformación de energía mecánica en una mezcla de fluido no comprimible [9].

2.4.2 Coaguladores mecánicos

Aquí se agrega el coagulante a la entrada del agua cruda, produciendo una mezcla rápida debido a la turbulencia generada por las paletas. Se distinguen en este tipo de coaguladores los coaguladores de eje vertical y horizontal, y los coaguladores de turbina [8].

2.5 Floculación

En la floculación el agua cambia de velocidad y se agita, ya sea de forma hidráulica o mecánica. Esto permite que los flóculos pequeños formados en la etapa de coagulación se mezclen y formen flóculos más grandes y pesados que permiten posteriormente una adecuada sedimentación por efecto de la gravedad.

2.5.1 Floculadores hidráulicos

Estas unidades físicas son conocidas como floculadores del tipo laberinto [10], debido a una serie de curvas y cambios de dirección que proporcionan una mezcla lenta, pueden ser de flujo horizontal y vertical.

2.5.2 Floculadores mecánicos

Estos también proporcionan una mezcla lenta pero a diferencia de los hidráulicos, esto se realiza mediante paletas mecánicas, las cuales pueden ser de eje horizontal o vertical. También cabe destacar la existencia de floculadores mecánicos del tipo oscilante que son poco comunes en las plantas de tratamiento. [10]

2.6 Sedimentación

La sedimentación es el proceso en el cual el agua se deja estancar por algún tiempo, para que las partículas o flóculos obtenidos en la etapa de floculación decanten por su propio peso. Se distinguen varios tipos de sedimentadores tales como: los de flujo horizontal, de flujo vertical y de alta tasa.

2.6.1 Sedimentadores de flujo horizontal

Los sedimentadores de flujo horizontal o de baja tasa reciben su nombre debido a que el flujo de agua cruda en la zona de sedimentación es en forma horizontal y poseen una tasa de sedimentación que varía entre 15 y 30 $m^3/m^2/día$. Estos sedimentadores se clasifican, de acuerdo con la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados, y poseen un flujo turbulento [8].

2.6.2 Sedimentadores de flujo vertical

En los sedimentadores de flujo vertical o de tasa media la entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente y poseen una tasa de sedimentación que varía entre 45 a 60 $m^3/m^2/día$. Son de forma cilíndrica, donde en la parte inferior está ubicada la zona de lodos, que tiene forma cónica con pendiente de 45° a 60°, según la naturaleza del agua y el tratamiento aplicado. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad. Se diseñan con criterios de flujo turbulento [8].

2.6.3 Sedimentadores de alta tasa

Se refiere a sedimentaciones poco profundas, formados por una serie de tubos: circulares, cuadrados, octogonales, o sucesión de láminas paralelas, sean estas planas u onduladas, por las cuales circula el agua con flujo laminar, con lo cual se logra periodos de retención menores a 15 minutos, tasas de sedimentación entre los 120 a 180 m³/m²/día y eficiencias superiores a las usuales en sedimentadores ordinarios que poseen periodos de retención por lo general de más de 2 horas [8].

En la figura 2.2 se puede apreciar el sedimentador de flujo horizontal de forma rectangular utilizado por la empresa sanitaria Aguas Araucanía S.A para el tratamiento de aguas en la localidad de Collipulli.



Figura 2.2-Sedimentador gravitacional, PTAP Collipulli. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

2.7 Filtración

La filtración es el proceso en que se elimina toda la turbiedad que pueda quedar después del proceso de sedimentación, es decir todo lo que no precipitó. Para esto se hace necesaria la utilización de lechos filtrantes que pueden ser de arena, antracita o mixtos [8]. Los tipos de filtros que se utilizan en las plantas de tratamiento de agua potable son los filtros lentos los cuales poseen una tasa de filtración entre 7 y 14 m³/m²/día y los filtros rápidos en donde su tasa fluctúa entre 120 y 600 m³/m²/día.

2.7.1 Filtros lentos

Compuestos principalmente por un solo lecho filtrante generalmente arena, en donde el flujo desciende de forma gravitacional a una velocidad baja. El material queda retenido al pasar por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas de los granos de arena.

2.7.2 Filtros rápidos

Este tipo de filtros pueden estar compuestos por diferentes lechos filtrantes particularmente arena y antracita y pueden ser de manera gravitacional o a presión. Este tipo de filtros requiere limpiarse mediante una operación denominada retrolavado.

En la figura 2.3, se puede observar los filtros rápidos a presión existentes en planta de tratamiento de agua potable de Collipulli.



Figura 2.3 - Filtros a presión, PTAP Collipulli. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

2.8 Desinfección

En el proceso de desinfección se utilizan ciertos agregados químicos generalmente cloro en sus diversos estados para eliminar todo tipo de bacterias o agentes nocivos para la salud que puedan existir. Luego se presenta la etapa de fluoruración que consiste en la incorporación de flúor para fines médicos como fortalecimiento del tejido óseo y dentadura.

Cabe mencionar la utilización de radiación ultravioleta como método de desinfección y la alcalinización (incorporación de cal) para eliminar la acidez del agua que pudo haber dejado la inyección de coagulantes.

En las figuras 2.4 y 2.5 se pueden apreciar los equipos de cloración y fluoruración respectivamente, los cuales son utilizados en la etapa de desinfección en la PTAP Collipulli.



Figura 2.4: Equipos de cloración, PTAP Collipulli.



Figura 2.5: Equipos de fluoruración, PTAP Collipulli.

2.9 Distribución

Finalmente el agua potabilizada es almacenada, llevada a las estaciones de bombeo donde es distribuida a los hogares a través de grandes redes de tuberías.

En particular el sistema de distribución de agua potable comprende el almacenamiento, conducción, redes de distribución y arranques de agua potable, inclusive la medición, grifos públicos, u otros. Este sistema deberá ajustarse a lo establecido en la norma chilena NCh 691 "Agua Potable- Conducción, Regulación y Distribución".

2.10 Parámetros que rigen la calidad del agua

Los parámetros físicos, químicos, radioactivos y bacteriológicos que rigen la calidad del agua, deben especificarse según su uso, por lo tanto se dice que el agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real. Es por esto que se hace necesario tener normativas que restrinjan la presencia de estos factores, contar con protocolos que establezcan los métodos analíticos correspondientes para la correcta medición de cada contaminante en general, así también métodos de muestreos, envase y traslado a laboratorios.

En Chile se cuenta con la NCh 409/1 of 2005 la cual otorga los requisitos que debe cumplir el agua para ser considerada como potable, y la NCh 409/2 of 2004 que hace mención al muestreo del recurso para su respectivo análisis.

2.10.1 Parámetros físicos

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos ya sean la vista, olfato, etcétera. Guardan una relación directa con las condiciones estéticas y aceptabilidad del agua. Se destacan:

2.10.1.1 Turbiedad

Es originada por las partículas en suspensión o coloides, las cuales reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. En este trabajo se dará un mayor énfasis a este parámetro en particular.

La turbiedad se refiere a lo clara o turbia que puede estar el agua, el agua clara tiene un nivel de turbiedad bajo, mientras que el agua turbia presenta altos niveles de sólidos suspendidos totales [18].

La turbiedad es causada por partículas suspendidas en el agua, las cuales pueden ser tierra, sedimentos, aguas residuales o plancton. La turbiedad producto de la tierra se debe a la erosión o escurrimiento de tierras aledañas, en donde el movimiento de estas tierras hace que se liberen sedimentos, los cuales son el principal causante de la turbiedad. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de aguas servidas y altos niveles de plancton, que pueden deberse a la gran cantidad de nutrientes presentes en el agua [18].

La medición de la turbiedad posee varias formas, pero las principales son tres:

- Unidad Nefelométrica de Turbiedad (UNT), esta es la más usada.
- Unidad de Turbiedad de Jackson (JTU).
- Unidad de Silicio ($\text{mg SiO}_2/\text{l}$) [19].

Para este trabajo se utiliza turbiedades medidas en unidades Nefelométrica. Estas mediciones se realizan mediante un instrumento llamado Nefelómetro o Turbidímetro, el cual mide la intensidad de una luz infrarroja dispersada a 90 grados sobre una muestra de vidrio [19].

Según la norma NCh 409/1 of 2005 el agua potable debe cumplir simultáneamente con las condiciones siguientes:

- Turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT, obtenida como promedio aritmético de todas las muestras puntuales analizadas en el mes.
- De todas las muestras que se analicen mensualmente, la turbiedad puede exceder el valor de 4 UNT en:
 - El 5% cuando se analicen 20 o más muestras mensuales.
 - Una muestra, cuando se analicen menos de 20 muestras en el mes.
- Ninguna muestra podrá exceder el valor de 20 UNT.
- Muestras con turbiedad entre 10 y 20 UNT, no pueden presentarse en un mismo periodo de 24 hrs.

2.10.1.2 Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independiente de ella. Se atribuye principalmente a la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, al pH, la temperatura, el tiempo de contacto, etcétera.

2.10.1.3 Olor y sabor

Están estrechamente relacionadas y ambas constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En general la normativa vigente en todos los países establece que se debe tener un agua exenta de olor (Inodora) y exenta de sabor (Insípida). Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales.

2.10.1.4 Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, debido a que generalmente tiene incidencia en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezclas, floculación, sedimentación y filtración.

2.10.1.5 pH

Influye principalmente en la corrosión y en las incrustaciones en las redes de distribución. Cabe mencionar que no posee efectos directos sobre la salud.

En la norma NCh 409/1 of 2005. se presentan los parámetros relativos a características organolépticas que debe presentar el agua para consumo humano.

2.10.2 Parámetros químicos

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos que poseen efectos en la salud del consumidor.

El agua potable no debe contener elementos o sustancias químicas tales como el cobre, cromo, flúor, hierro, manganeso, magnesio, selenio, zinc, entre otros en concentraciones mayores que las indicadas en la norma [11].

2.10.3 Parámetros radioactivos

La tabla 6 de la norma chilena NCh 409/1 of 2005, entrega los parámetros máximos permitidos sobre las sustancias radiactivas presentes en el agua, tales como el estroncio 90, radio 226, etc.

2.10.4 Parámetros bacteriológicos

Los microorganismos del grupo coliforme es un buen indicador microbiano de la calidad del agua [11]. Según la norma NCh 409/1 of 2005 el agua potable debe cumplir simultáneamente con diferentes condiciones, pero lo en general todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable deben estar exentas de *Escherichia coli* [11].

CAPÍTULO III – MARCO TEORICO: SEDIMENTACION

3.1 Conceptos generales

Uno de los procesos más antiguos y ampliamente usados en el tratamiento del agua potable especialmente en eliminar la turbiedad, es la sedimentación. Proceso que consiste en la remoción por acción de la gravedad de las partículas que son más pesadas que el agua y que se encuentran en suspensión.

Debido a su gran eficiencia, la sedimentación es el mecanismo más importante para separar líquidos de sólidos y se utiliza para conseguir la clarificación del agua. Elevados índices de turbiedad protegen a los microorganismos de la desinfección, causando a su vez problemas en el proceso de filtración.

Las impurezas en el agua pueden encontrarse en función de su diámetro en tres tamaños distintos, como lo son las suspensiones hasta 10^{-4} (cm), coloides entre 10^{-4} (cm) y 10^{-6} (cm), y diámetros aun menores de 10^{-6} (cm). Teóricamente todas estas partículas pueden ser removidas mediante la sedimentación y pueden descender del fluido en forma diferente, según su forma y concentración.

Se denomina “sedimentación simple” cuando las partículas que sedimentan son discretas, es decir, los sólidos no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido. Este tipo de sedimentación se presenta en los desarenadores y presedimentadores como etapa previa al proceso de coagulación.

Se conoce como “sedimentación floculenta”, al sedimentar partículas aglomerables en donde los sólidos se adhieren y se aglutinan entre sí, cambiando de tamaño, forma y densidad durante la caída. Dichas partículas adquieren una velocidad de caída tal que les permite depositarse en un tiempo económicamente aceptable. Esto se presenta en los sedimentadores como etapa posterior a los procesos de coagulación y floculación.

La “sedimentación por caída libre” se presenta cuando en el agua existe una baja concentración de partículas, por lo tanto estas decantan sin interferir. En cambio cuando existen altas concentraciones de partículas se habla de “sedimentación interferida” o “sedimentación zonal”, debido a que se producen colisiones que mantiene las partículas en una posición fija por lo que ocurre una decantación en conjunto en un lugar fijo.

3.2 Velocidad de sedimentación

3.2.1 Sedimentación de partículas discretas con caída libre

La sedimentación está en función de las propiedades del fluido y las características de las partículas. En la figura 3.1 se observan las dos fuerzas a las que está sometida una partícula al descender en un líquido; fuerza de flotación (FF) la cual es el peso del volumen de agua desplazado y la fuerza gravitacional (FG).

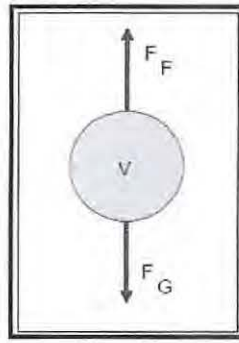


Figura 3.1- Fuerzas actuantes en una partícula [1]

Sea $F_F = \rho * g * V$ y $F_G = \rho_s * g * V$

Donde:

ρ = Densidad del agua

ρ_s = Densidad de la partícula

V = Volumen de la partícula

g = Gravedad

La partícula al estar sometida a la acción de la gravedad, estará solicitada por una fuerza resultante F_i , la cual será la diferencia entre los dos valores;

$$F_i = g * V * (\rho - \rho_s) \quad \text{ecc. 3.1}$$

La decantación producida mediante esta fuerza, produce que el líquido comience a generar fricción hacia la partícula, sometiéndola a una fuerza de roce Fr :

$$Fr = C_d * A * \rho * \frac{v_s^2}{2} \quad \text{ecc. 3.2}$$

En la cual:

C_d = Coeficiente de arrastre

A = Área transversal al escurrimiento

v_s = Velocidad de sedimentación

Luego de un tiempo relativamente corto, la aceleración de la partícula pasa a ser nula, debido a que la fuerza de roce (Fr) iguala a la fuerza de impulsión (F_i). En este instante se alcanza una velocidad constante denominada velocidad de sedimentación de Newton.

$$v_s = \sqrt{\frac{2 * g * (\rho_s - \rho) * V}{C_d * \rho * A}} \quad \text{ecc. 3.3}$$

Y para el caso de partículas esféricas:

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g * (\rho_s - \rho) * d}{C_d * \rho}} \quad \text{ecc. 3.4}$$

El coeficiente de arrastre (Cd) es una función del Número de Reynolds (Re) y su valor varía dependiendo del diámetro de la partícula y el tipo de flujo que presenta el fluido.

Con flujo laminar $Re < 1$ y $d < 0.085$ mm, se tiene que:

$$Cd = \frac{24}{Re}$$

$$\frac{\rho}{\rho_s} = Ss$$

Por lo tanto al reemplazarlo en la ecuación 3.4 se obtiene la ecuación de Stokes:

$$Vs = \frac{g}{18} * (Ss - 1) * \frac{d^2}{\mu}$$

ecc 3.5

Donde

μ = viscosidad [cm/sg]
 d =diámetro de la partícula [cm]

Con flujo turbulento $Re > 1000$ y $d > 1.0$ [mm], el valor será: $Cd = 0.4$

Por lo tanto al reemplazarlo nuevamente en la ecuación 3.4 se obtiene la ecuación de Newton:

$$Vs = \sqrt{3.3 * g * (Ss - 1) * d}$$

ecc 3.6

Para flujo de transición $1 < Re < 1000$ y 0.085 (mm) $< d < 1.0$ (mm), los valores del coeficiente de arrastre son variables y pueden determinarse según diferentes ecuaciones enunciadas en la tabla 3.1.

$$Cd = \frac{18.5}{Re^{0.6}}$$

Tabla 3.1- Ecuaciones de coeficiente de arrastre

Autor	Expresión
Rich	$Cd = \frac{18.5}{Re^{0.6}}$
Hatch	$Cd = \frac{14}{Re^{0.5}}$
Allen	$Cd = \frac{12.65}{Re^{0.5}}$
Fair-Gayer-Okun	$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$
Schiller-Newman	$Cd = \frac{12}{Re} + (1 + 0.14 * Re^{0.687})$
Goldstein	$Cd = \frac{12}{Re} + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \frac{71}{20480} Re^3$

Fuente: Elaboracion Propia, a partir de documento, Pérez, Submódulo 4.5.2. Sedimentadores laminares [2].

Fair, Geyer y Okun [3] al trabajar con las ecuaciones desarrollaron ábacos según figura 3.2 y 3.3 que permiten determinar la velocidad de sedimentación, en relación a término del diámetro y la velocidad expresados así:

En términos del diámetro (X1)

$$\left[\frac{g * (Ss - 1)}{v^2} \right]^{1/3} * d = K1 * d = X1 \tag{ecc 3.7}$$

En términos de la velocidad (X2)

$$\frac{Vs}{[g * (Ss - 1) * v]^{1/3}} = \frac{Vs}{K2} = X2 \tag{ecc 3.8}$$

El cálculo simplificado de la velocidad de sedimentación de una partícula a partir de los ábacos y las formulas descritas anteriormente, se realiza de la siguiente manera:

Conociendo las características de las partículas y del agua, se obtiene K1 y K2 de la figura 3.2, de esta manera se obtiene X1 según la ecuación 3.7. Posteriormente conocido este valor se entra al ábaco de la figura 3.3 obteniendo el valor de X2 y de esta manera según ecuación 3.8 se obtiene la velocidad de sedimentación de la partícula.

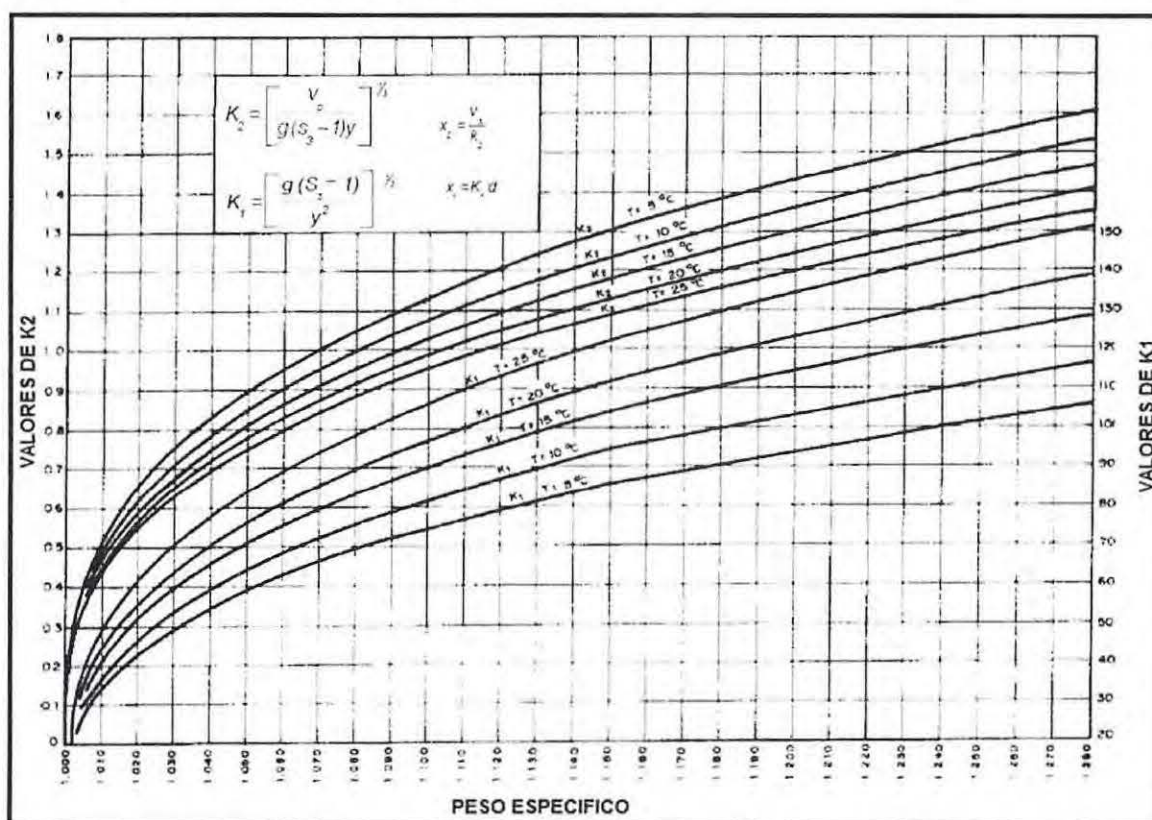


Figura 3.2- Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático [2]

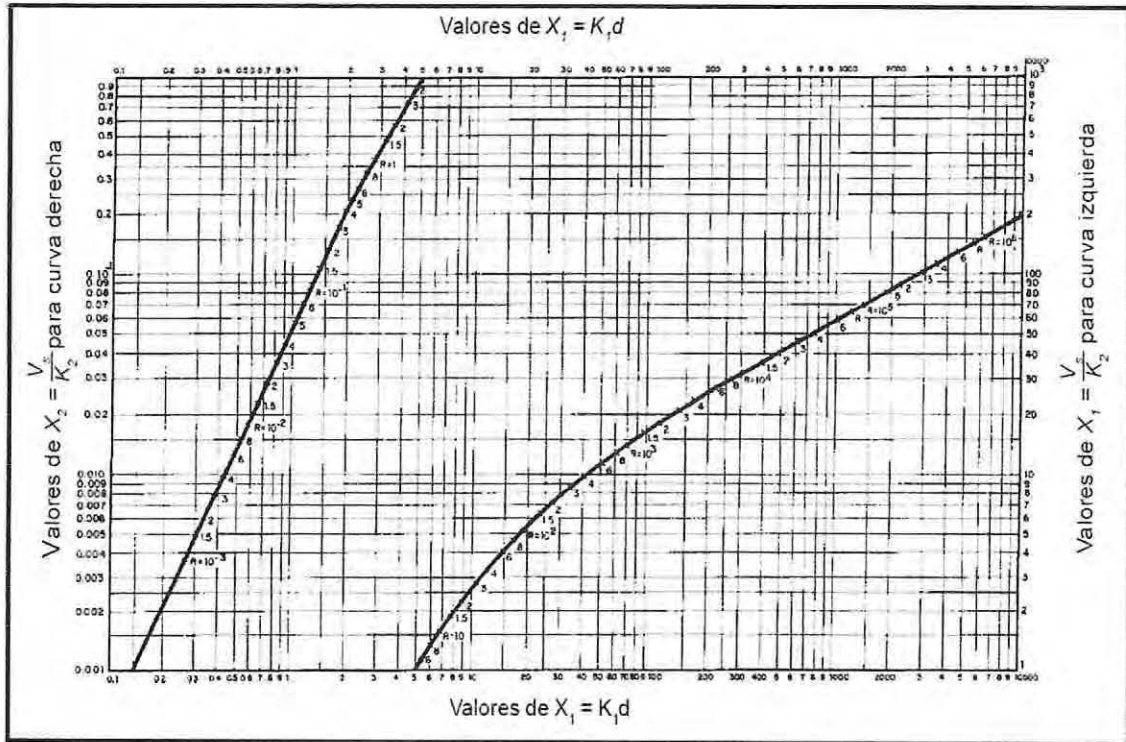


Figura 3.3- Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático [1]

3.2.2 Sedimentación de partículas aglomerables

La velocidad de sedimentación (V_s) de estas partículas no es constante, debido a que aumentan de tamaño a medida que descienden del líquido, lo que produce que dicha velocidad sea creciente con el tiempo. Esto implica que la eficiencia del sedimentador sea no solo es en función de la carga superficial, sino también del tiempo de retención.

En el caso particular de las aguas tratadas con coagulantes, se presentan flóculos formados por óxidos metálicos, agua, turbiedad y/o color, con densidades variables desde menos de 0.001 (mm) hasta 5 (mm) [1].

Por esta razón no se han podido desarrollar expresiones matemáticas que describan este proceso en forma aceptable y, por consiguiente, se recurre a ensayos experimentales en laboratorio [4].

3.2.2.1 Sedimentación de partículas aglomerables con caída libre

Hace referencia a la proporción de partículas removidas en una determinada suspensión con una concentración (C), en donde los flóculos poseen una velocidad de sedimentación V_s .

Se puede identificar la proporción adicional de partículas removidas según la ecuación 3.9.

$$R = \frac{1}{V_S} \int_0^{C_0} V * dc$$

ecc. 3.9

Así la remoción total R_t es:

$$R_t = (1 - C) + \frac{1}{V_S} \int_0^{C_0} V * dc$$

ecc 3.10

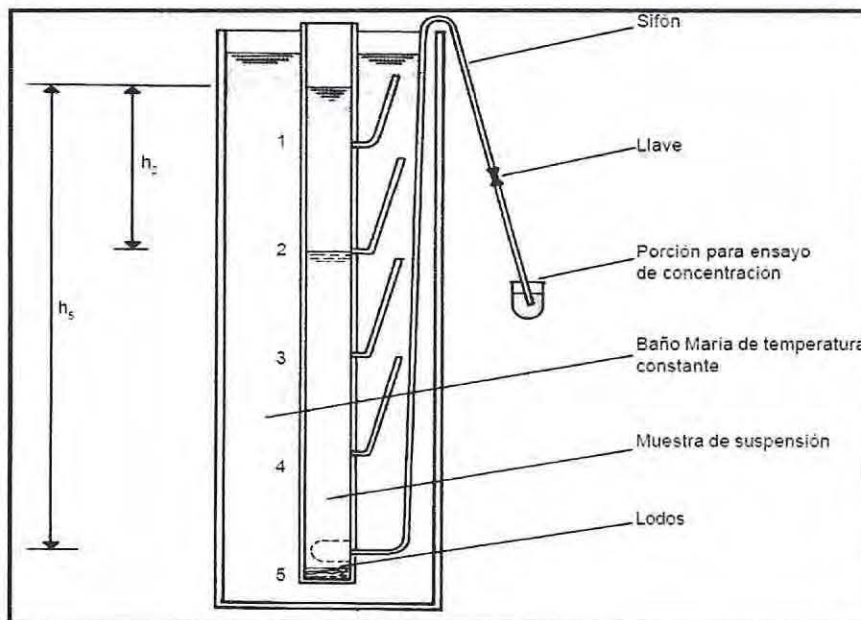
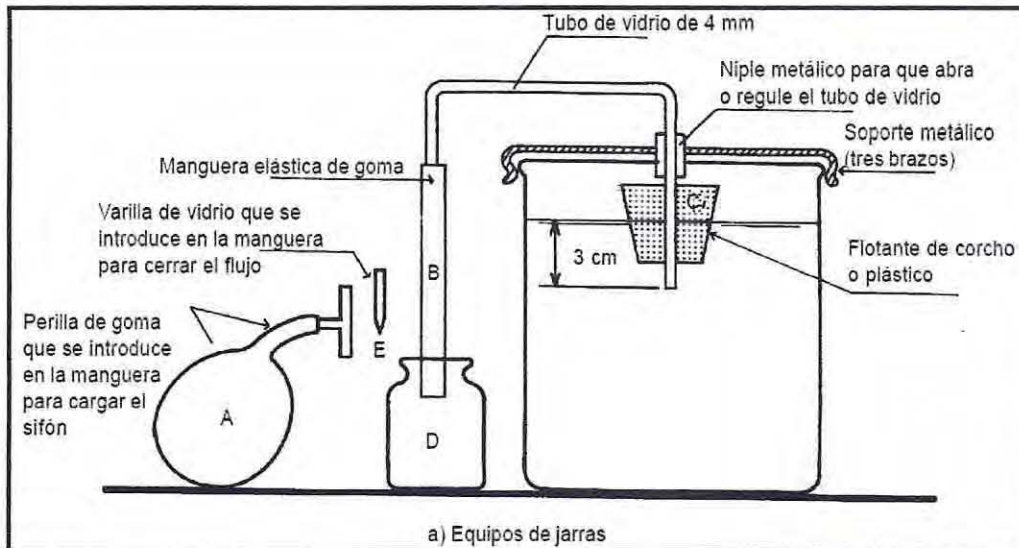


Figura 3.4- Equipo de laboratorio para ensayos de sedimentación Fuente: CEPIS

El valor de R (ecc. 3.9), se puede obtener de ensayos en laboratorios, tales como columna de sedimentación o equipo modificado de prueba de jarras (figura 3.4), que permiten obtener los parámetros relativos al comportamiento de la sedimentación de partículas floculentas y procede de la siguiente manera:

- Extraer del final del Floculador en seis jarras (beakers) muestras de agua del mismo volumen cada una, procurando no romper el floc [4].
- Agitar todas las muestras simultáneamente hasta mantener una concentración uniforme de partículas en cada jarra. Esta operación debe hacerse rápidamente para no aumentar el periodo de floculación [4].
- Luego con una pipeta volumétrica o con el sifón según figura 3.4, se toma una muestra de agua de cada jarra a intervalos regulares de tiempo. La profundidad a la que se tome debe ser la misma al igual que la velocidad de extracción [4].
- Con los resultados obtenidos se realiza un gráfico, el cual se relaciona con la turbiedad remanente en cada jarra T_T después del tiempo t con la turbiedad inicial T_0 , dibujando T_T/T_0 en las ordenadas y la velocidad de sedimentación para cada jarra, en las abscisas. La curva que se obtiene es de la forma según figura 3.5 [4].

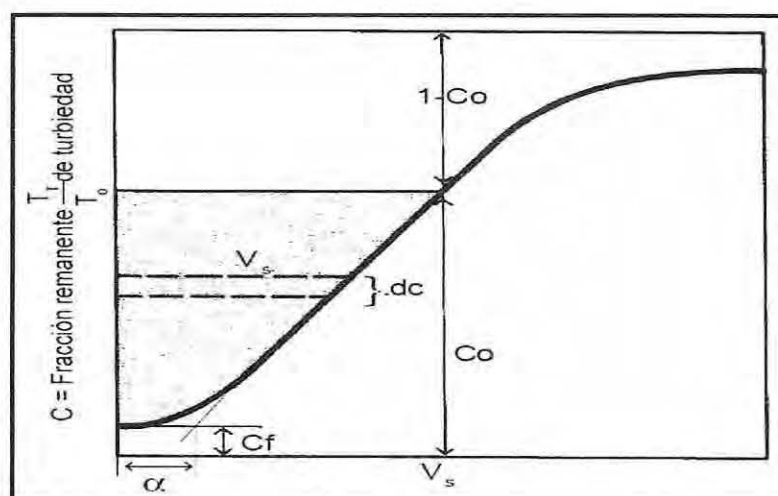


Figura 3.5- Curva de variación de eficiencia Fuente: CEPIS

Simplificando el análisis, teniendo en cuenta que no todas las partículas serán removidas y en la unidad siempre habrá una concentración de partículas se tiene que el primer término de la ecuación 3.10 será:

$$(1 - C) = [1 - (C_0 - C_f)]$$

ecc 3.11

Luego el segundo termino de dicha ecuación es el área sombreada de la figura 3-5:

$$\frac{1}{V_s} \int_0^{C_0} V * dc = \frac{a + V_s}{2V_s} * (C_0 - C_f)$$

De esta forma se obtiene la remoción total:

$$R_t = [1 - (C_o - C_f)] + \frac{a + V_s}{2V_s} (C_o - C_f)$$

3.2.2.2 Sedimentación de partículas aglomerables con caída interferida

Cuando existe una alta concentración de partículas floculentas, estas se adhieren y sedimentan de manera simultánea debido a que se encuentran a distancias reducidas, produciendo una separación entre los flocúlos y la superficie.

Klinch establece las hipótesis fundamentales para la decantación interferida y divide la sedimentación en diferentes zonas. Estas se pueden observar al llenar una columna de sedimentación con suspensión floculenta, registrando la altura de la capa superior de los lodos en diferentes intervalos de tiempo obteniendo así una curva característica según figura 3.6.

Zona A-B la superficie de separación es muy definida, siendo esta fase de coalescencia de los flocúlos seguida de una pequeña zona de decantación libre. (Esta zona no se produce con frecuencia).

Zona B-C posee una pendiente rectilínea, a cual corresponde a una velocidad de asentamiento de flocúlos de manera constante definida únicamente por el tipo de floculación y la concentración de las partículas. Si se incrementase la concentración inicial de las partículas disminuye la velocidad; esta zona se conoce como "decantación frenada".

Zona C-D aquí se produce la disminución progresiva de la velocidad de caída y se denomina como zona de "desaceleración" o "transición".

Zona D-E en esta zona los flocúlos se tocan y ejercen presión sobre las capas inferiores, se le denomina como zona de "compresión".

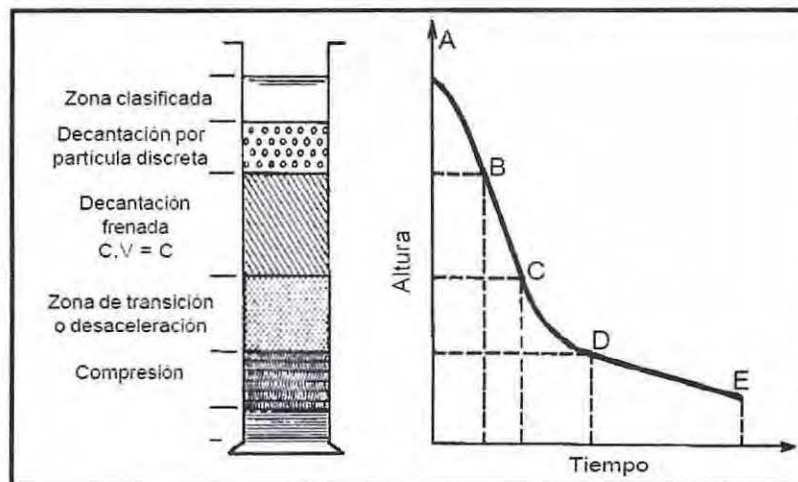


Figura 3.6- Sedimentación con caída interferida Fuente: CEPIS

En la práctica los sedimentadores utilizados son estructuras por los cuales circula el caudal de diseño de la planta de tratamiento alejándose de la hipótesis de líquido en reposo. Pero con el fin de acercarse a la idealización enunciada, se proyectan unidades con velocidad de pasaje lo suficientemente reducidas.

Algunos tipos son; sedimentadores de flujo horizontal, sedimentadores de flujo vertical o de mantos de lodos y los sedimentadores de alta tasa. Para el caso de este trabajo solo se describirán teóricamente los sedimentadores de flujo horizontal y los de alta tasa.

3.3 Sedimentadores de flujo horizontal

Se denominan así ya que el flujo de agua cruda que circula en la zona de sedimentación es en forma horizontal y se desplaza de un punto a otro con una velocidad constante V_h , mientras que las partículas descienden con una velocidad V_s . Estos sedimentadores se clasifican, de acuerdo con la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados, poseen un flujo turbulento.

3.3.1 Zonas de un sedimentador de flujo horizontal

Un sedimentador de flujo horizontal posee las siguientes zonas:

- **Zona de entrada y distribución de agua**

Tiene como finalidad lograr la uniformidad de las líneas de flujo de agua hacia la zona de sedimentación evitando así las interferencias entre flujos.

Cabe destacar que esta uniformidad puede verse alterada debido a que no existe disipación de energía en el tabique divisorio del floculador o a que los orificios de entrada del flujo sean muy grandes.

- **Zona de sedimentación**

En esta zona el flujo debe estar estabilizado y tender a un flujo laminar, de tal manera que las líneas de flujo tengan una trayectoria homogénea. Esta es la zona donde se enmarcara el presente trabajo.

- **Zona de salida**

Es donde llega el fluido clarificado de manera uniforme y con una velocidad que evite el arrastre de flocúlos en el efluente, el cual posteriormente es transportado hacia el proceso de filtración.

- **Zona de depósito de lodos**

Zona en la cual las partículas decantadas se depositan, y son removidas. Esta cantidad de lodos varía en proporción directa con la cantidad de coagulantes usados [4].

En la figura 3.7 se observa la planta y corte longitudinal de un sedimentador de flujo horizontal, que muestra claramente las zonas anteriormente descritas.

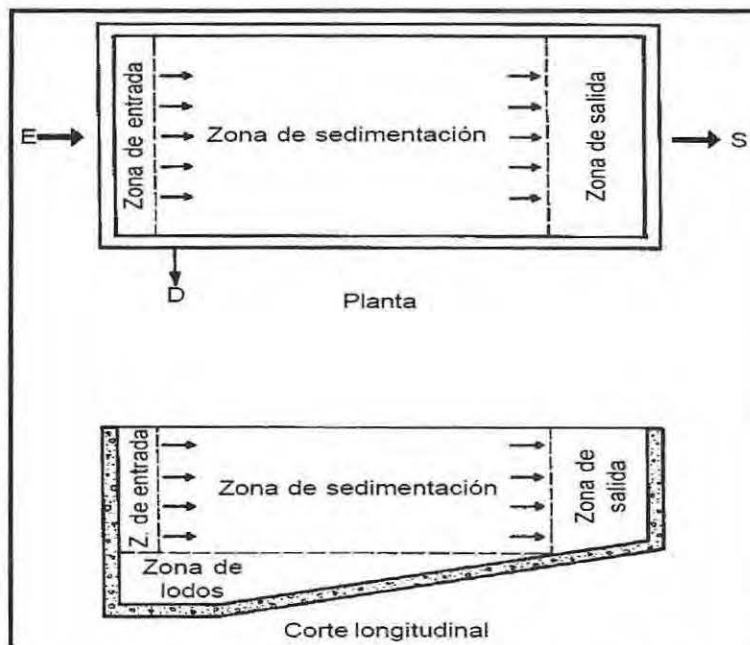


Figura 3.7- Zonas de un sedimentador Fuente: CEPIS

3.3.2 Criterios de diseño en la zona de sedimentación

Un tanque ideal, es un sedimentador hipotético en el cual la decantación se realiza exactamente en la misma manera que en un recipiente de igual profundidad que contenga un líquido en reposo [5].

En este tipo de sedimentadores, el flujo de agua se traslada de forma homogénea y las partículas que entran en esta zona se someterán a dos velocidades, la velocidad horizontal del fluido (V_h) y su propia velocidad de sedimentación (V_s). Ver figura 3.8

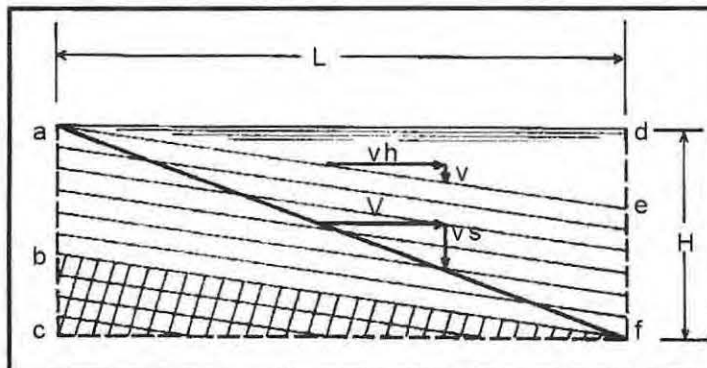


Figura 3.8- Trayectoria ideal de partículas discretas Fuente: CEPIS

Según Camp [5], se establecen algunas restricciones para el análisis de este tipo de sedimentadores:

- Al entrar, la dirección del flujo es horizontal y la velocidad homogénea en toda la zona de sedimentación.
- La concentración de partículas de cada tamaño es la misma en todos los puntos de la zona de sedimentación.
- Las partículas que tocan la zona de lodos son removidas.

Entonces se define tiempo de retención (T_o), como el tiempo en el cual la partícula llega al fondo del sedimentador y se expresa de la siguiente manera:

$$T_o = \frac{V}{Q}$$

ecc.3.14

Donde V= volumen del sedimentador
Q= caudal de diseño

Como el volumen del sedimentador es igual al área superficial A_s por la profundidad del decantador H, se tiene:

$$T_o = \frac{A_s * H}{Q}$$

ecc. 3.15

Luego, de la figura 3.8 se puede establecer una semejanza de triángulos que relaciona las velocidades del fluido y la partícula con las condiciones geométricas de la zona de sedimentación:

$$\frac{V_h}{V_{sc}} = \frac{L}{H}$$

ecc 3.16

Y como la partícula posee un movimiento homogéneo:

$$V_{sc} = \frac{H}{T_o}$$

ecc 3.17

Finalmente reemplazando la ecuación 3.15 en ecuación 3.17, se obtiene lo que se conoce como "carga superficial", la cual nos indica la velocidad de sedimentación crítica (V_{sc}) a partir de la cual las partículas serán removidas:

$$V_{sc} = \frac{Q}{A_s}$$

ecc 3.18

Teniendo en cuenta estos principios básicos, se establece que todas las partículas con una velocidad de sedimentación $V_s \geq V_{sc}$ sedimentaran, pero las que posean velocidades de sedimentación $V_s < V_{sc}$ serán removidas en proporción V_s/V_{sc} . Esta relación se conoce como el Número de Hazen.

En la práctica no existen sedimentadores que sean ideales, según lo expuesto anteriormente, debido a que cada unidad trabaja sometida a diferentes condiciones y variables que no están consideradas en la teoría [4].

3.3.3 Variables que influyen en el proceso de sedimentación

3.3.3.1 Corrientes de densidad

Son corrientes que se producen por la diferencia de densidad en la masa de agua. Aquí se distinguen las corrientes térmicas y las corrientes de concentración.

Las corrientes térmicas se producen por los cambios de temperatura que puedan existir entre la masa de agua presente en el sedimentador y el flujo de agua que entra a este. Cuando el agua llega al sedimentador con una temperatura más baja, posee una mayor densidad, por ende desplaza la masa de agua que está más abajo, provocando las "corrientes de fondo" que traen como consecuencia el arrastre de partículas de lodos [4].

En cambio, si la masa de agua que llega al sedimentador posee una temperatura más alta, se generan las "corrientes superficiales". Esto se debe al desplazamiento de la masa de agua que está más arriba, generando como consecuencia la interrupción de la decantación de las partículas [4]. Ver figura 3.9 a

Por otro lado, las corrientes de concentración se producen por las diferencias de concentración de partículas suspendidas en las distintas masas de agua. Estas corrientes por lo general provocan más fuerzas que las corrientes térmicas [4]. Ver figura 3.9 b.

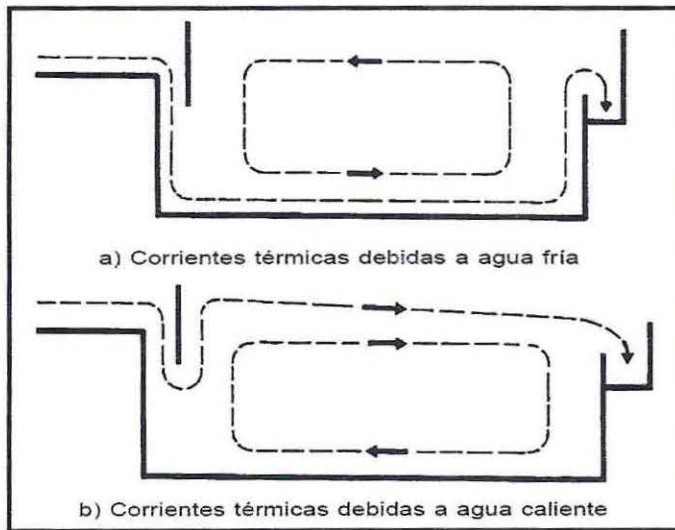


Figura 3.9- Corrientes térmicas Fuente: CEPIS

3.3.3.2 Corrientes de viento

El viento al soplar sobre la superficie de los sedimentadores, produce las denominadas corrientes de viento, las cuales poseen una intensidad tal capaz de inducir cambios en la dirección del flujo y alterar el equilibrio de las masas de agua [4].

3.3.3.3 Corrientes cinéticas

Las corrientes cinéticas pueden producirse por alteraciones en la zona de entrada, obstrucciones en la zona de sedimentación y/o diseño impropio de la zona de salida. [4].

Las alteraciones en la zona de entrada se deben a una velocidad excesiva del flujo en la entrada del sedimentador, esto puede ser provocado por la distribución desigual de la masa de agua que entra, ya sea por orificios de diferentes tamaños, vertederos en malas condiciones o la falta de pérdida de energía del fluido en los tabiques del floculador, saliendo así con diferentes gradientes de velocidad, los cuales pueden producir corrientes como las indicadas en la figura 3.10 a.

Por otro lado, las obstrucciones en la zona de sedimentación ya sea columnas o vigas que quedan sumergidas, pueden considerablemente bajar la eficiencia del sedimentador. Es por este motivo que actualmente se trata de no colocar ninguna obstrucción en esta zona para que el flujo que circule por aquí no altere su trayectoria.

Finalmente, el diseño impropio de la zona de salida, es una de las causas más frecuentes en la aparición de corrientes cinéticas en los sedimentadores. Las canaletas de longitud pequeña, con mala nivelación o impropiamente diseñadas producen cortocircuitos hidráulicos y zonas muertas que pueden inutilizar grandes áreas del sedimentador como se observa en la figura 3.10 b [4].

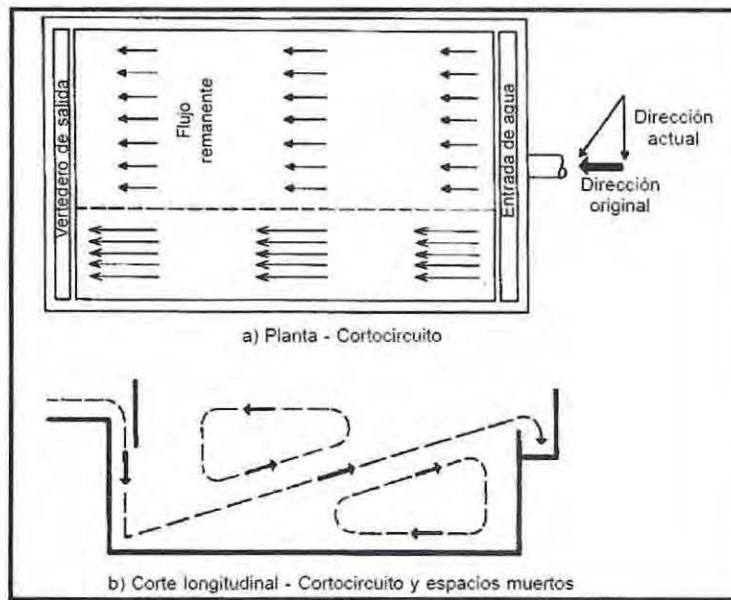


Figura 3.10- Corrientes cinéticas Fuente: CEPIS

3.3.4 Tipos de sedimentadores de flujo horizontal

Como se planteó anteriormente, los sedimentadores de flujo horizontal se clasifican de acuerdo a la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados.

3.3.4.1 Sedimentadores rectangulares

Sedimentadores rectangulares (figura 3.11), poseen por lo general una zona de entrada ubicada al principio de la unidad que permite la distribución uniforme del flujo, una zona de sedimentación que

se encuentra en medio de la estructura la cual está diseñada bajo parámetros de volumen, longitud y condiciones de flujo para permitir la sedimentación de las partículas según lo descrito anteriormente. También una zona de salida del agua clarificada que esta constituida por vertederos, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas, finalmente una zona de recolección de lodos la cual está constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica. En particular poseen la ventaja que permiten una implementación más compacta, aunque su costo es más elevado. Normalmente poseen una relación longitud/ancho comprendida entre 3 y 6 y una profundidad de 2.5 a 4.0 metros, su periodo de retención por lo general es más de 2 horas [1].

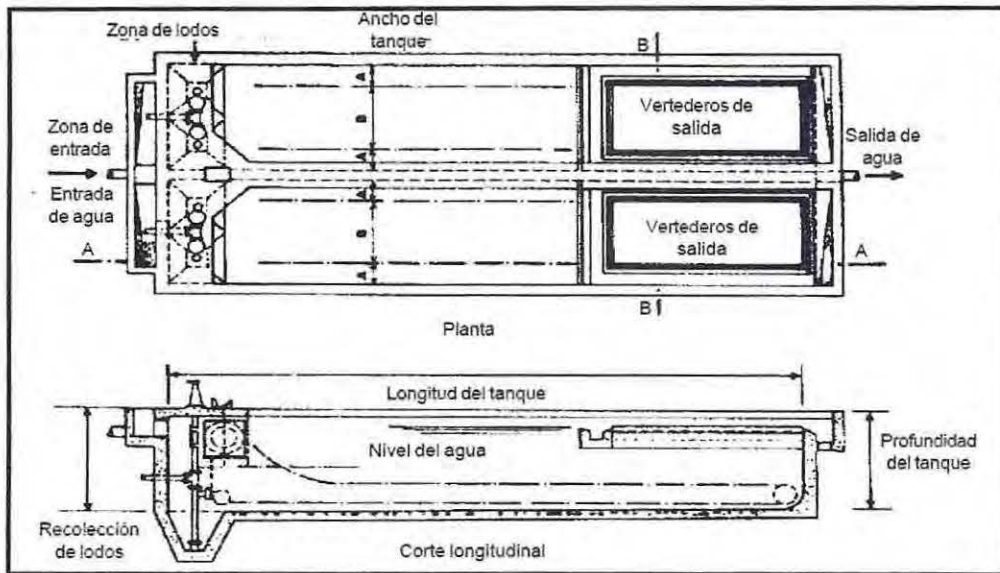


Figura 3.11- Sedimentador rectangular Fuente: CEPIS

3.3.4.2 Sedimentadores circulares o cuadrados

Sedimentadores de forma circular o cuadrada disponen normalmente de una zona de entrada ubicada en el centro de la unidad. Están provistos generalmente de una pantalla deflectora que desvía el agua hacia el fondo de la unidad. Poseen canaletas (periféricas y/o radiales) para la recolección de agua sedimentada. El fondo es inclinado hacia el centro de la unidad, donde se ubica un sumidero para la recolección de lodos. La profundidad normal de estas unidades está comprendida entre 2.0 y 3.5 metros [1].

En la figura 3.12, se puede apreciar la planta y dos cortes tipos de un sedimentador circular. Generalmente este tipo de sedimentadores es ocupado para el tratamiento de aguas servidas.

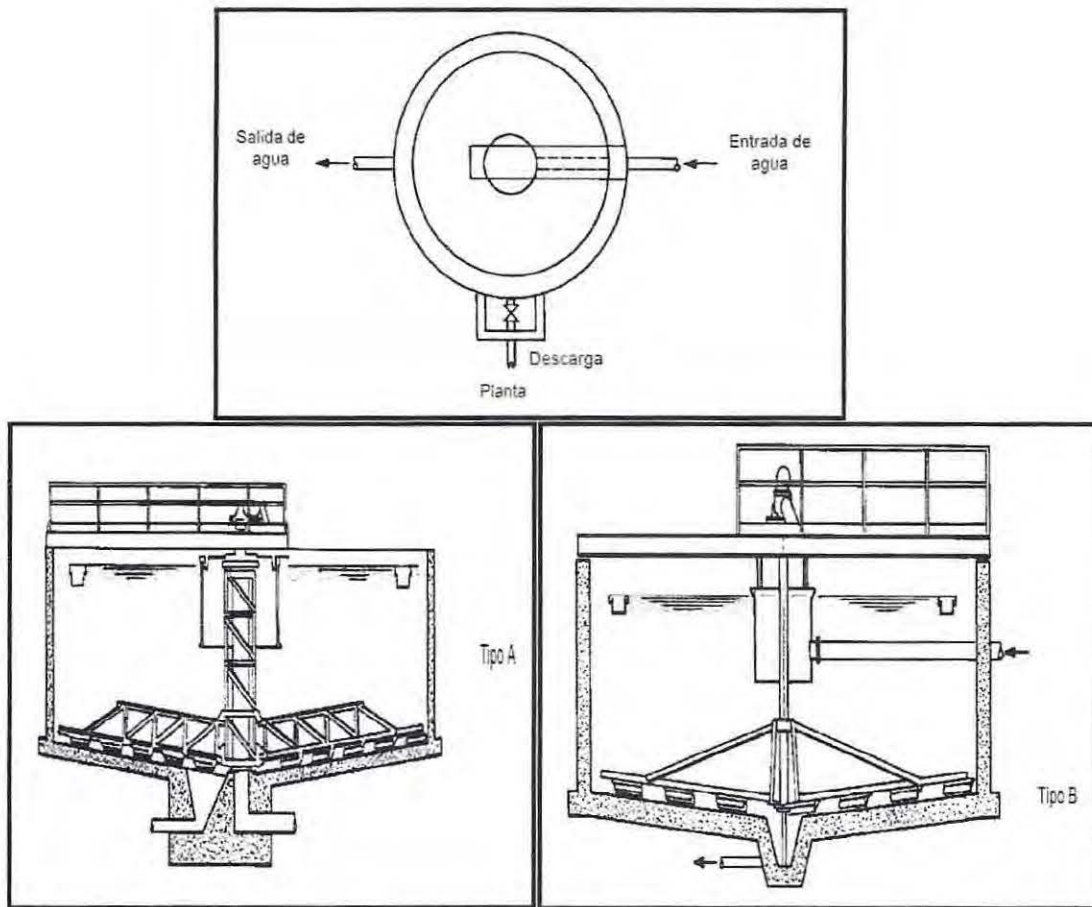


Figura 3.12- Sedimentador circular Fuente: CEPIS

En los diferentes tipos de unidades de flujo horizontal, la remoción de los lodos o sedimentos puede hacerse en forma intermitente (para pequeñas instalaciones o agua relativamente clara) o continua (donde se utilizan los sistemas mecánicos denominados barrelos).

3.4 Sedimentadores de alta tasa

De acuerdo a la teoría presentada anteriormente en la zona de sedimentación, la eficiencia en los sedimentadores convencionales de flujo horizontal depende principalmente de su área superficial y no de su profundidad. Teniendo en cuenta este concepto, si se introduce una placa intermedia B-B' a una altura (h) a partir de la superficie, se logra que partículas con velocidades de sedimentación (V_{sb}) menores a la velocidad de sedimentación crítica (V_{sc}) sean removidas, como se observa en la figura 3.13. De esta manera se puede afirmar que al aumentar el área superficial aumenta la capacidad de sedimentación.

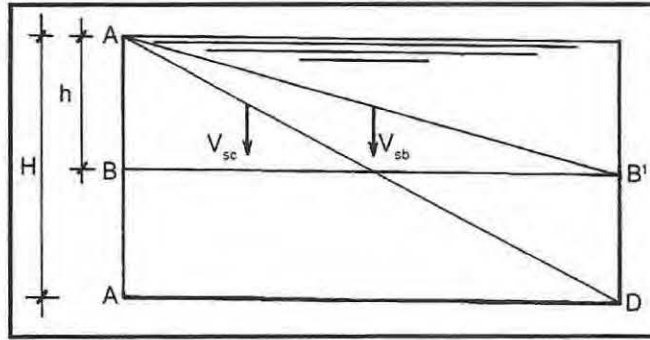


Figura 3.13- Efecto al introducir placas intermedias Fuente: CEPIS

Los sedimentadores de alta tasa consisten esencialmente en una serie de tubos (circulares, cuadrados o hexagonales) o láminas planas paralelas colocadas en un ángulo θ de inclinación, de tal modo que el agua ascienda por las celdas con un flujo laminar [4].

En general, son tres los efectos que favorecen al proceso de sedimentación en este tipo de unidades:

- El aumento del área de sedimentación.
- La disminución de la altura de caída de la partícula.
- Régimen de flujo laminar.

3.4.1 Trayectoria de una partícula en placas paralelas

La trayectoria que lleva una partícula en el interior de un sedimentador formado por dos placas paralelas con una inclinación θ con respecto a la horizontal, figura 3.14, está en función de la velocidad media del fluido V_0 y la velocidad de sedimentación crítica de la partícula V_{sc} [12]

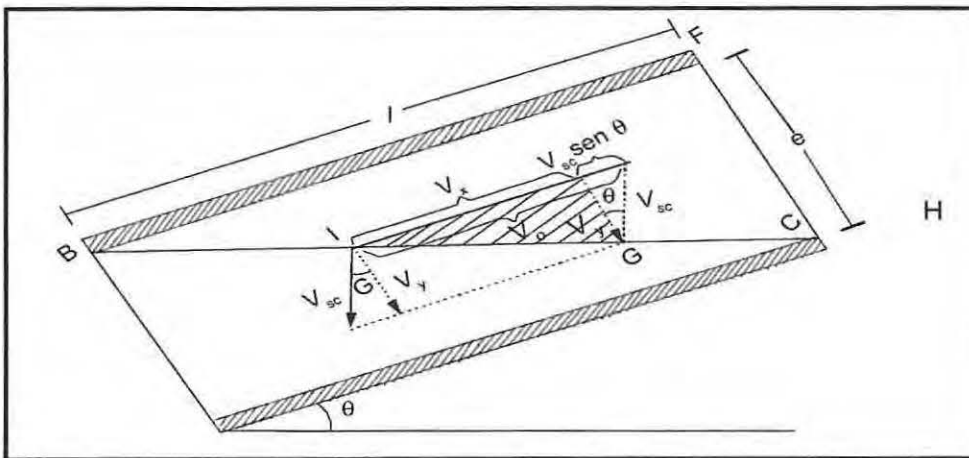


Figura 3.14- Trayectoria de una partícula en placas paralelas inclinadas [2]

De acuerdo a la figura 3.14, la velocidad resultante que determina la trayectoria de la partícula puede descomponerse en dos componentes V_x y V_y .

Por semejanza de triángulos se puede establecer que:

$$\frac{e}{V_y} = \frac{l}{V_x} \quad \text{ecc.3.19}$$

De donde:

$$V_x = \frac{l}{e} * V_y \quad \text{ecc.3.20}$$

Considerando la longitud relativa:

$$L = \frac{l}{e} \quad \text{ecc.3.21}$$

y sustituyendo en la ecuación 3.20, se tiene que:

$$L * V_y = V_x \quad \text{ecc.3.22}$$

Luego, las velocidades al descomponer V_{sc} según los ejes X e Y son:

$$V_y = V_{sc} * \cos \theta \quad \text{ecc.3.23}$$

$$V_x = V_o - V_{sc} * \sin \theta \quad \text{ecc.3.24}$$

Ahora, reemplazando los valores de las velocidades obtenidas en ecuación 3.22 se tiene que:

$$L(V_{sc} * \cos \theta) = V_o - V_{sc} * \sin \theta \quad \text{ecc.3.25}$$

Finalmente despejando V_{sc} , se obtiene:

$$V_{sc} = \frac{V_o}{\sin \theta + L * \cos \theta} \quad \text{ecc.3.26}$$

De acuerdo al modelo presentado por Camp (ecc. 3.18), la carga superficial de un sedimentador Q/A es igual a la velocidad de sedimentación crítica de las partículas V_{sc} . En base a este concepto Yao [12] establece que para poder aplicar el concepto de carga superficial a los sedimentadores de alta tasa el modelo necesita una generalización, y concluye que el parámetro que caracteriza su comportamiento esta dado por el valor "S":

$$S = \frac{V_{sc}}{V_o} (\sin \theta + L * \cos \theta) \quad \text{ecc.3.27}$$

Por lo tanto, la velocidad de sedimentación crítica es:

$$V_{sc} = \frac{S * V_o}{\sin \theta + L * \cos \theta}$$

ecc.3.28

El parámetro S es una constante que depende del tipo de sedimentador. Para cada flujo existe un valor crítico de S llamado Sc, por lo que cualquier partícula suspendida con un valor de $S \geq S_c$ será removida.

En la tabla 3.2, se puede apreciar los valores críticos de S para diferentes tipos de módulos empleados en sedimentadores de alta tasa.

Tabla 3.2- Valores de S según el tipo de módulo [2]

Tipo de módulos	Sc
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	1.33
Tubos cuadrados	1.38
Placas planas paralelas	1.30
Otras formas tubulares	1.33 - 1.42

Fuente: Elaboración Propia, a partir de documento, Pérez, Submódulo 4.5.2. Sedimentadores laminares [2].

En general, en el diseño de sedimentadores se considera como parámetro principal la carga por unidad de superficie, la cual representa la velocidad crítica de caída de una partícula. De esta forma teóricamente cualquier partícula con velocidad igual o mayor a la crítica será automáticamente removida.

En la ecuación 3.28 la velocidad de sedimentación crítica del fluido viene expresada en cm/sg, ahora si se multiplica por la relación $86400/100=864$, se convierte la velocidad de sedimentación crítica en carga superficial equivalente o tasa de sedimentación (q) a $m^3/m^2/día$ [4].

$$q = \frac{864 * S * V_o}{\sin \theta + L * \cos \theta}$$

ecc.3.29

De la ecuación anterior se puede obtener el valor de la relación de la longitud ideal de sedimentación con flujo laminar [4].

$$L = \frac{1}{\cos \theta} \left[\frac{864 * S * V_o}{q} - \sin \theta \right]$$

ecc.3.30

3.4.2 Factores que influyen en el proceso

Los principales factores que influyen en la eficiencia de los sedimentadores de alta tasa son:

- Longitud relativa.
- Flujo laminar.
- Inclinación de las placas.
- Tasa de sedimentación.

3.4.2.1 Longitud relativa

La longitud relativa (ecc.3.21) tiene una importancia especial en la eficiencia del sedimentador. Si la relación entre el espaciamiento (e) y la longitud de las placas (l) es muy pequeña, cada celda actuaría como un sedimentador convencional a baja velocidad. Mientras que si esta relación aumenta, V_{sc}/V_o (ecc.3.31) tiende a cero y la eficiencia se hace mayor [4].

$$\frac{V_{sc}}{V_o} = \frac{S_c}{\sin \theta + L * \cos \theta}$$

ecc.3.31

En la figura 3.15 muestra la variación de V_{sc}/V_o en función de la longitud relativa L para placas inclinadas con ángulos $\theta=20^\circ$ y $\theta=40^\circ$. Se puede observar que el valor de la velocidad crítica de sedimentación disminuye rápidamente con el aumento de la longitud relativa, esto implica un aumento considerable en la eficiencia hasta un $L=20$, a partir de este valor la eficiencia aumenta muy lentamente, es decir la remoción de partículas en este tramo no es significativa.

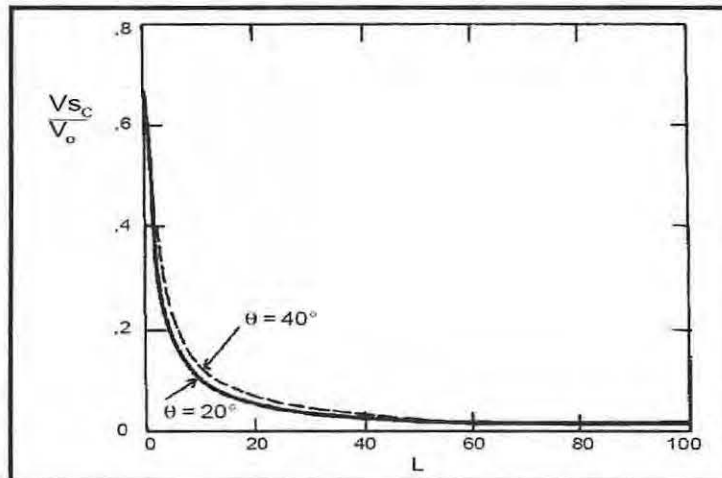


Figura 3.15- Eficiencia sedimentador de placas en función de la longitud relativa [2]

3.4.2.2 Flujo laminar

Un sedimentador puede trabajar como alta tasa o alta velocidad siempre y cuando el flujo que exista entre sus celdas sea laminar, esto se produce para número de Reynolds (Re) < 500 . Cabe destacar que algunos diseñadores toman el establecimiento de flujo laminar como el principal criterio de diseño [4].

El número de Reynolds es calculado por la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4 * Rh * Vo}{\mu}$$

ecc.3.32

Donde:

Rh = Radio hidráulico (cm)
Vo = velocidad media del flujo (cm/sg)
 μ = Viscosidad (cm^2/sg)

A su vez el radio hidráulico se define como:

$$Rh = \frac{b * d}{2 * (b + d)}$$

ecc.3.33

Donde:

b = Ancho del modulo de sedimentación (cm)
d = Espaciamiento entre placas (cm)

Se debe tener en cuenta la turbulencia que se produce a la entrada de las celdas del sedimentador, debido a que en una distancia relativa L' no se establece flujo laminar [12]. Es por esta razón que a la longitud de sedimentación debe agregarse dicha longitud, la cual corresponde a la región de transición hasta que todo el flujo se vuelva laminar, tal como se observa en la figura 3.16.

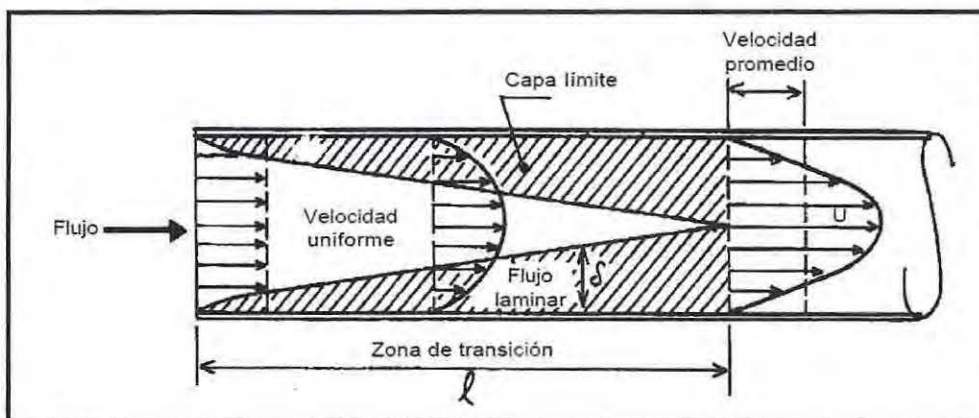


Figura 3.16- Desarrollo de la capa límite caracterizando la zona de transición [2]

Se define la longitud relativa L' para la región de transición para ductos circulares, la cual también es aplicada para el caso de placas paralelas como:

$$L' = 0.058 * Re$$

ecc.3.34

Para efectos de diseño, el valor de L' deberá sumarse a la longitud relativa L de los conductos, lo cual resulta como un coeficiente de seguridad. Por lo tanto la longitud total L_t será:

$$L_t = L + L'$$

ecc.3.35

3.4.2.3 Inclínación de las placas

La inclinación de las placas, es decir el ángulo θ que forman con la horizontal, es el otro factor que caracteriza el comportamiento de los sedimentadores de alta tasa. En la figura 3.17 se observan los resultados experimentales del sedimentador de placas planas de la planta de tratamiento de agua de Ecuador, cuando se varía la inclinación. Se puede observar que se presenta una disminución del rendimiento cuando el ángulo aumenta sobre los 40° .

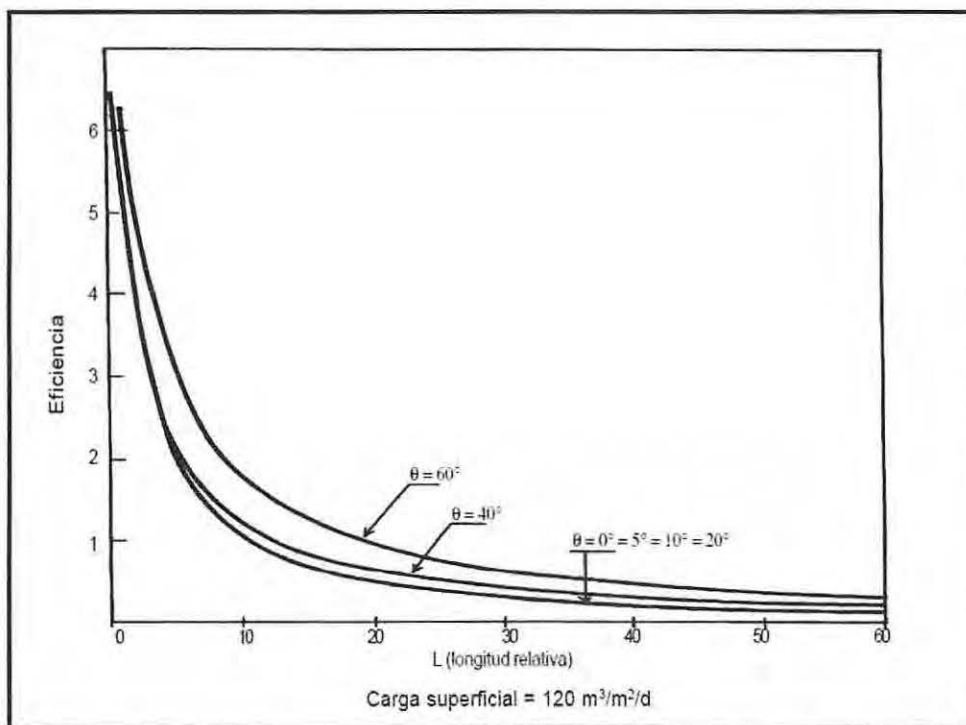


Figura 3-17- Variación de la eficiencia del sedimentador en función del ángulo de inclinación [2]

La inclinación recomendada es $\theta=60^\circ$, ya que permite una continua y eficiente remoción de lodos [4].

3.4.2.4 Tasa de sedimentación

La tasa de sedimentación también conocida como carga superficial, representa la velocidad crítica de sedimentación de una partícula. Debido a que las cargas normales varían entre 60 y 240 $m^3/m^2/día$, con valores medios de 120 a 180 $m^3/m^2/día$, se recomienda determinar la velocidad de sedimentación mediante ensayos de laboratorio para poder fijar las cargas superficiales de diseño para este tipo de unidades.

En la sedimentación de alta tasa la eficiencia disminuye a medida que la carga superficial en las celdas aumenta [4]. En la figura 3-18, usando la teoría de Hazen, Yao [13] compara las curvas de comportamiento obtenidas según dicha teoría en sedimentadores horizontales, y las de los decantadores tubulares.

En ella se aprecia que para cargas superficiales bajas, menores a 40 $m^3/m^2/día$ los sedimentadores convencionales son más eficientes que los sedimentadores laminares. Mientras que para altas cargas superficiales la sedimentación de alta tasa es siempre más eficiente que la convencional.

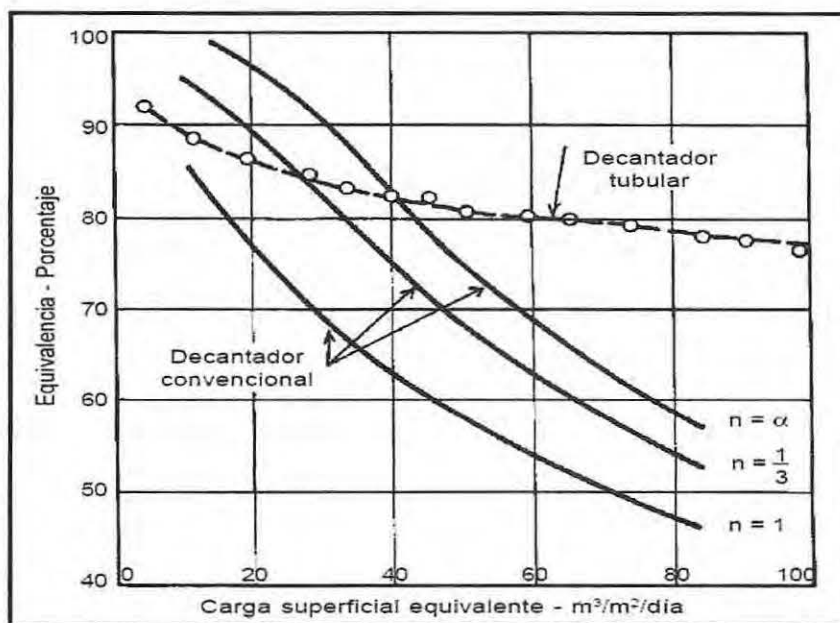


Figura 3-18- Comparación entre un decantador convencional y un decantador tubular [13]

3.4.3 Tipos de sedimentadores de alta tasa

Los sedimentadores de alta tasa pueden clasificarse según la dirección del flujo en:

- Sedimentadores de alta tasa de flujo horizontal.
- Sedimentadores de alta tasa de flujo inclinado.

3.4.3.1 Sedimentadores de alta tasa de flujo horizontal

En este tipo de sedimentadores el flujo que entra al sistema es o tiende a ser horizontal y pueden ser de placas horizontales o levemente inclinadas. Al diseñarse con una inclinación pequeña, presenta una gran eficiencia remocional, pero la eliminación de lodos es más compleja debido a que se debe invertir el flujo para realizar la limpieza del sedimentador, utilizando el flujo de lavado de los filtros [14]. Este tipo de sedimentadores de alta tasa se utiliza principalmente en plantas de tratamiento de pequeña capacidad y se opta por esta solución nada más que por un fin económico.

3.4.3.2 Sedimentadores de alta tasa de flujo inclinado

Este tipo de sedimentadores es el más usado. Generalmente, en la parte inferior del decantador se presenta una zona de distribución de agua. En la parte media existen módulos inclinados con un ángulo de 60° . El agua decantada se recolecta lateralmente en la parte superior [15]. Este tipo de sedimentadores a su vez puede dividirse en:

i. De flujo ascendente

En donde la entrada del agua se realiza desde la parte inferior del decantador hacia la parte superior, según figura 3.19. Este tipo de sedimentadores son los más usados, ya que presentan una fácil recolección del agua clarificada y una correcta evacuación de lodos de forma gravitacional, por tanto necesitan una limpieza ocasional [4].

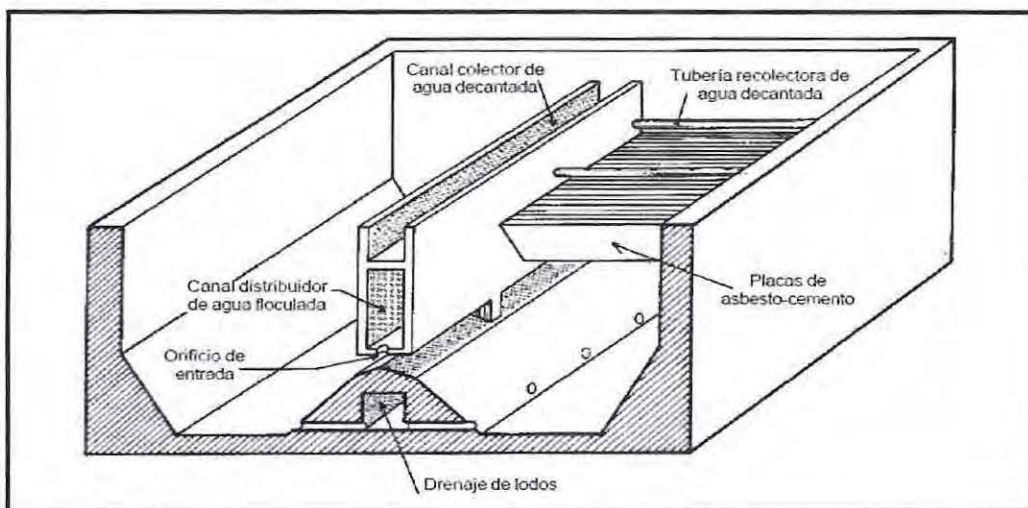


Figura 3.19: Sedimentador de placas de flujo ascendente [15]

ii. De flujo descendente

En estas unidades el flujo entra en la parte superior del sistema y desciende a través de un conjunto de placas paralelas. Son más eficientes que las de flujo ascendente. El mayor problema radica en el sistema de recolección del agua decantada, debido a que el agua clarificada se debe extraer mediante bandejas o tubos colocados al nivel inferior de las placas [13], según figura 3-20.

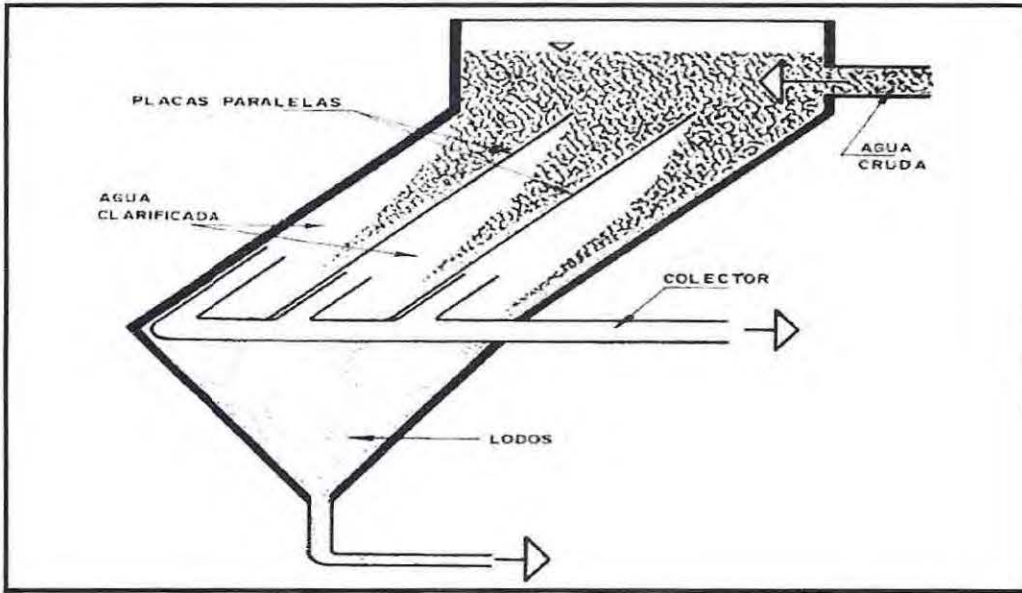


Figura 3-20- sedimentador de placas de flujo descendente Fuente: CEPIS

CAPÍTULO IV – ANÁLISIS SEDIMENTADORES CONVENCIONALES

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron dos PTAP ubicadas en diferentes sectores. Una en la comuna de Collipulli, Provincia de Malleco y la otra en la comuna de Gorbea, Provincia de Cautín, ambas en la Región de la Araucanía.

Gracias a los datos otorgados por Aguas Araucanía S.A se procedió a realizar un análisis de ambas plantas referente a la turbiedad que entra y sale del sedimentador, de esta manera obtener un parámetro que permita establecer el funcionamiento actual de dichas unidades.

4.1 PTAP Collipulli.

4.1.1 Descripción general

El abastecimiento de este sistema se genera a través de la operación de una captación superficial sin barrera ubicada en el río Malleco (Figura 2.1, página 21).

Luego de pasar por el desarenador, el agua captada en el río es conducida a través de una aducción hasta la planta elevadora Río Malleco, la cual impulsa el agua por medio de una conducción de alta presión y luego una de baja presión hasta la PTAP Collipulli. A la cabecera de esta, el agua cruda debe ser reelevada por medio de una planta elevadora, que da al sistema la presión suficiente para la operación eficiente de la planta.

Posteriormente, dentro del mismo recinto, el agua es desinfectada con cloro y fluorurada. Desde este punto el agua es conducida gravitacionalmente hasta el estanque semienterrado Santa Lucía, desde el cual se impulsa una fracción del agua producida hasta el estanque elevado del mismo nombre por medio de una planta elevadora de agua potable (PEAP).

Desde los estanques semienterrado y elevado Santa Lucía se abastece los sectores de consumo Bajo y Alto, respectivamente, por medio de una matriz alimentadora en cada caso.

Esta PTAP es del tipo compacta y permite el abatimiento de turbiedad. En el presente capítulo se analizara solo el sistema de sedimentación de dicha planta, el cual corresponde a un sedimentador de flujo horizontal de forma rectangular según figura 2.2 de la pagina 24. Este sedimentador posee 23 (m) de largo, 6.7 (m) de ancho y 4 (m) de profundidad, además de una capacidad de tratamiento de 70 (lts/sg), según datos de Aguas Araucanía S.A.

4.1.2 Análisis del sedimentador

Según la información histórica de turbiedad de entrada y salida del sedimentador proporcionada por la empresa de servicios sanitarios Aguas Araucanía S.A, se realiza un gráfico de tendencia [16] para el agua cruda y decantada (ver figura 4.1), de tal manera obtener una reseña de cómo está funcionando la planta.

Cabe señalar que se tomaron los datos de un año hidrológico desde abril de 2012 hasta abril de 2013. Y teniendo en cuenta que este año fue un año relativamente seco se obtuvieron las siguientes gráficas de tendencias anuales, las cuales representan el comportamiento de las turbiedades promedios diarias del sedimentador a lo largo del año.

Se puede observar en la figura 4.1, que en los picos de turbiedad que presenta el agua cruda, repercuten considerablemente en el agua decantada, es por esta razón que a priori se puede estimar que la capacidad de amortiguación de turbiedad de este sedimentador es baja.

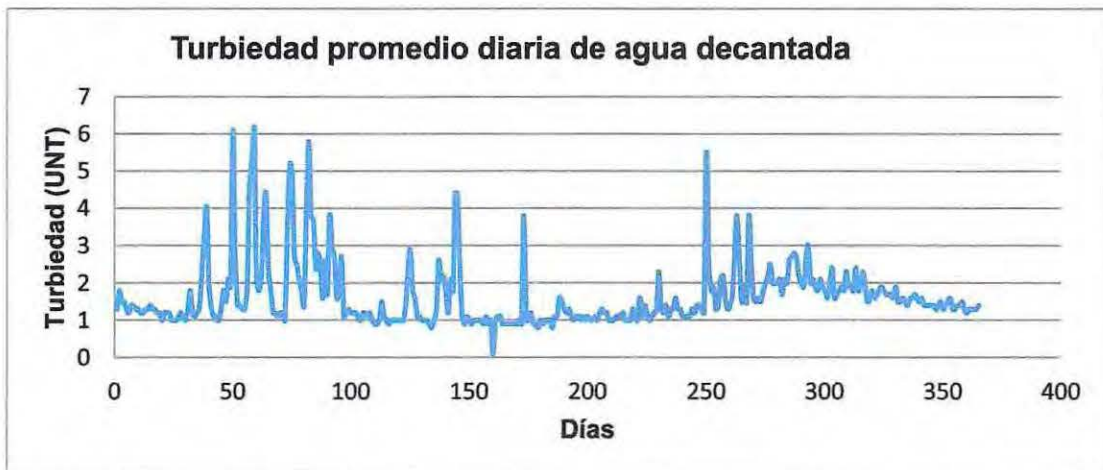
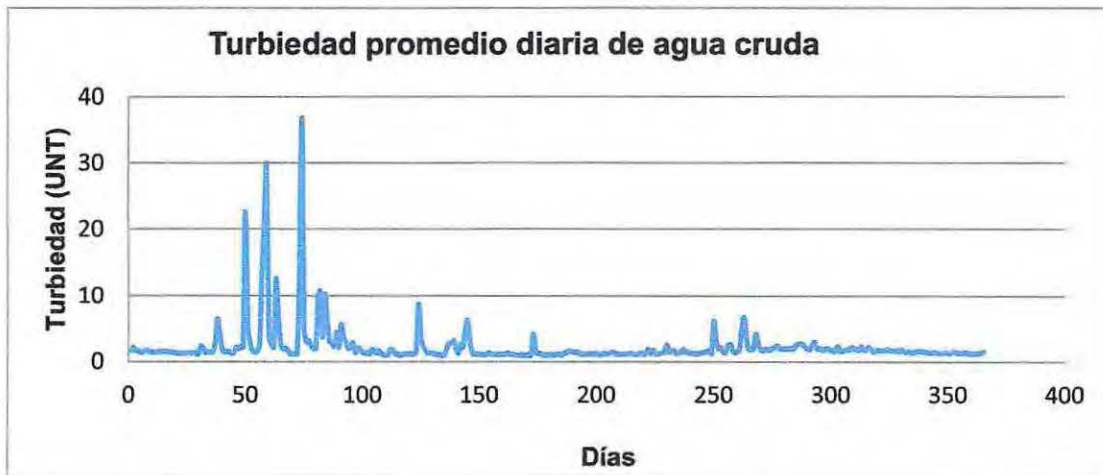


Figura 4.1- Gráficos de tendencias, PTAP Collipulli. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

A continuación se presentan los promedios mensuales de turbiedad del el agua que entra y sale del sedimentador, esto para obtener un parámetro de comparación más notorio entre ambas variables, según histograma de la figura 4.2.

Se puede apreciar en este histograma que las turbiedades de agua decantada en general son bajas, por esta razón se puede concluir de manera preliminar que el sedimentador está funcionando correctamente, pero podría mejorar, ya que al comparar las turbiedades que entran y salen del sedimentador son muy parecidas y no existe una sedimentación de partículas tan significativa.

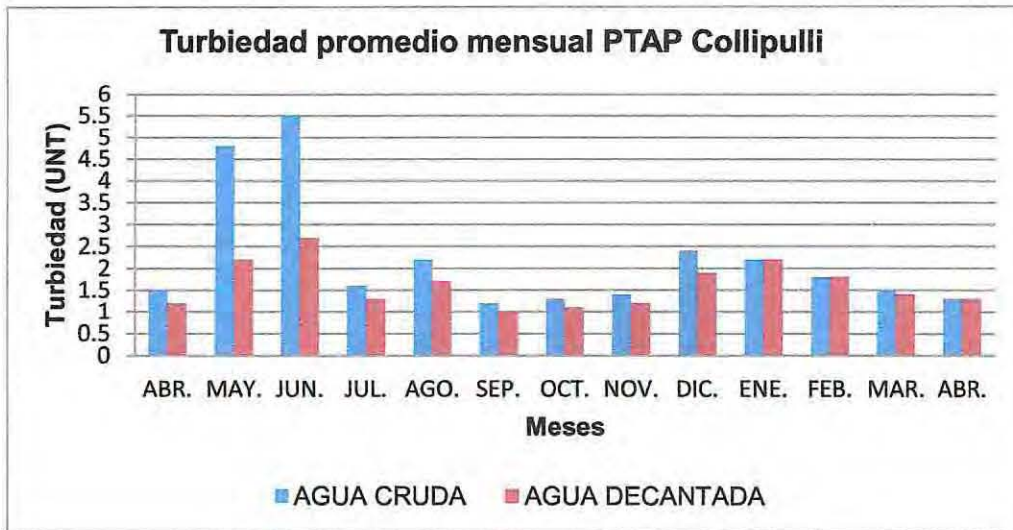


Figura 4.2- Turbiedad mensual, PTAP Collipulli. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

4.2 PTAP Gorbea.

4.2.1 Descripción general

El abastecimiento de este sistema se realiza través de la operación de una captación superficial sin barrera ubicada en el río Donguil. El agua captada en este río es conducida a través de una PEAP y una impulsión, hasta la planta de Gorbea.

Esta PTAP es del tipo compacta para el abatimiento de turbiedad, posteriormente, el agua es desinfectada con cloro y fluorurada. Desde este punto, el agua tratada es conducida gravitacionalmente hasta el estanque semienterrado Gorbea el cual abastece el único sector de consumo de la localidad.

La planta, los centros de cloración y fluoruración y el estanque se encuentran en el mismo recinto. En este, actualmente existen dos plantas de tratamiento las cuales funcionan paralelamente para abastecer la demanda.

4.2.2 Análisis de sedimentadores

Según los datos entregados por Aguas Araucanía S.A, separan estas plantas en antigua y nueva. La planta antigua corresponde a un sedimentador gravitacional de forma rectangular de 9.5 (m) de largo, 8.5 (m) de ancho y una profundidad de 4 (m), mientras que la planta nueva se refiere a un decantador de alta tasa de 4.1 (m) de largo, 2.4 (m) de ancho y 3.2 (m) de profundidad.

El agua cruda que llega a la planta se reparte hacia los dos sistemas, así la planta antigua y la planta nueva poseen la misma turbiedad de entrada. De esta forma los gráficos de la figura 4.3, representan la tendencia anual de turbiedad de entrada y salida presentes en la planta de tratamiento a lo largo del año hidrológico 2012/2013.

En los gráficos de tendencia de la figura 4.3, se puede apreciar de una manera general el comportamiento de los sedimentadores presentes en esta planta de tratamiento, en donde el sedimentador de la planta nueva tiene una mejor capacidad de eliminación de la turbiedad en relación al otro.

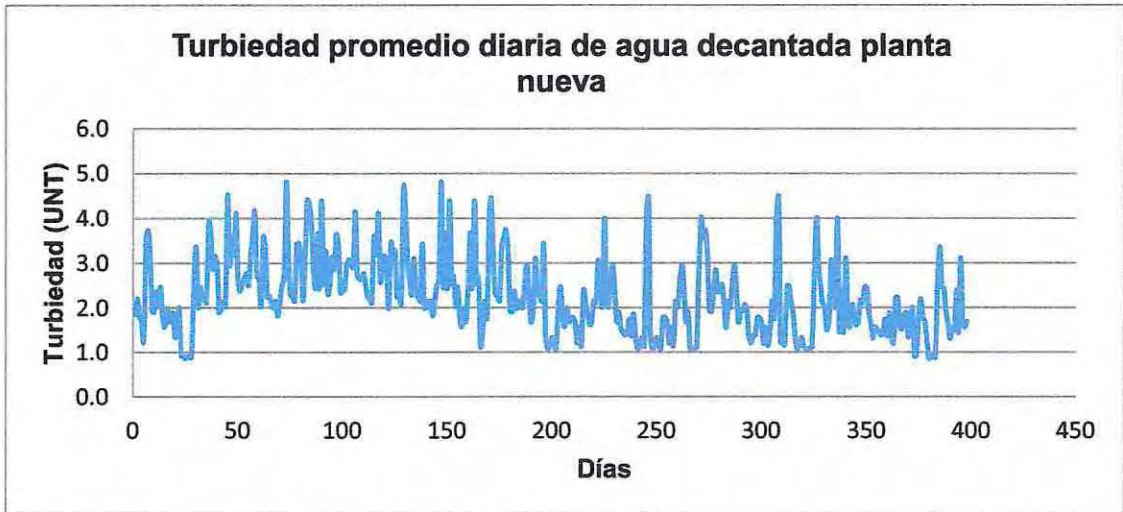
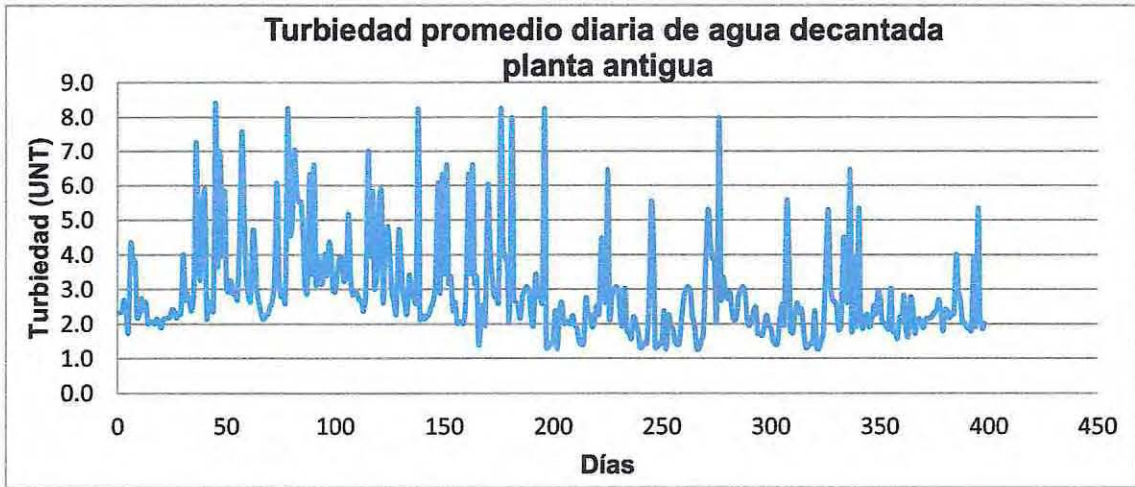
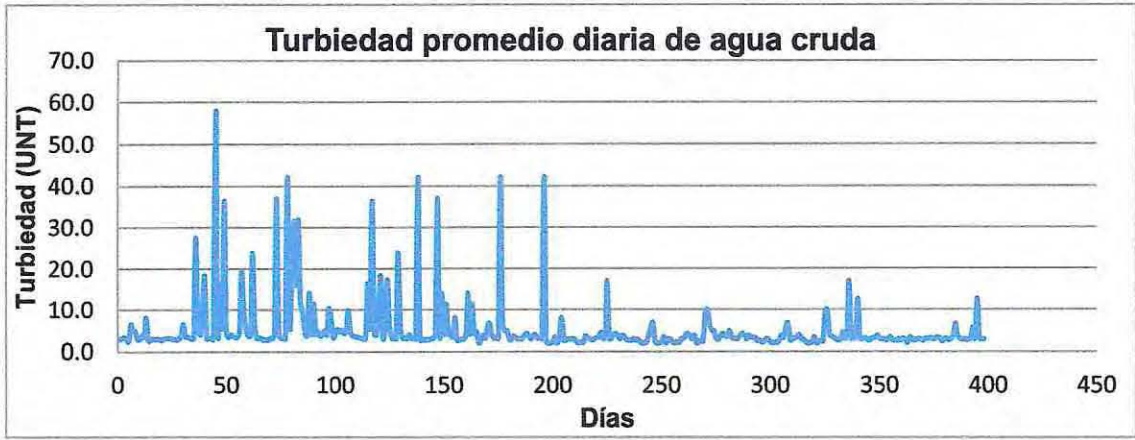


Figura 4.3- Gráficos de tendencias, PTAP Gorbea. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

A continuación en el histograma de la figura 4.4, se presentan los promedios mensuales de turbiedad medida en los diferentes sedimentadores de la planta. De esta manera se visualiza el comportamiento de los sedimentadores respecto a la turbiedad que trae el agua cruda.

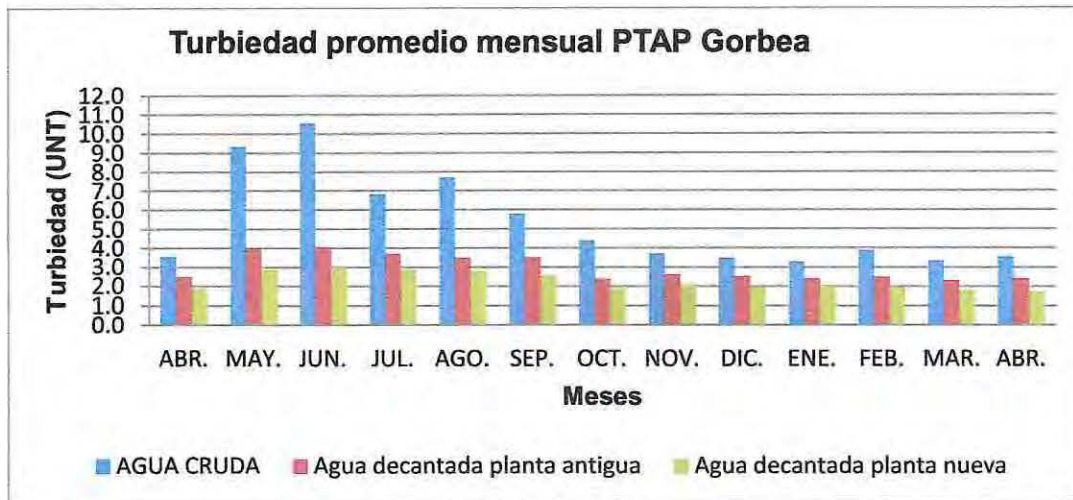


Figura 4.4- Turbiedad mensual, PTAP Gorbea. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

4.3 Evaluación de la eficiencia

Los factores más importantes que afectan la eficiencia remocional de una unidad de sedimentación y/o decantación son las características del proceso, y las condiciones del flujo hidráulico [17]. Estos factores, a su vez, dependen de:

- Las características fisicoquímicas de las aguas, especialmente turbiedad, color y temperatura.
- Las características del pretratamiento: mezcla-floculación.
- La configuración y diseño de las unidades y zonas de entrada, sedimentación, depósito de lodos y salida de agua decantada, los cuales dependen del tipo de unidad.
- Las características de las obras de interconexión.
- Operación y mantenimiento.

Para este trabajo solo analizaremos la eficiencia de los sedimentadores estudiados mediante el análisis de la turbiedad que entra y sale del sedimentador.

Entre los diferentes factores que influyen en la eficiencia de una unidad de sedimentación y/o decantación, se han seleccionado los siguientes parámetros como los más importantes [17]:

- calidad del agua sedimentada;
- calidad del agua cruda;
- carga superficial.

4.3.1 Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada

Los filtros rápidos mejoran apreciablemente su eficiencia al tratar aguas sedimentadas con bajas turbiedades, por lo que resulta crucial que los sedimentadores o decantadores produzcan agua de la mejor calidad posible [17].

Recientes investigaciones de la EPA recomiendan utilizar la turbiedad como índice para determinar la presencia de huevos de parásitos en el agua tratada e indican que para asegurar la remoción de estos huevos los filtros deben producir agua con menos de 0,1 (UNT), esto implica que los decantadores hayan entregado un efluente con una turbiedad menor o igual a 2 (UNT), este es el nuevo reto, por lo que se debe perfeccionar los diseños y optimizar la operación y mantenimiento para que los decantadores sean más eficientes [17].

Chile se rige según la norma NCh 409/1 of 2005, contemplando lo descrito en el ítem 2.10.1.1, del presente trabajo.

Para el análisis de la eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada, se agrupan los datos de turbiedad en rangos definidos, luego se calcula la turbiedad promedio anual de cada rango predeterminado y finalmente se calcula su frecuencia de presentación anual, para poder graficar la curva acumulativa [16].

En la tabla 4.1 y 4.2 se representan los datos de turbiedad de la plantas Collipulli y Gorbea respectivamente, según lo descrito en el párrafo anterior.

Tabla 4.1- Turbiedad de agua decantada, PTAP Collipulli.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE COLLIPULLI					
RANGO (UNT)	PROMEDIO (UNT)	FRECUENCIA			
		PARCIAL	ACUMULADA	% PARCIAL	% ACUMULADO
0.0 - 1.9 (I)	1.3	296	296	75	75
2.0 - 2.5 (II)	2.2	47	343	12	87
2.6 - 3.0 (III)	2.8	30	373	8	94
3.1 - 4.5 (IV)	3.9	15	388	4	98
4.6 - 6.0 (V)	5.4	5	393	1	99
6.1- 10.0 (VI)	6.1	2	395	1	100

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Tabla 4.2- Turbiedad de agua decantada, PTAP Gorbea.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GORBEA					
SEDIMENTADOR PLANTA ANTIGUA					
RANGO (UNT)	PROMEDIO (UNT)	FRECUENCIA			
		PARCIAL	ACUMULADA	% PARCIAL	% ACUMULADO
0.0 - 1.9 (I)	1.6	82	82	21	21
2.0 - 2.5 (II)	2.2	107	189	27	48
2.6 - 3.0 (III)	2.8	88	277	22	70
3.1 - 4.5 (IV)	3.7	71	348	18	88
4.6 - 6.0 (V)	5.3	26	374	7	95
6.1- 10.0 (VI)	7.2	21	395	5	100

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GORBEA					
SEDIMENTADOR PLANTA NUEVA					
RANGO (UNT)	PROMEDIO (UNT)	FRECUENCIA			
		PARCIAL	ACUMULADA	% PARCIAL	% ACUMULADO
0.0 - 1.9 (I)	1.5	170	170	43	43
2.0 - 2.5 (II)	2.3	117	287	30	73
2.6 - 3.0 (III)	2.8	40	327	10	83
3.1 - 4.5 (IV)	3.6	65	392	16	99
4.6 - 6.0 (V)	4.8	3	395	1	100

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Luego si se gráfica el promedio de turbiedad anual versus el porcentaje de frecuencia acumulada en cada planta, se obtiene un parámetro para evaluar el comportamiento de la planta en el año, ver figuras 4.5 y 4.6.

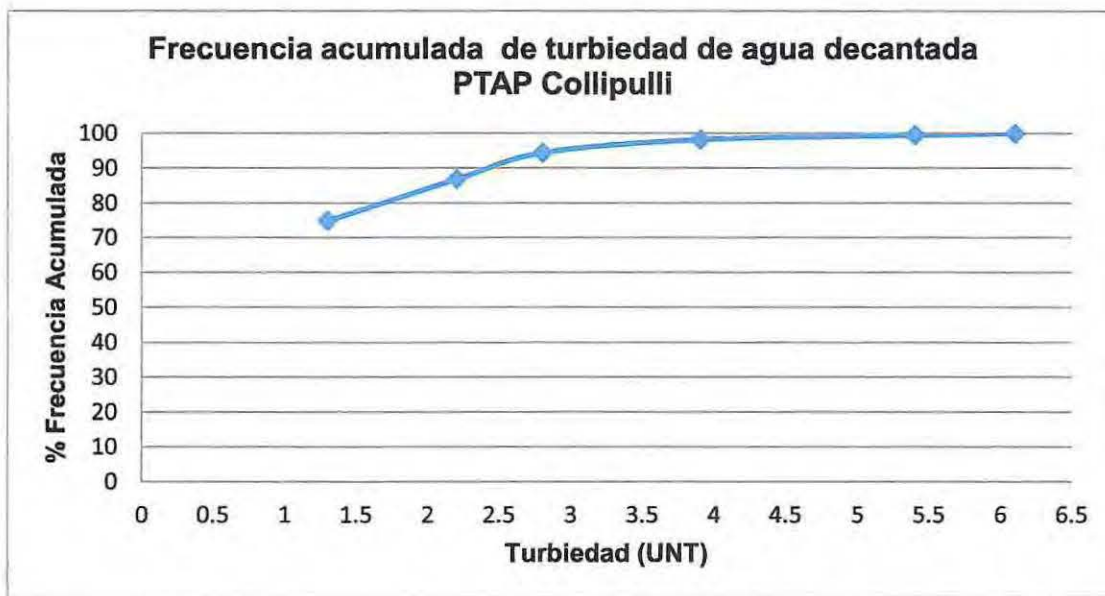


Figura 4.5- Frecuencia acumulada, PTAP Collipulli. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

De este gráfico se puede concluir que el 87% del tiempo la planta presentó un efluente con menos de 2.2 (UNT), por lo que la planta estaría funcionando adecuadamente, según los parámetros existentes que precisan que en esta etapa la turbiedad sea menor a 5 (UNT) para tener un comportamiento eficiente en la siguiente etapa de filtración.

Se vuelve a destacar el hecho que la turbiedad de agua cruda es muy baja, lo cual puede ser un parámetro significativo a la hora de evaluar la eficiencia del sedimentador, según lo expuesto en el histograma de la figura 4.2.

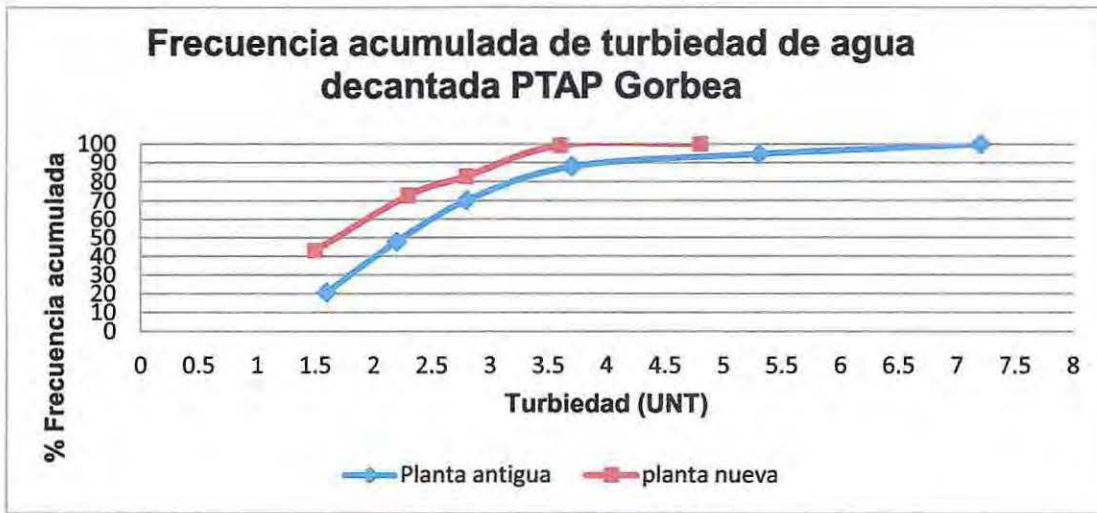


Figura 4.6- Frecuencia acumulada, PTAP Gorbea. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

En la figura 4.6, se observa el comportamiento de los dos sedimentadores de la planta de tratamiento de Gorbea. Según el gráfico se puede interpretar que, en la planta antigua el 90% del tiempo presentó aguas con menos de 5 (UNT) y tan solo un 40% con menos de 2 (UNT). Mientras que la planta nueva todo el tiempo presentó efluentes con menos de 5 (UNT) y el 60% del tiempo obtuvo parámetros menores a 2 (UNT).

Si bien ambas cumplen con los parámetros, se puede afirmar que la planta nueva está funcionando de mejor manera respecto a la planta antigua.

4.3.2 Eficiencia en función de la calidad del agua cruda

La eficiencia del proceso de sedimentación depende sustancialmente de las características físicas, tanto de las aguas (temperatura) como de las partículas (turbiedad, color) y de su estado de presentación (coloidal, suspensión, tamaño y densidad). La eficiencia se incrementa en relación directa con el contenido de partículas en estado de suspensión hasta llegar usualmente a valores de 600 miligramos por litro, sobre los cuales disminuye por presentarse sedimentación interferida [17].

Para estimar la eficiencia en función de la calidad del agua cruda, se debe hacer un promedio de turbiedades anuales separadas en rangos determinados, según tabla 4.3 para Collipulli y tabla 4.4 para Gorbea.

Tabla 4.3- Turbiedad promedio anual, PTAP Collipulli.

PLANTA DE TRATAMIENTO COLLIPULLI		
RANGOS	PROMEDIO A. CRUDA	PROMEDIO A. DECANTADA
(I)	1.4	1.3
(II)	2.2	1.9
(III)	2.8	2.4
(IV)	3.9	2.9
(V)	5.4	3.7
(VI)	6.8	3.7
(VII)	18.5	4.8

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Tabla 4.4- Turbiedad promedio anual, PTAP Gorbea

PLANTA DE TRATAMIENTO GORBEA			
RANGO	PROMEDIO A. CRUDA	PROMEDIO A. DECANTADA PLANTA ANTIGUA	PROMEDIO A. DECANTADA PLANTA NUEVA
(I)	1.9	1.4	1.1
(II)	2.3	1.5	1.3
(III)	2.9	2.2	1.7
(IV)	3.5	2.8	2.3
(V)	5.1	3.9	3.2
(VI)	7.5	4.1	3.5
(VII)	22.7	6.2	3.7

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

A partir de estos valores establecidos se procede a realizar los gráficos de los datos seleccionados (ver figura 4.7 y 4.8), de tal manera modelar una recta que asemeje el comportamiento de los sedimentadores en cuestión.

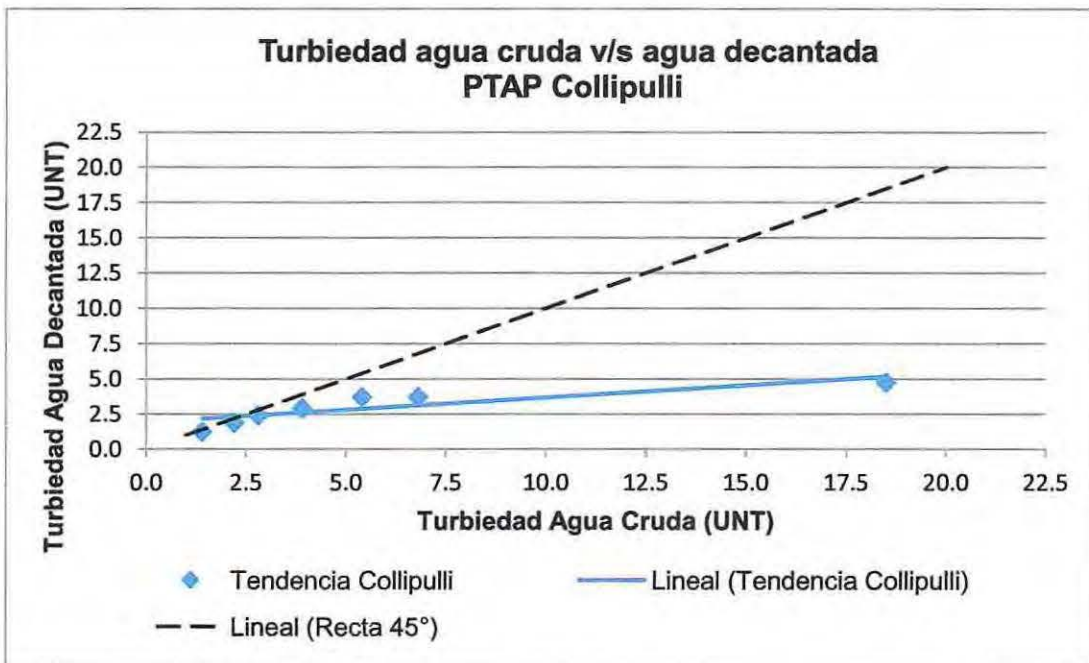


Figura 4.7- Agua cruda v/s Agua decantada, PTAP Collipulli. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Como se puede apreciar, el gráfico posee una pendiente baja, de esta forma a medida que entra más turbiedad a la unidad de sedimentación, mayor también es la turbiedad que sale del sedimentador, provocando así una poca eficiencia del sistema.

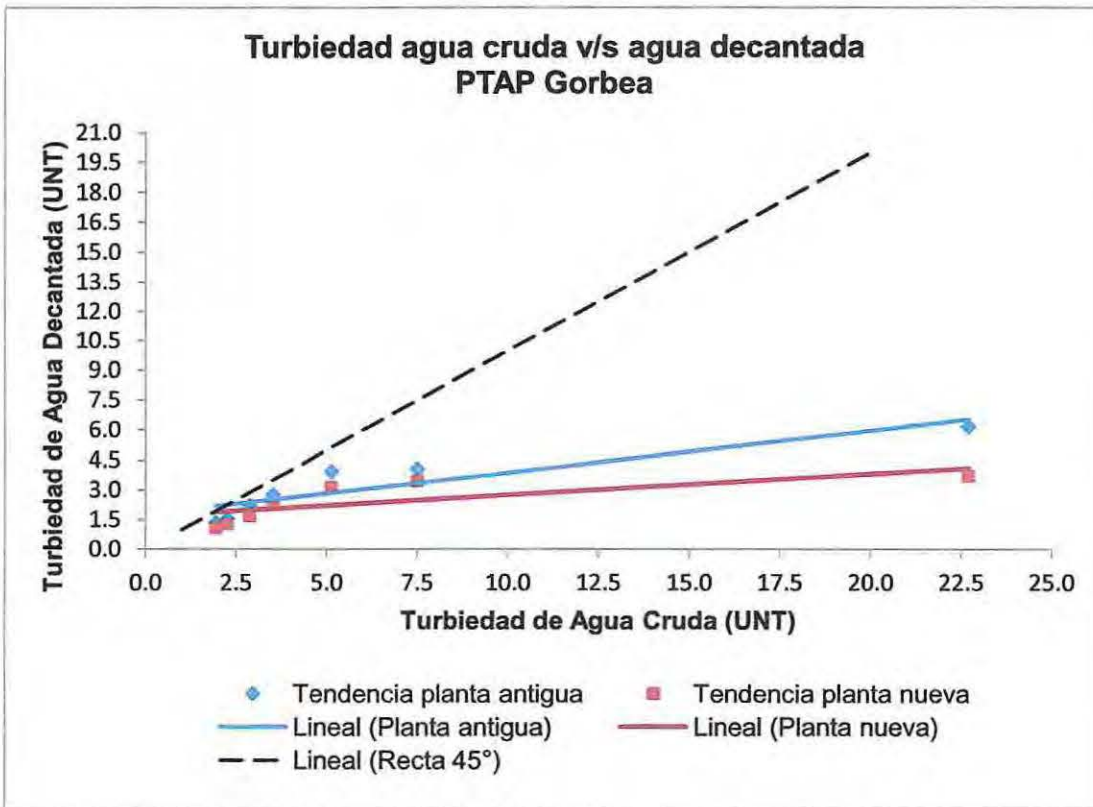


Figura 4.8- Agua cruda v/s Agua decantada, PTAP Gorbea. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

En la figura 4.8 se logra evidenciar que la planta nueva posee una mejor eficiencia de remoción de partículas respecto al sedimentador de la planta antigua, debido a que presenta una pendiente más pequeña.

Posteriormente, a partir de estos datos promedios calculados se procede a realizar el cálculo en relación a las constantes y el grado de correlación de la siguiente ecuación:

$$y = ax + b$$

ecc.4.1

Donde:

- y = Turbiedad del agua decantada.
- x = Turbiedad del agua cruda.
- a = Pendiente de la recta.
- b = Intercepto.

Mediante el método de ajuste por mínimos cuadrados, se realizaron los cálculos para la obtención de la ecuación 4.1 que mas describa cada unidad. Los valores que se ocuparon están en las tablas 4.5 y 4.6 para la planta de Collipulli y Gorbea respectivamente.

Tabla 4.5- Mínimos Cuadrados, PTAP Collipulli.

Sedimentador PTAP Collipulli					
N° de datos	xi	yi	xi²	yi²	xi*yi
1	1.4	1.3	1.96	1.59	1.76
2	2.2	1.9	4.84	3.61	4.18
3	2.8	2.4	7.84	5.86	6.78
4	3.9	2.9	15.21	8.58	11.43
5	5.4	3.7	29.16	13.99	20.20
6	6.8	3.7	46.24	13.91	25.36
7	18.5	4.8	342.25	22.75	88.25
Σ	41.0	20.8	447.5	70.3	158.0
Promedio	5.9	3.0	63.9	10.0	22.6

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Tabla 4.6- Mínimos Cuadrados, PTAP Gorbea.

SEDIMENTADOR PTAP GORBEA					
PLANTA ANTIGUA					
N° de datos	xi	yi	xi²	yi²	xi*yi
1	1.9	1.4	3.76	1.85	2.64
2	2.3	1.5	5.11	2.37	3.48
3	2.9	2.2	8.29	4.97	6.42
4	3.5	2.8	12.39	7.62	9.72
5	5.1	3.9	26.32	15.52	20.21
6	7.5	4.1	56.25	16.65	30.60
7	22.7	6.2	515.29	38.19	140.29
Σ	45.9	22.1	627.4	87.2	213.4
Promedio	6.6	3.2	89.6	12.5	30.5
PLANTA NUEVA					
N° de datos	xi	yi	xi²	yi²	xi*yi
1	1.9	1.1	3.76	1.21	2.13
2	2.3	1.3	5.11	1.69	2.94
3	2.9	1.7	8.29	2.86	4.87
4	3.5	2.3	12.39	5.15	7.99
5	5.1	3.2	26.32	9.92	16.16
6	7.5	3.5	56.25	11.97	25.95
7	22.7	3.7	515.29	13.91	84.67
Σ	45.9	16.7	627.4	46.7	144.7
Promedio	6.6	2.4	89.6	6.7	20.7

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

Mediante la resolución de la ecuación 4.2 se puede obtener la pendiente (a) de una recta utilizando los datos de las tablas anteriores.

$$a = \frac{\sum xy - \frac{[\sum xi \sum yi]}{n}}{\sum xi^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n}}$$

ecc.4.2

Para el cálculo del intercepto (*b*) de la ecuación 4.1, se utiliza la pendiente calculada anteriormente además de los promedios de las turbiedades presentes en las variables *x* e *y*, según la ecuación 4.3.

$$b = y - ax$$

ecc.4.3

Una vez obtenida la pendiente y el intercepto, se reemplazan en la ecuación 4.1 para obtener la ecuación de la recta que más se ajusta a cada sedimentador analizado.

En la tabla 4.7 se entregan los valores de la pendiente, intercepto y finalmente la ecuación de la recta, obtenida según los datos entregados por Aguas Araucanía S.A para cada planta de tratamiento.

Tabla 4.7- Ecuaciones de recta, PTAP Collipulli y Gorbea.

PARÁMETROS	PTAP COLLIPULLI	PTAP GORBEA	
	SEDIMENTADOR	SEDIMENTADOR PLANTA ANTIGUA	SEDIMENTADOR PLANTA NUEVA
PENDIENTE (a)	0.18	0.21	0.11
INTERCEPTO (b)	1.94	1.78	1.68
CORRELACIÓN (r ²)	0.73	0.82	0.55
ECUACIÓN	y = 0.18x + 1.94	y = 0.21x + 1.78	y = 0.11x + 1.68

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

En relación a las ecuaciones obtenidas se analiza la eficiencia de los sedimentadores, se puede concluir que el sedimentador de la planta nueva (alta tasa) de Gorbea es el que funciona de manera más eficiente en relación a los demás, debido a que posee la pendiente más baja, lo que implica que responde de mejor manera al estar sometido a elevados niveles de turbiedad. En cambio el sedimentador antiguo posee la correlación más alta. Esto implica que su comportamiento en el tiempo tiende a ser lineal, esto quiere decir que al aumentar en una unidad la turbiedad de agua cruda, también aumentará en una proporción parecida la turbiedad en el agua decantada, provocando una eficiencia menor.

A su vez Collipulli según los antecedentes y los análisis realizados a esta planta, se puede afirmar que el sistema trabaja no con la mejor eficiencia, ya que puede tener problemas si aumenta la turbiedad de entrada al sistema debido a que posee una pendiente y una correlación alta en comparación con la planta nueva de Gorbea. Cabe señalar nuevamente que los datos corresponden al año hidrológico 2012/2013 el cual fue un año seco en comparación a años anteriores, es por esta razón que una mejora al sistema sería de gran ayuda para abatir en condiciones desfavorables, altos niveles de turbiedad.

Finalmente con los datos obtenidos anteriormente sobre los promedios mensuales y anuales de turbiedad de cada planta, se analizará la eficiencia (η) relacionando las turbiedades a la salida (N_t) y las turbiedades de entrada (N_o) del sedimentador [4] según la ecuación 4.4.

$$\eta = 1 - \frac{N_t}{N_o}$$

ecc.4.4

En la tabla 4.8 se pueden apreciar los diferentes porcentajes de eficiencias que presentaron las plantas de forma mensual y anual. De esta manera el sedimentador de alta tasa de la planta nueva de Gorbea es el que presenta una mayor eficiencia ($\eta=54\%$), mientras que la de Colipulli es la menos eficiente ($\eta=18.5\%$) de acuerdo a la ecuación 4.4.

Las eficiencias obtenidas son muy bajas, pero hay que aclarar que esta fórmula está directamente influenciada por el valor de la turbiedad del agua cruda o turbiedad de entrada (N_o), ya que altos niveles de turbiedad, las reducciones aparecen mucho más grande que si es pequeño [4]. De esta forma si un sedimentador presenta una efluente de salida de 5 (UNT) para una turbiedad de entrada de 20 (UNT) nos dará una eficiencia del 75%, mientras que si se presenta otro caudal de entrada con 50 (UNT) pero con la misma turbiedad de salida nos dará una eficiencia del 90%. Esto deja claro que la estimación de la eficiencia mediante este análisis es más bien imprecisa.

Tabla 4.8- Eficiencia (η) mensual y anual, PTAP Collipulli y Gorbea.

MES	Porcentaje eficiencia (% η) PTAP Collipulli	Porcentaje eficiencia (% η) PTAP Gorbea	
		Antigua	Nueva
ABR.	20	30	46
MAY.	54	57	69
JUN.	51	62	72
JUL.	19	46	58
AGO.	23	55	64
SEP.	17	40	56
OCT.	15	46	57
NOV.	14	29	44
DIC.	21	27	44
ENE.	0	27	39
FEB.	0	36	50
MAR.	7	30	46
ABR.	0	32	52
PROMEDIO ANUAL	18.5	40	54

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

De acuerdo a los comentarios anteriores y para obtener un parámetro más significativo de cómo se comportan los sedimentadores de acuerdo a la ecuación 4.4, se tomarán los datos de las tablas 4.3 y 4.4 para analizar la eficiencia de las plantas. Estos datos son las turbiedades medias anuales de entrada y salida de las plantas seleccionadas en diferentes rangos, para tener un parámetro del comportamiento más exacto de los sedimentadores frente a diferentes escenarios. En la tabla 4.9 se observan las diferentes eficiencias según lo descrito.

Tabla 4.9- Eficiencia (η) en rangos de turbiedad, PTAP Collipulli y Gorbea.

RANGO (UNT)	Porcentaje eficiencia ($\% \eta$) PTAP Collipulli	Porcentaje eficiencia ($\% \eta$) PTAP Gorbea	
		Antigua	Nueva
0- 1.9 (I)	10	30	43
2-2.5 (II)	14	32	42
2.6-3 (III)	14	23	41
3.1-4.5 (IV)	25	22	36
4.6-6 (V)	31	23	39
6.1-10(VI)	45	46	54
>10 (VII)	74	73	84

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos otorgados por Aguas Araucanía S.A.

En la tabla 4.9 se puede apreciar la eficiencia de los diferentes sedimentadores de acuerdo a diferentes rangos de turbiedad, queda claro que el sedimentador de alta tasa de la planta nueva de Gorbea es el que funcionan de mejor manera, presentando hasta un 84% de eficiencia cuando las turbiedades de entrada son mayores a 10 (UNT), un 73% presenta la planta antigua y un 74% de eficiencia la planta de Collipulli para el mismo rango de turbiedad.

De este análisis se puede concluir que entre más turbiedad posea el agua de cruda que entra a los sedimentadores analizados, mayor será la eficiencia de estos. En cambio para turbiedades bajas la eficiencia calculada bajo la ecuación 4.4 disminuye considerablemente.

De acuerdo al aumento de la población, lo cual es inevitable, se tiene de forma directa un aumento en la demanda de agua, esto produce una dificultad en las plantas de tratamiento de acuerdo al caudal que se debe tratar para satisfacer las necesidades de la población, para esto se necesita un aumento en su capacidad.

En particular el aumento de la capacidad de los sedimentadores convencionales de forma rectangular se realiza mediante la incorporación de placas inclinadas de diferentes materiales y formas. Esto permite un aumento considerable de la capacidad de los decantadores sin alterar el espacio físico de las plantas.

CAPÍTULO V – EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA SELECCIONAR EL TIPO DE PLACA

En este capítulo se entrega la información necesaria para poder evaluar tres tipos de placas que actualmente se utilizan en el aumento de la capacidad de los sedimentadores rectangulares, tales como; placas planas de polipropileno (PP), módulos de policloruro vinilo (PVC) y los módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS), señalando los requisitos para una correcta instalación, recomendaciones para su mantenimiento y sus ventajas.

Además para cada una de las alternativas de placas se generaron curvas de caudales y superficies, a partir de de la recopilación de información del presente trabajo, para que el evaluador pueda estimar el número de placas o módulos a utilizar en función de las solicitudes de cada planta.

Para poder tener una primera aproximación de los costos de instalación, mantención y operación de cada una de las alternativas, se elaboraron gráficos de costos en función de la superficie requerida, con una curva de inversión donde se incluyen todos los costos necesarios para instalar y poner en marcha el sistema y una segunda curva con los valores actualizados de costos (VAC), analizados para un horizonte de 20 años, incluyendo los gastos de mantención, operación y reposición que el sistema necesita. Todos estos datos fueron obtenidos mediante la información otorgada por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores de proyectos anteriormente realizados.

5.1 Parámetros a considerar en el diseño de las placas.

5.1.1 Longitud relativa y ángulo de inclinación

De acuerdo a lo planteado en el capítulo 3.4, en donde se describe la teoría y los principales factores que influyen en el proceso de sedimentación de alta tasa, según los estudios experimentales de Yao [13], se procede a realizar a modo de corroboración el análisis para dos tipos de placas según algunas características físicas.

La influencia de la longitud relativa (L) y del ángulo de inclinación (θ) en el diseño de las placas de sedimentación juega un papel muy importante en la eficiencia final del decantador. De esta forma reescribiendo la ecuación 3.31, utilizando diferentes valores de L y dos tipos de ángulos ($\theta=40^\circ$, $\theta=60^\circ$), se procede a realizar el análisis.

$$\frac{V_{sc}}{V_o} = \frac{Sc}{\sin \theta + L * \cos \theta}$$

Tomando valores de la longitud relativa que van desde L=1 hasta L=100, teniendo en cuenta que el factor de la eficiencia Sc es igual a 1 para el caso de las placas planas y asumiendo un valor promedio de 1.4 para el caso de placas tubulares según la tabla 3.2, se procede a realizar los gráficos de las figura 5.1 y 5.2. Estos gráficos relacionan la influencia del ángulo de inclinación y la longitud relativa con la eficiencia del sedimentador, para placas planas y placas tubulares respectivamente.

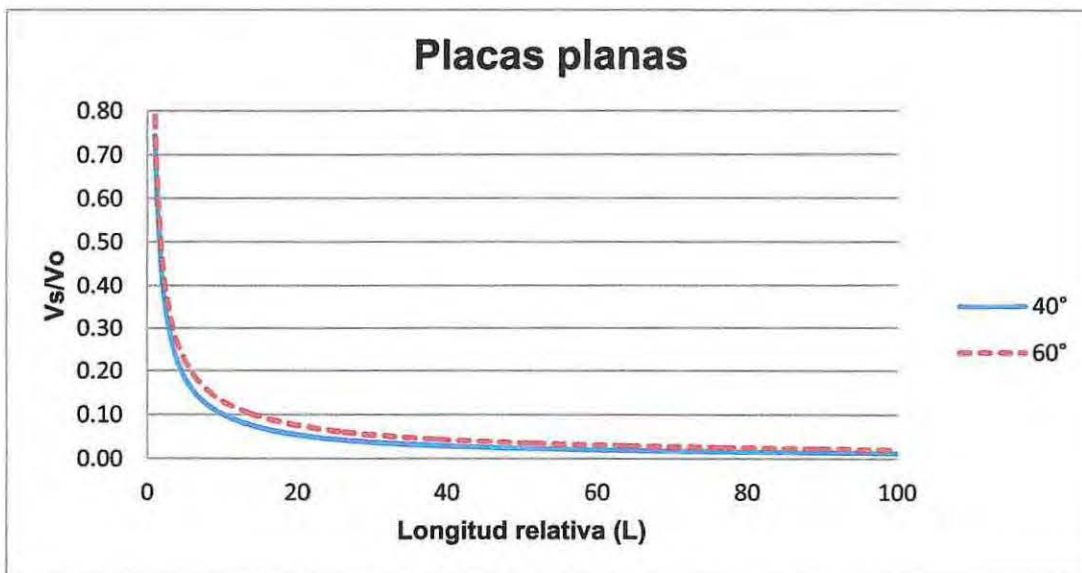


Figura 5.1-Influencia del ángulo y longitud relativa para placas planas. Fuente: Elaboración Propia, a partir del estudio realizado por Yao [13].

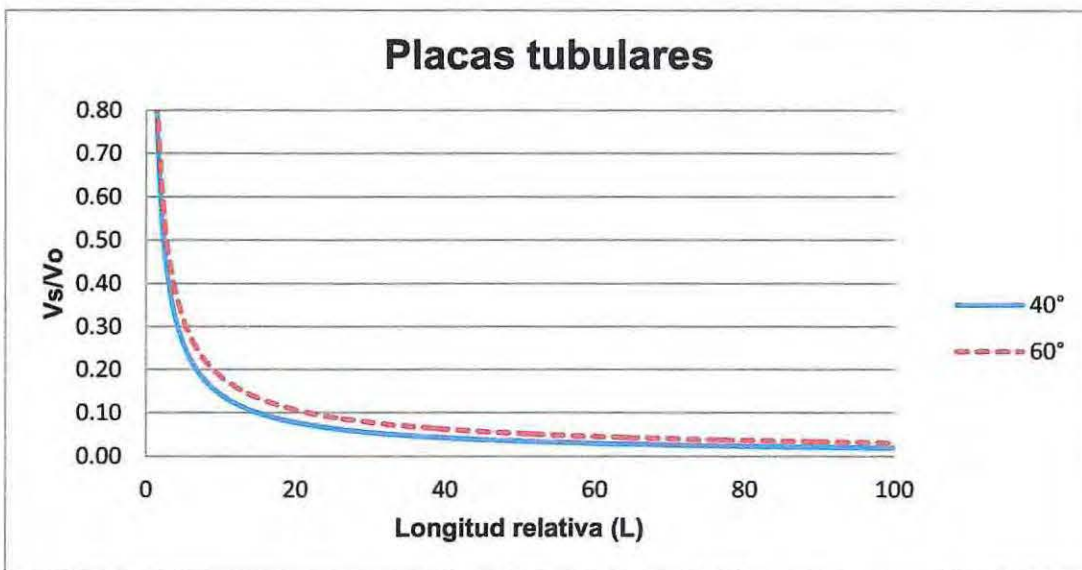


Figura 5.2-Influencia del ángulo y longitud relativa para placas tubulares. Fuente: Elaboración Propia, a partir del estudio realizado por Yao [13].

En relación a estos gráficos se puede concluir que el ángulo de 40° es más eficiente que el de 60° para ambas placas, pero se recomienda por fines prácticos de acuerdo a la experiencia demostrada por Yao [13] ocupar el ángulo de 60° para el diseño de sedimentadores de alta tasa, debido a que es más fácil la remoción de lodos y además que las eficiencias entre ambos valores presentan diferencias menores. En relación a la longitud relativa se puede observar claramente que en ambas placas la eficiencia aumenta significativamente con un $L=20$, valores más bajos que este disminuyen la eficiencia y valores más grandes la aumentan en una proporción menor.

Finalmente se corrobora a cabalidad la teoría expuesta por Yao, en cuanto al ángulo de inclinación y la longitud relativa que se recomienda para el diseño. En este trabajo en particular se utilizarán placas con ángulo de inclinación de 60°, con una longitud relativa $L \geq 20$.

Ahora si se compara ambas placas con un ángulo de 60° de inclinación respecto a la horizontal y para diferentes valores de longitud relativa, se obtiene el gráfico de la figura 5.3 el cual deja en claro que las placas planas son más eficientes que las placas tubulares en igualdad de condiciones.

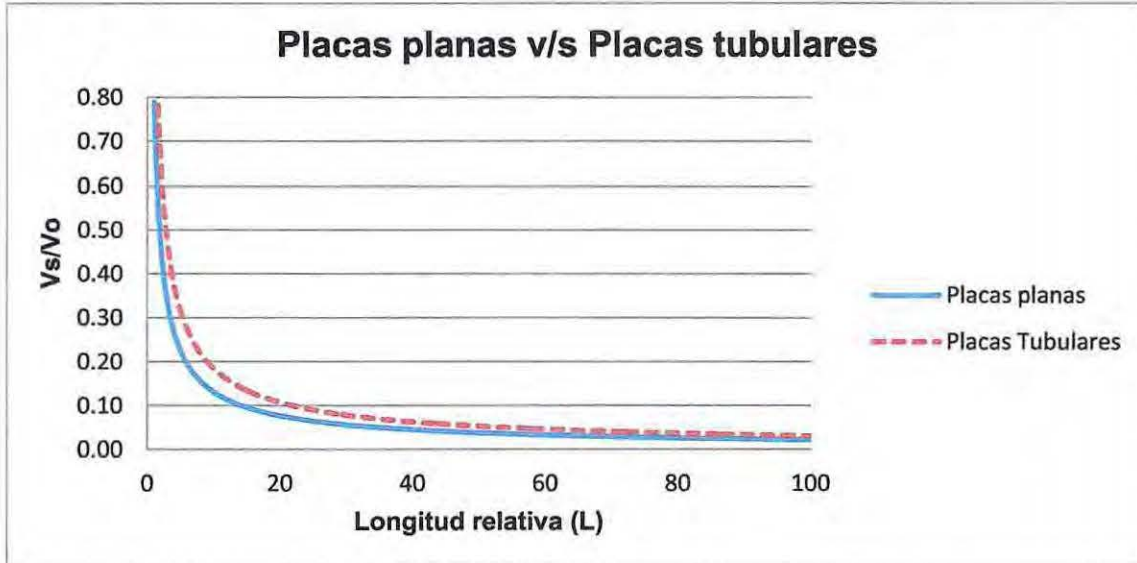


Figura 5.3-Comparación placas planas v/s placas tubulares. Fuente: Elaboración Propia, a partir del estudio realizado por Yao [13].

5.1.2 Criterios de dimensionamiento

En relación a las características de los módulos y placas se puede establecer una relación entre sus propiedades físicas y las solicitaciones particulares presentes en las plantas de tratamiento, de tal manera generar una herramienta gráfica que nos permita identificar de manera preliminar la cantidad de material a ocupar en relación a diferentes solicitaciones.

El área total (A_t) que debe cubrirse con placas de espesor (e_p) y separación (e), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_t = \frac{Q}{V_{sc} * f} \tag{ecc.5.1}$$

Donde:

$$f = \frac{\sin \theta * (\sin \theta + L * \cos \theta)}{S}$$

- Q = Caudal en (m^3/sg)
- V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica (m/sg)
- L = Longitud relativa (según ecuación 3.21)
- S = Módulo de eficiencia de placas.

De esta manera el número total de placas o módulos por instalar (N) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{At * \sin \theta}{B * e}$$

ecc.5.2

Donde:

At = Área total que debe cubrirse con placas.

B = Ancho de una placa o ancho de un modulo de placas.

e = Espaciamiento entre las placas.

5.2 Módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS).

5.2.1 Características generales

Este tipo de módulos utiliza placas de poliestireno de alto impacto (HIPS) de forma ondulada, pegadas entre sí, formando una serie de hexágonos que le dan la forma de colmena (ver figura 5.4). Estos hexágonos funcionan como tubos independientes y su forma de panal se acopla fácilmente a las características geométricas de cualquier sedimentador.



Figura 5.4- Módulos tipo colmena

Físicamente los módulos son de un ancho máximo de 1.0 (m) por 1.00 (m) de largo, para que sean manejables en el transporte e instalación, también se recomienda que el módulo sea compacto de una sola lámina para evitar la desestabilización estructural del paquete. Las medidas de los módulos a analizar en este trabajo se presentan en la tabla 4.10

Tabla 5.1- Características físicas módulos tipo colmena

Características	Medidas
Longitud (l)	1.0 (m)
Inclinación (θ)	60°
Dimensión hexágono	6(cm) x 6 (cm)
Espesor (ep)	1 (mm)

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Instalación

Generalmente los módulos de sedimentación tipo colmena se instalan sobre vigas en perfil estructural de acero tipo C de 3" para luces menores a tres metros y tipo C de 4" para luces mayores. Estas vigas llevan un tratamiento con anticorrosivo y acabado a base de pintura epóxica resistente al agua y al medio, van ancladas a los extremos del muro del sedimentador y se instalan por lo general dos unidades por cada fila de módulos en una longitud no mayor a 2.5 metros.

5.2.3 Mantenimiento

El hecho que los módulos sean fabricados de material termoplástico como el poliestireno con espesores de las láminas inferior a los 1.5 (mm), son mucho más frágiles por lo tanto generan un especial cuidado al momento de su mantenimiento en especial en la limpieza.

Para efectuar la limpieza de los módulos de HIPS, se deben seguir los siguientes pasos:

- Bajar lentamente el nivel del agua en el sedimentador hasta observar que los módulos vayan quedando libres.
- Inmediatamente se deben lavar con agua en forma de regadera, esto será suficiente para que los lodos se deslicen hacia el fondo por las paredes lisas del módulo siendo arrastrados con el resto de agua que se evacúa.
- Una vez estén los módulos totalmente descubiertos, enjuagar nuevamente con agua en forma de regadera y desocupe el sedimentador.
- Si se observa todavía suspensión de lodos por encima de los módulos, se debe abrir la válvula de fondo para evacuar los lodos en exceso.

Se recomienda no apoyar de pies directamente sobre los módulos de sedimentación, primero se debe colocar una tabla a lo largo del trayecto que se va a pisar. Y finalmente si se requiere entrar a la parte inferior del sedimentador, se debe retirar uno de los paneles de sedimentación jalando hacia arriba, mediante dos personas utilizando una tabla para pisar sobre los módulos.

5.2.4 Ventajas

Algunas de sus ventajas más significativas son:

- Reducción importante en volumen y área de los sedimentadores.
- Livianos 40 (kg/m²)
- Larga vida útil por ser un material inerte.
- Totalmente lisos evitando la fijación de materiales externos.
- Resistentes a la flexión.
- Fácil de lavar con una cantidad mínima de agua
- Fácil manipulación para montar y desmontar.
- No lleva componentes metálicos.
- Garantiza una mejora significativa en la calidad del efluente.
- No presenta ninguna reacción cuando existen pH bajos y altos contenidos de coagulantes que se incorporan en el agua.

Al trabajar con las ecuaciones 5.1, 5.2 y con las características de este tipo de módulos según la tabla 5.1, se puede obtener una relación que permite identificar de manera preliminar el área y/o la cantidad de módulos a emplear según el caudal que se requiere tratar y la velocidad de sedimentación definida para el proyecto.

De esta manera se obtienen las tablas B.9 y B.10, para la determinación del área requerida y las tablas B.11 y B.12 para la determinación del número de módulos a emplear. Estas tablas se pueden observar en el anexo B del presente trabajo.

A continuación en la figura 5.5 se muestra la cantidad de módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS) necesarios para tratar caudales menores a 150 (Lts/sg).

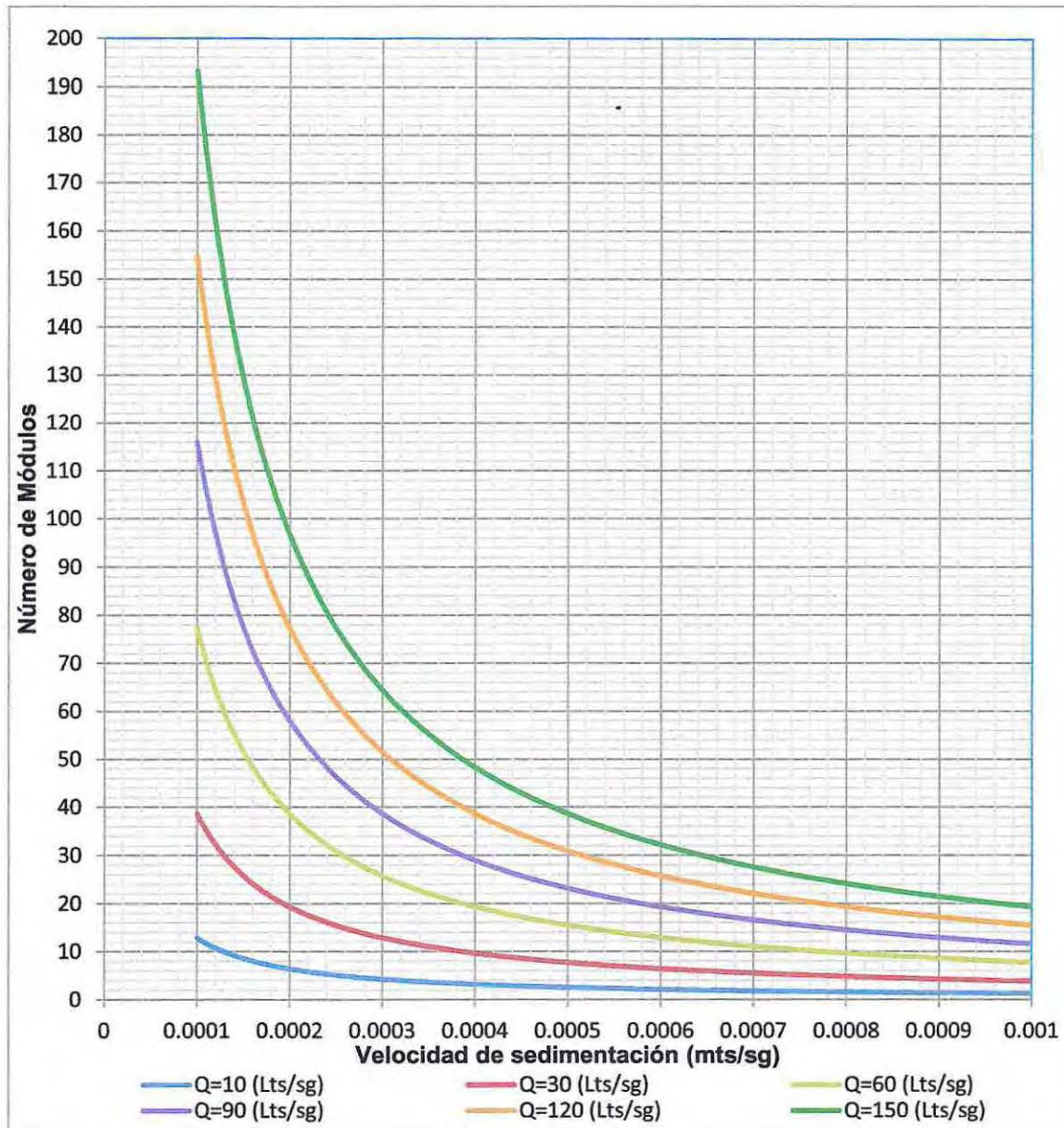


Figura 5.5- Número de módulos HIPS para caudales menores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

De la misma manera, en la figura 5.6 se muestra la cantidad de módulos a emplear de acuerdo a los caudales a tratar superiores a 150 (Lts/sg).

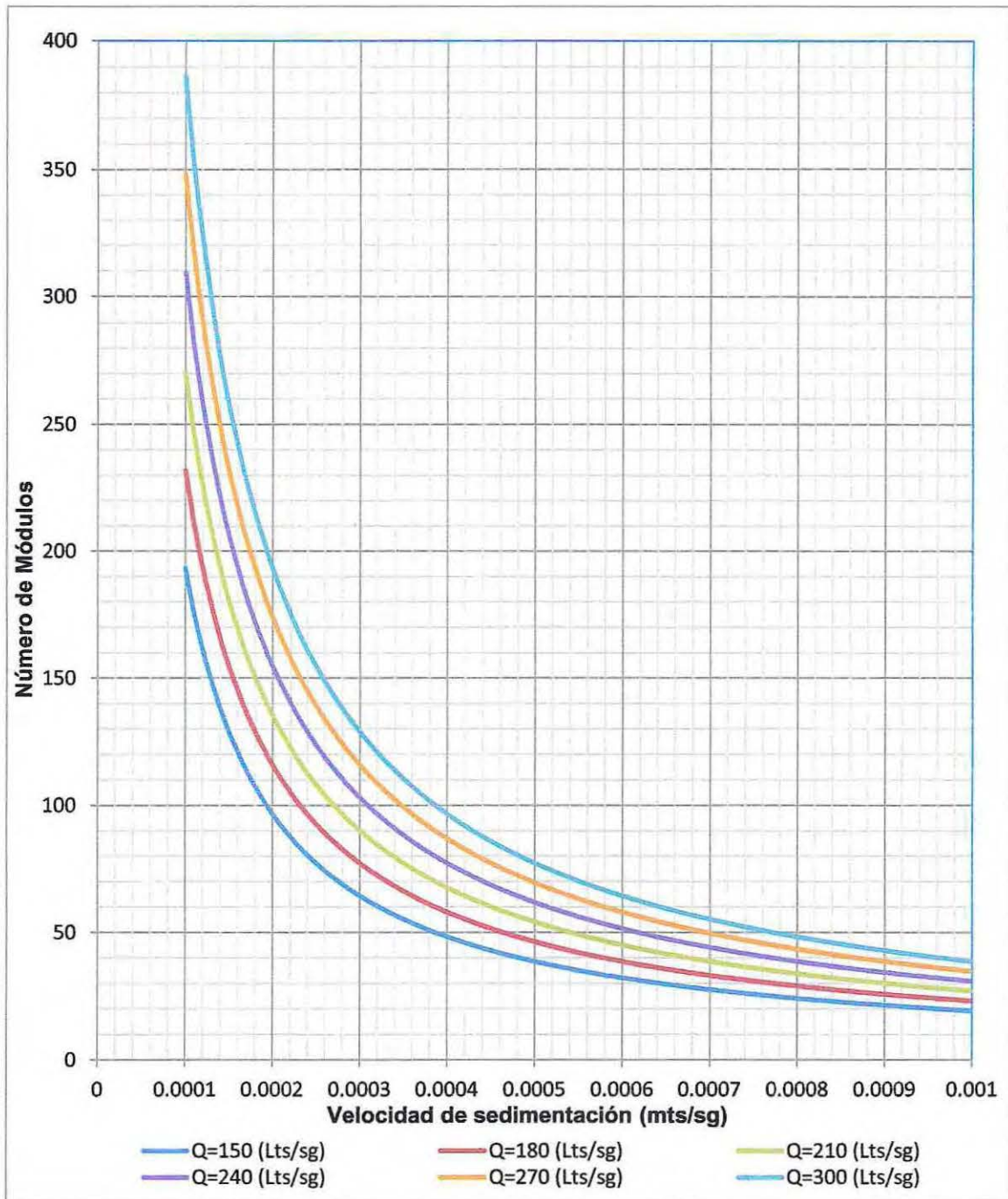


Figura 5.6- Número de módulos de HIPS para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
 Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

A su vez en las figuras 5.7 y 5.8 se presentan las superficies requeridas de módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS) para caudales a tratar menores y mayores a 150 (Lts/sg) respectivamente.

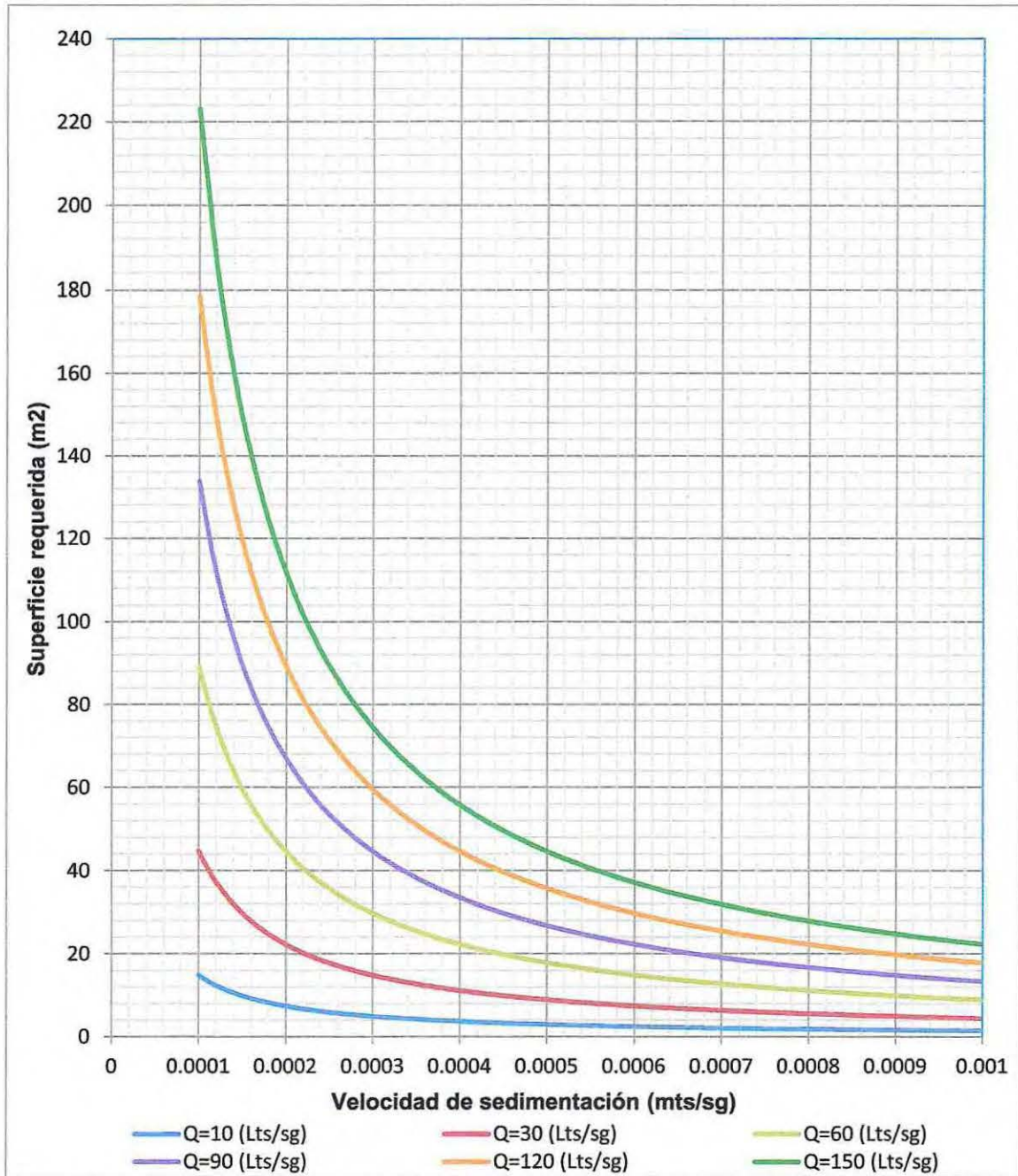


Figura 5.7- Superficie requerida de módulos de HIPS para caudales menores a 150 (Lts/sg). Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

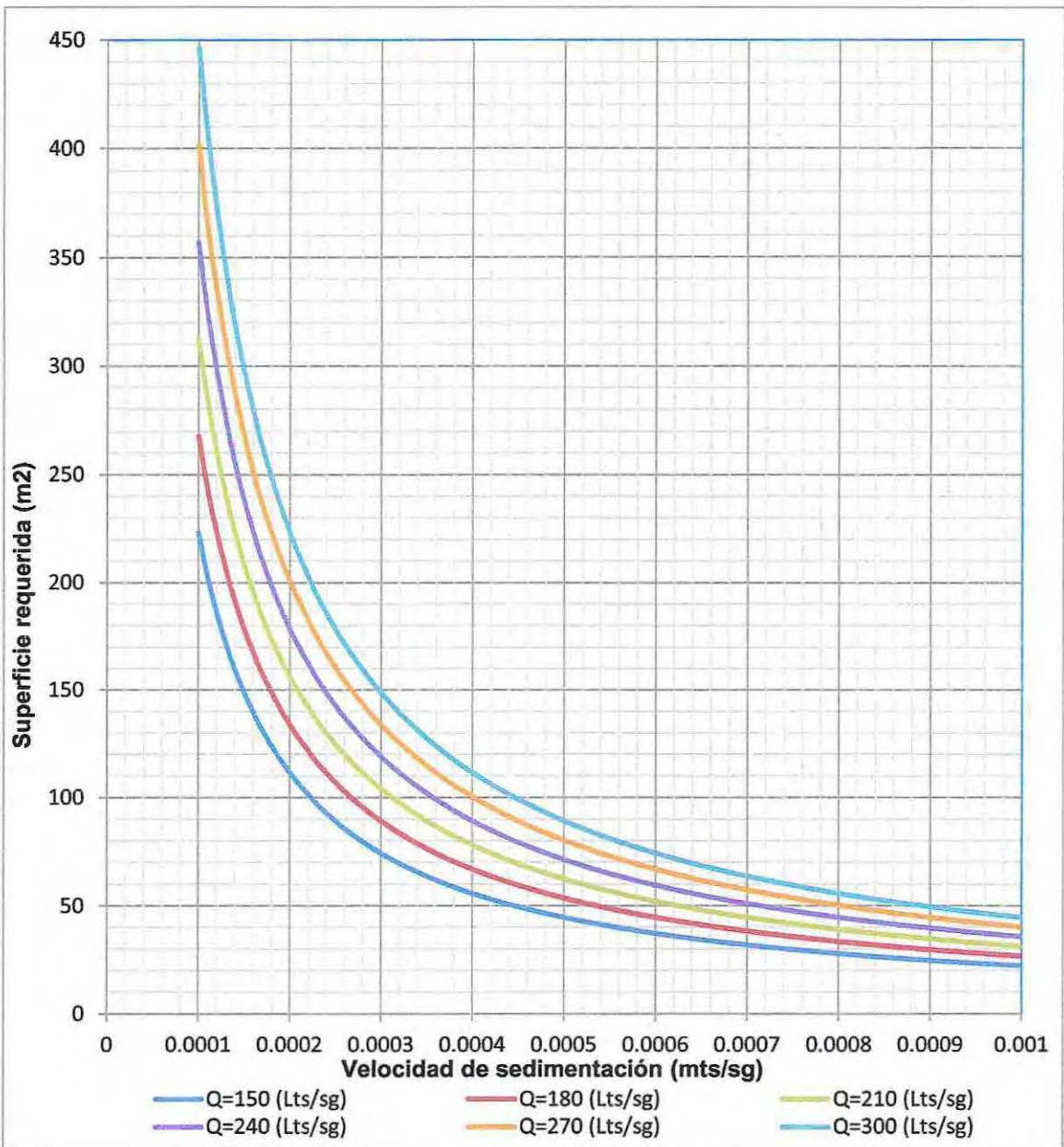


Figura 5.8- Superficie requerida de módulos de HIPS para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

5.2.5 Costos de inversión y operación

A partir de datos recopilados de diferentes proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores, se pudo obtener de manera preliminar los porcentajes de la estructura de costos de inversión para un sistema de sedimentación de alta tasa de módulos de HIPS. En general esta cuenta con los siguientes puntos:

- Módulos de HIPS (65% de la inversión total).
- Obra civil (20% de la inversión total).

- Ingeniería y dirección (10% de la inversión total).
- Varios (5% de la inversión total).

A continuación en la figura 5.9, se entregan las curvas de costos de estos sistemas de sedimentación de alta tasa, indicando los costos de inversión y el valor actualizado de costos, considerando una tasa de descuento de un 7% y un horizonte de análisis de 20 años. En el anexo A, tabla A.3 del presente trabajo se detalla el análisis de costos para este tipo de módulo.

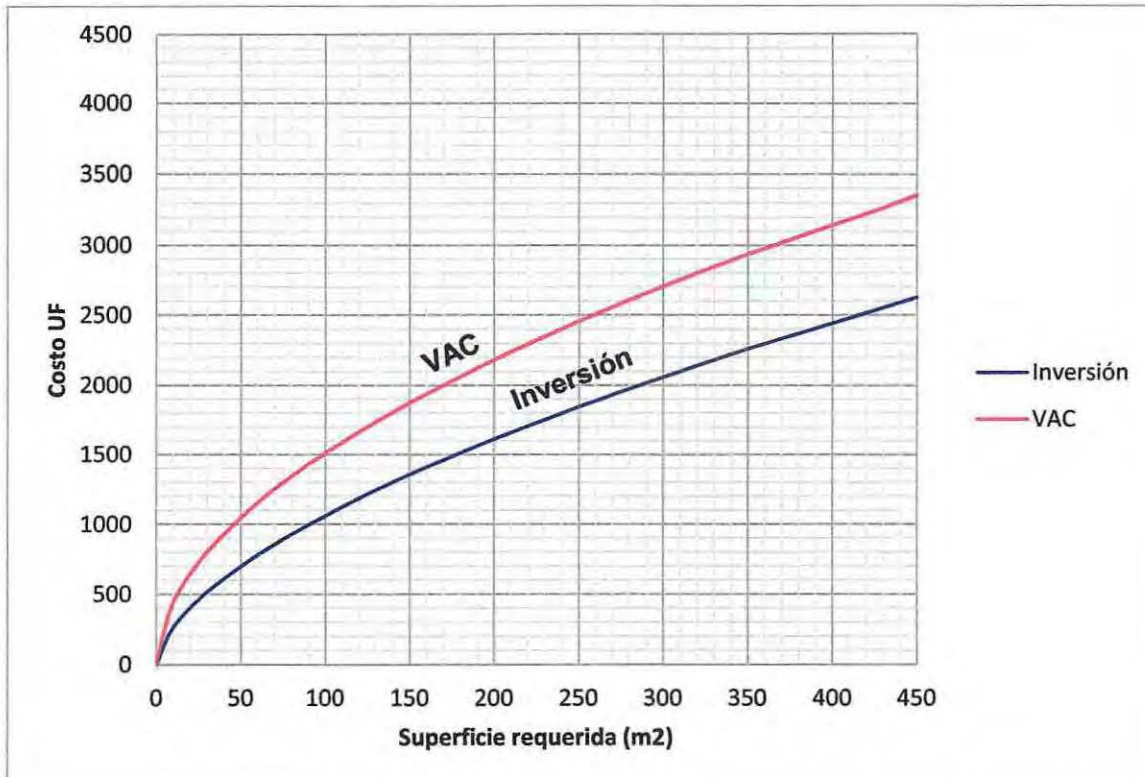


Figura 5.9- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de HIPS.
Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

A partir de las curvas obtenidas se puede estimar que la inversión para la incorporación de estos sistemas a los sedimentadores convencionales es aproximadamente 66.6 (UF/m²), mientras que el valor agregado de costos asciende hasta los 131.8 (UF/m²).

5.3 Módulos de policloruro de vinilo (PVC)

5.3.1 Características generales

Este tipo de módulos utiliza placas de Policloruro de vinilo (PVC) cuadrados, formando así una serie de conductos tubulares (ver figura 5.10), con una inclinación de 60° que permiten incrementar la capacidad de sedimentación de los decantadores para agua potable.

Su diseño de tubos individuales ascendentes en una misma dirección elimina corrientes de mezcla y patrones de flujos inestables, además son inerte a los compuestos utilizados normalmente en el tratamiento de agua.

La forma y configuración del módulo está contemplada para minimizar el número de Reynolds y crear un flujo laminar para una rápida sedimentación de sólidos. Esta mejora en la sedimentación, reduce el uso de coagulantes químicos y el requerimiento de retrolavados en los filtros posteriores a esta etapa.

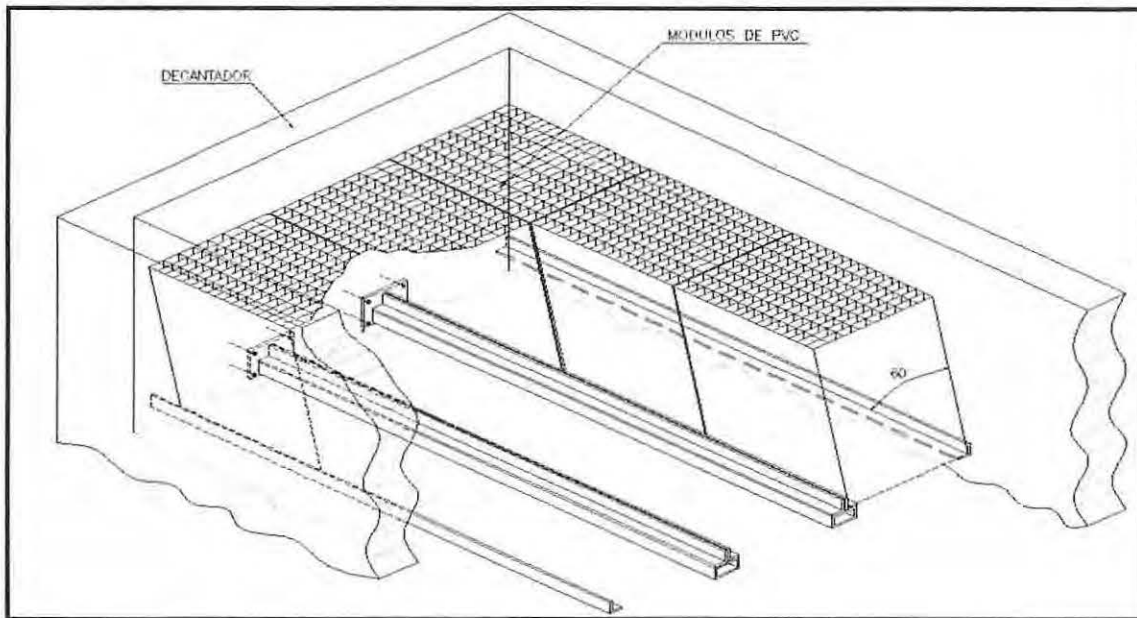


Figura 5.10- Módulos rectangulares de PVC Fuente: Consultora ICC-COVIL.

Estos módulos son de un ancho máximo de 1.2 (m) por 1.0 (m) de largo, para que sean manejables en relación a su colocación y transporte. Sus medidas se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2- Características físicas módulos de PVC.

Características	Medidas
Longitud (l)	1.0 (m)
Inclinación (θ)	60°
Dimensión cuadrado	5(cm) x 5 (cm)
Espesor (ep)	1 (mm)

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Instalación

Durante la instalación del módulo, debe tomarse especial cuidado para evitar daño a los mismos. Suficiente madera u otros materiales adecuados deben ser proporcionados para entarimar temporalmente sobre estas áreas frecuentemente transitadas para prevenir daño a los módulos durante la instalación.

Los módulos deben ser instalados lo más cerca posible de los módulos adyacentes sin que lleguen a dañarse. Cada módulo debe ser instalado por su cara más larga de forma tal que queden paralelos entre ellos. La estructura de soporte para este tipo de módulos debe realizarse de manera que no obstruya el flujo ascendente del agua, debiendo diseñarse para una carga muerta de 19.5 (Kg/m²) y una carga viva 63.5 (Kg/m²) por cada nivel de módulo.

5.3.3 Mantenimiento

Para el lavado de los módulos de PVC se recomienda realizar lo siguiente:

- Con el decantador lleno de agua, se empieza a manguerear la superficie del módulo de PVC con agua a presión, se recomienda una presión no superior a los 6/8 bares, se deben ir lavando los módulos de forma continuada por lo que se recomienda usar más de un operario para la actuación. A medida se va manguereando toda la superficie del módulo, se debe bajar lentamente el nivel de agua en el sedimentador, sobre todo mientras ese descenso incide en la longitud/altura de los módulos, incluso proceder al cierre de válvulas (por cortos espacios de tiempo) para poder asegurar la homogeneidad del lavado, diluyendo la materia orgánica depositada/adherida en las paredes de los tubos, evitando que las mismas se reseque y pueda reducir capacidad de deslizamiento de las partículas, minimizando de esta forma la efectividad del proceso e inclusive la vida útil de los módulos.
- A medida se vaya vaciando el decantador, siempre manguereando agua desde la superficie, es muy importante tener el rascador o el sistema de extracción de lodos en marcha, ya que la cantidad de lodos recogida tiende a ser elevada, una perfecta recogida del lodo asegura un mayor rendimiento.
- Una vez vaciado el decantador se procede a la inspección interna de los equipos, para acceder al interior del decantador se procede a retirar uno de los módulos para permitir la colocación de una escalera o un elemento apropiado para permitir el descenso, habitualmente hay que desarmar parte del sistema anti-flotante para poder retirar el módulo.

En relación al punto anterior, las partes a revisar de este tipo de módulos son:

- La estructura de soporte, en donde se debe determinar si hay corrosión o degradación en caso de que sea hierro.
- Revisar si están apoyados correctamente sobre la estructura de soporte.
- Determinar si hay zonas del módulo que todavía estén obturadas de lodo, en ese caso es importante averiguar el motivo, pues puede que se formen canales preferenciales lo que disminuye la eficiencia de la estructura modular.
- En el proceso de llenado es de vital importancia llenar despacio el decantador y asegurar que los módulos no floten, el empuje hidráulico en el llenado es considerable, por lo que a veces estos módulos se mueven de sitio y caen fuera de la estructura de soporte, habitualmente se presentan estos movimientos cuando existe un vaciado o llenado del sedimentador y también cuando existe un vertido de agua incontrolado que provoca un mayor empuje hidráulico.

En relación a este punto se recomienda lo siguiente:

- Antes de acceder al interior de los sedimentadores para su inspección se debe asegurar que las vigas de soporte de los módulos no han cedido, ya que a veces cuando se

dimensionan estas estructuras solo se hacen contemplando el peso de los módulos y no se considera el peso del lodo, de esta manera a modo de ejemplo si un m^3 de módulos pesa 50kg en vacío, con una carga de un 100% de lodos el peso aumenta a 1300kg, por lo que se recomienda asegurar la estructura de soporte antes de acceder al interior de este. Este procedimiento de limpieza de lodos se debe realizar como mínimo una vez al año.

- Cuando el sedimentador quede limpio es totalmente necesario volverlo a llenar de agua, ya que la exposición continuada y por mucho tiempo al sol, podría acarrear problemas en la cadena molecular de la materia prima de los módulos o los perfiles de la estructura de soporte, produciendo roturas a medio plazo.
- En caso de quedarse los módulos a la intemperie sin estar cubiertos por el agua, durante un periodo largo de tiempo, se recomienda cubrirlos con una lona para evitar el contacto directo con el sol.

- Hay que considerar que la producción de fango de un sedimentador de alta tasa es aproximadamente 4 veces superior a la producción en un sedimentador convencional, a partir de esta premisa, es importante dotar de un perfecto sistema de extracción del fango interior para evitar que los módulos se colapsen.

5.3.4 Ventajas

Algunas de sus ventajas más significativas son:

- Pueden ser usados en cualquier sedimentador rectangular o circular, reduciendo los tiempos de sedimentación de estas estructuras.
- Rígidos, al poseer una estructura estable.
- Fácil instalación.
- Buena resistencia y durabilidad a largo plazo.
- Inerte a los compuestos utilizados en el tratamiento de aguas.
- La calidad del efluente, puede ser incrementado significativamente con el uso de este tipo de módulos.

Los módulos de placas de PVC, HIPS, u otros materiales termoplásticos concebidos de forma hexagonal tipo "colmena", cuadrados, semicirculares, etc. son, por definición, frágiles, no son como las placas utilizadas, hasta no hace mucho, de asbesto cemento, (prohibidas en muchos países por su contenido en elementos cancerígenos), o como las planchas planas de PP, PVC (espesor 3mm) implementadas en paralelo entre perfiles de acero e inclusive placas en acero inoxidable inclinadas. Por lo tanto deben tratarse con cuidado para evitar roturas o deterioro en alguna de sus partes.

Al trabajar con las ecuaciones 5.1, 5.2 y con las características de este tipo de módulos según la tabla 5.2, se puede obtener una relación que permite identificar de manera preliminar el área y/o la cantidad de módulos a emplear según el caudal que se requiere tratar y su respectiva velocidad de sedimentación definida para el proyecto.

De esta manera se obtienen las tablas B.5 y B.6, para la determinación del área requerida y las tablas B.7 y B.8 para la determinación del número de módulos a emplear. Estas tablas se pueden observar en el anexo B del presente trabajo.

A continuación en la figura 5.11 se muestra la cantidad de módulos de policloruro de vinilo (PVC) necesarios para tratar caudales menores a 150 (Lts/sg).

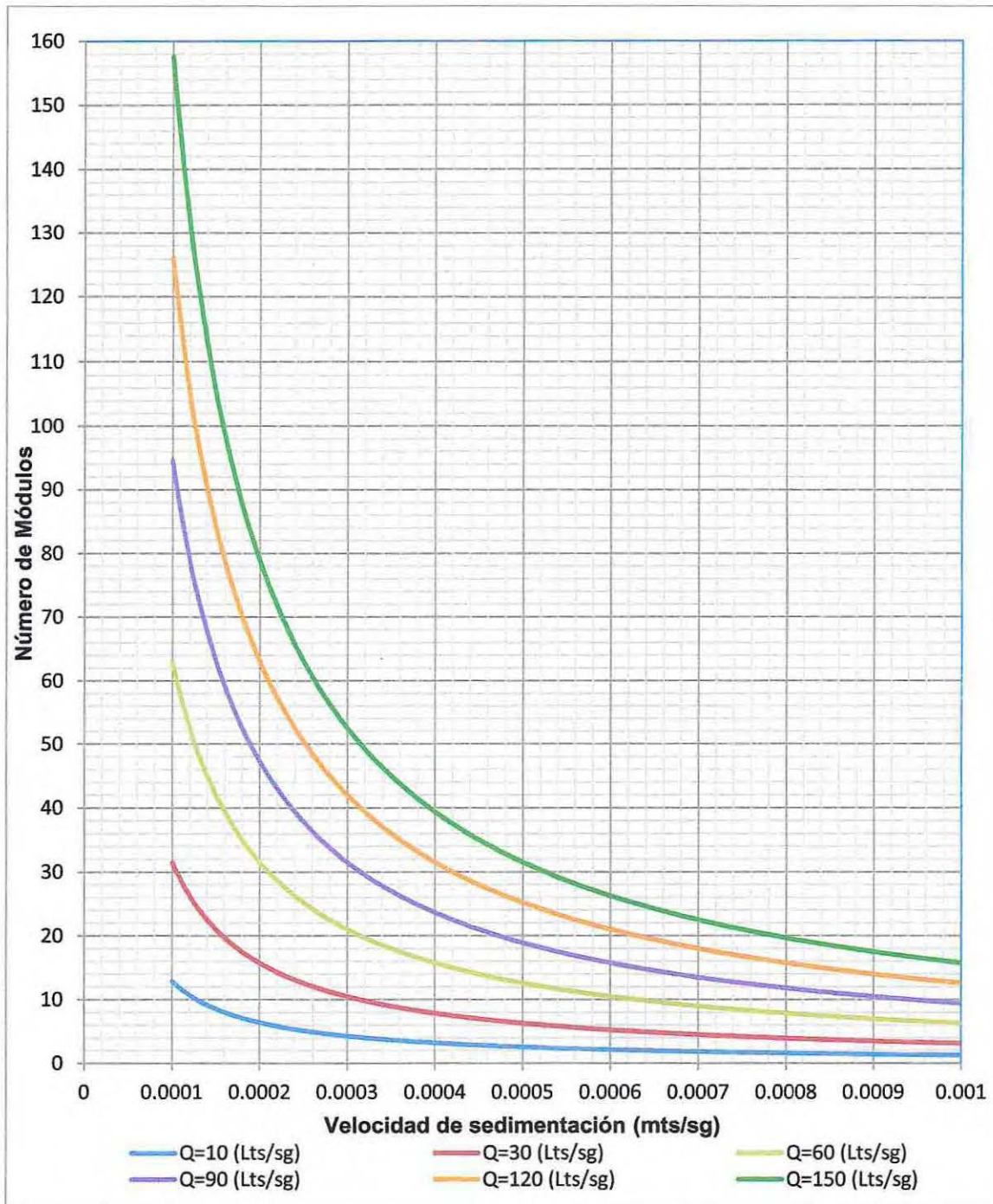


Figura 5.11- Número de módulos de PVC para caudales menores a 150 (Lts/sg).
 Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

De la misma manera, en la figura 5.12 se muestra la cantidad de módulos a emplear de acuerdo a los caudales a tratar superiores a 150 (Lts/sg).

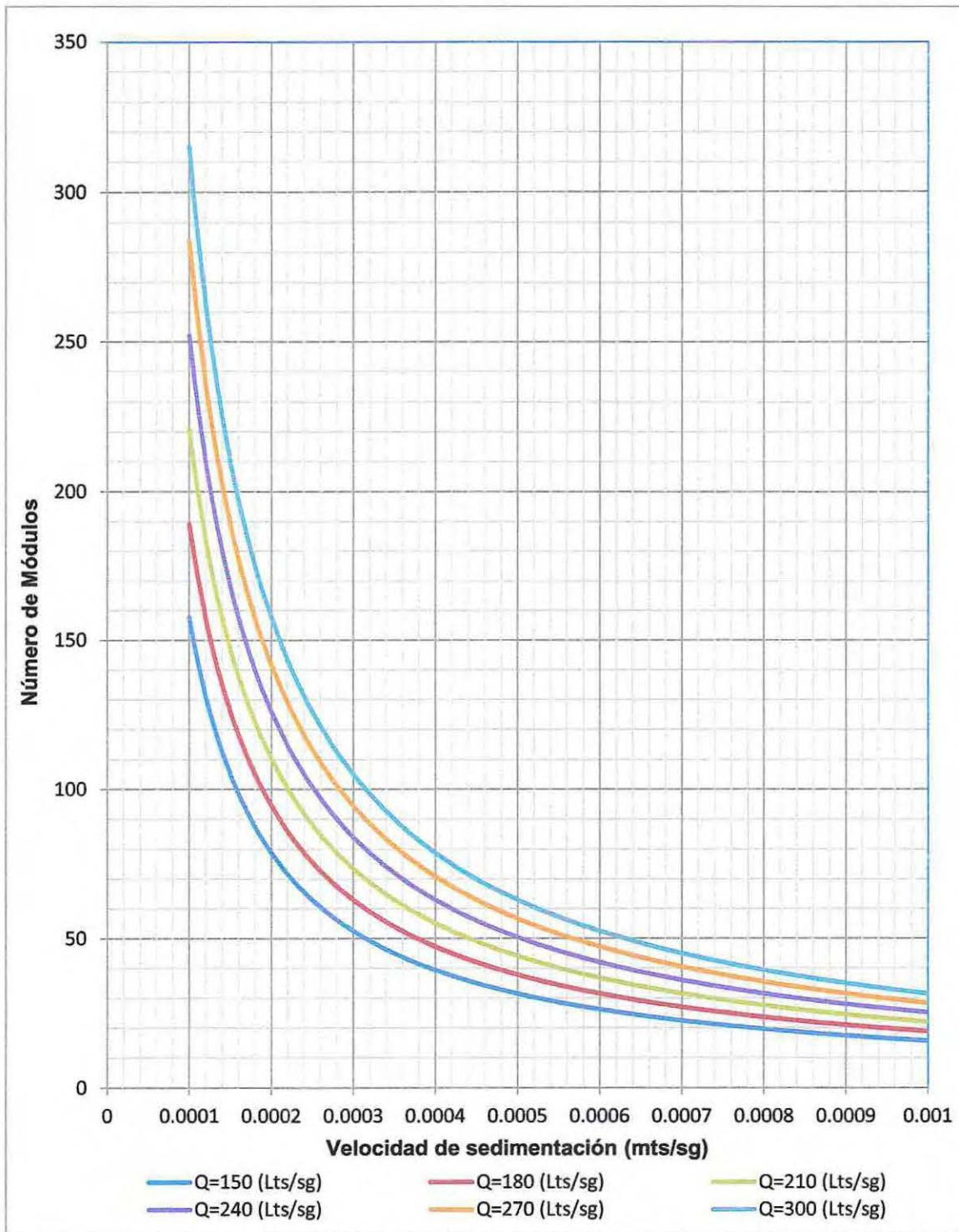


Figura 5.12- Número de módulos de PVC para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

A su vez en las figuras 5.13 y 5.14 se presentan las superficies requeridas de módulos de policloruro de vinilo (PVC) para caudales a tratar menores y mayores a 150 (Lts/sg) respectivamente.

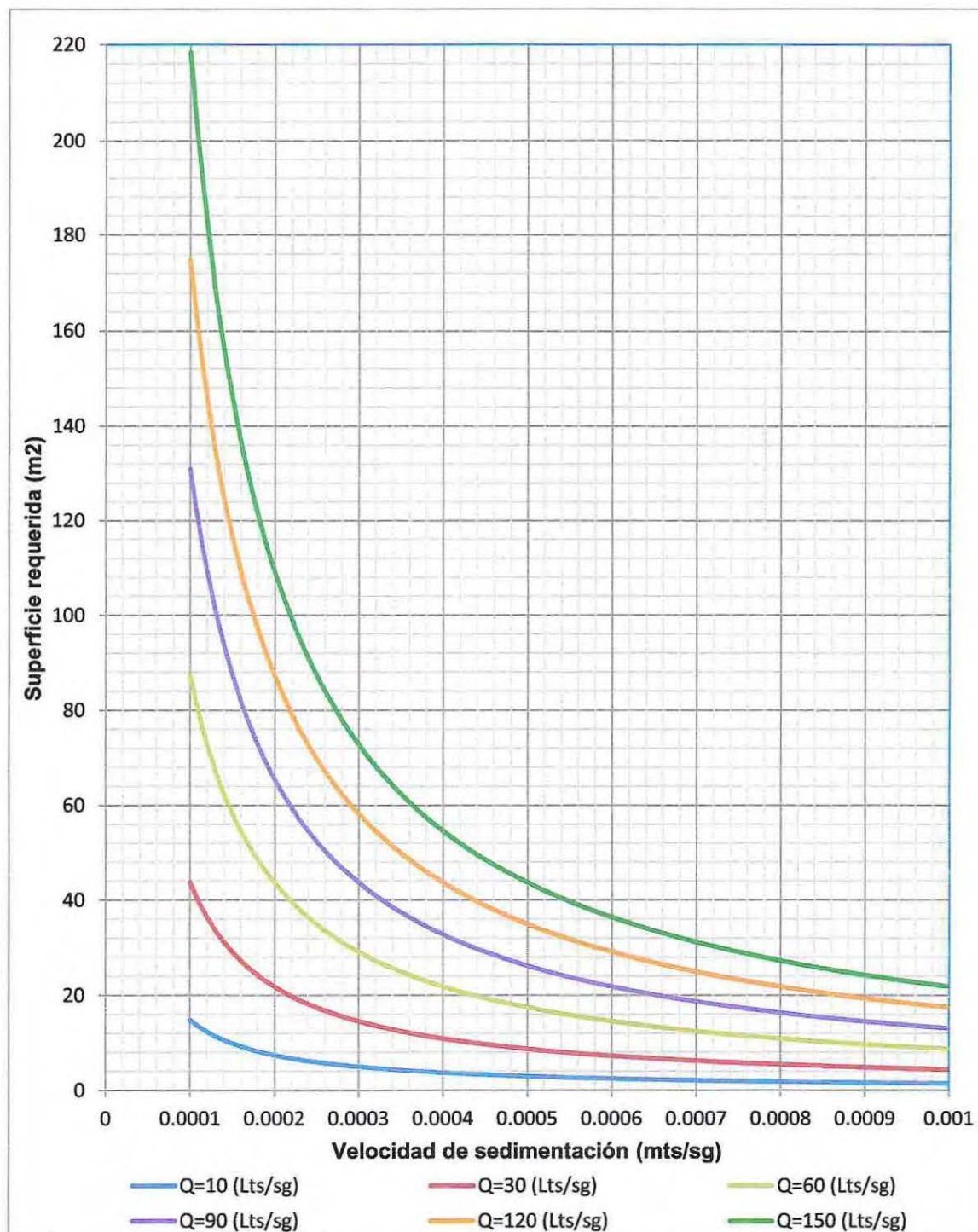


Figura 5.13- Superficie requerida de módulos de PVC para caudales menores a 150 (Lts/sg). Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

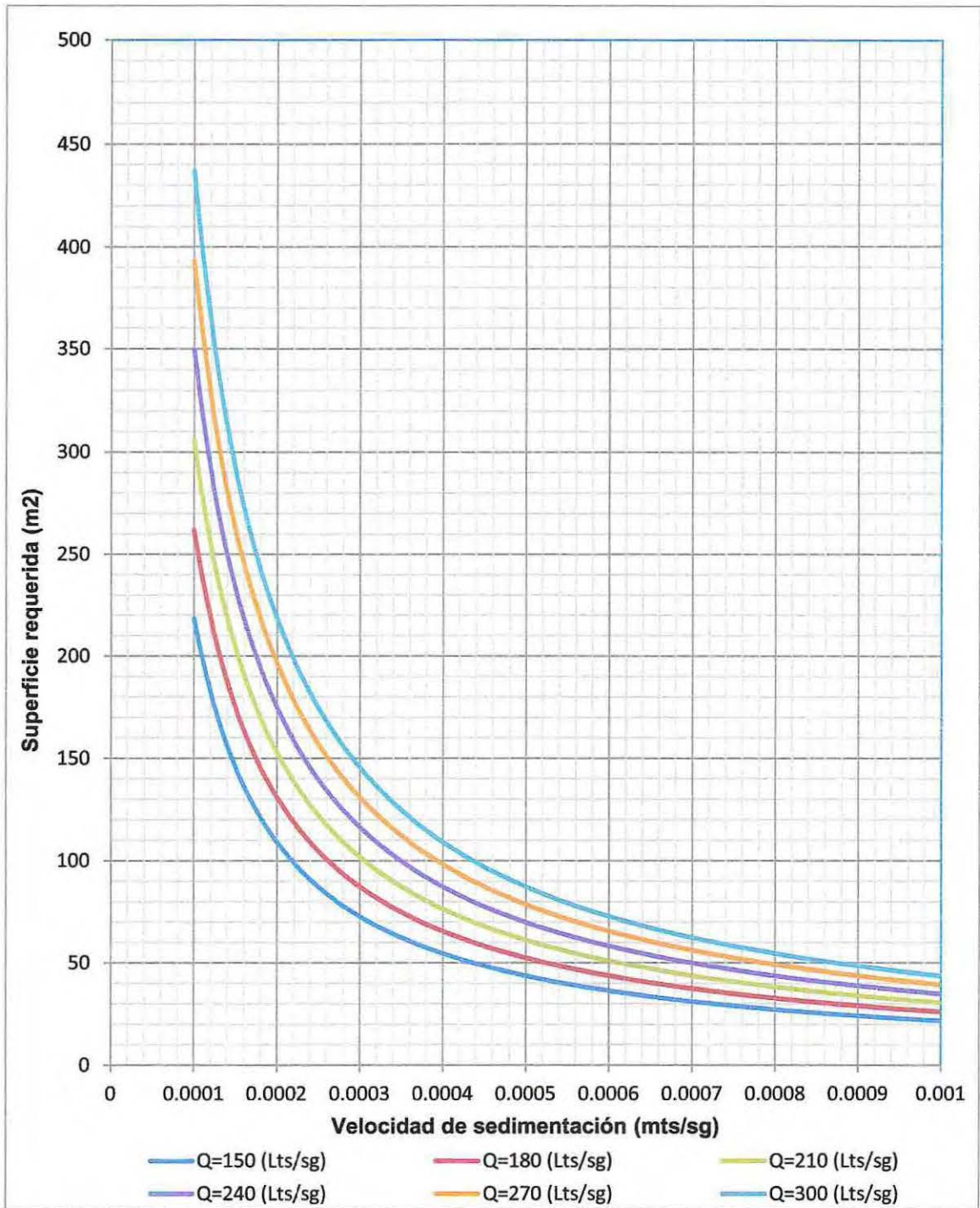


Figura 5.14- Superficie requerida de módulos de PVC para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

5.3.5 Costos de Inversión y operación

Como se planteo anteriormente, los datos para este análisis fueron recopilados de diferentes proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores, de esta manera se pudo obtener los porcentajes de la estructura de costos de inversión para un sistema de sedimentación de alta tasa de módulos de PVC, la cual es similar los módulos de HIPS. De esta manera la estructura de costos es la siguiente:

- Módulos de PVC (65% de la inversión total).
- Obra civil (20% de la inversión total).
- Ingeniería y dirección (10% de la inversión total).
- Varios (5% de la inversión total).

A continuación en la figura 5.15, se entregan las curvas de costos de estos sistemas de sedimentación de alta tasa, indicando los costos de inversión y el valor actualizado de costos, considerando una tasa de descuento de un 7% y un horizonte de análisis de 20 años. En el anexo A, tabla A.2 del presente trabajo se detalla el análisis de costos para este tipo de módulo.

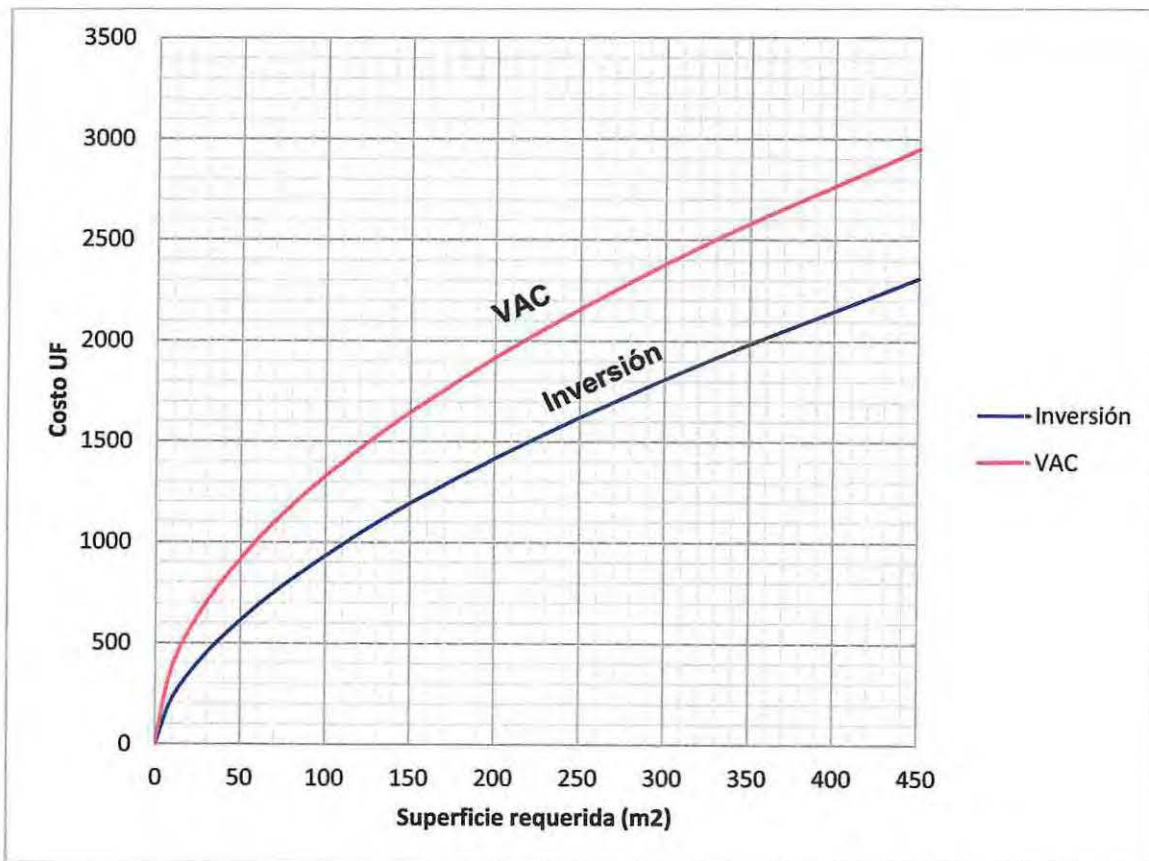


Figura 5.15- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de PVC.

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

A partir de las curvas obtenidas se puede estimar que la inversión para la incorporación de estos sistemas a los sedimentadores convencionales es aproximadamente 57.85 (UF/m²), mientras que el valor agregado de costos asciende hasta los 114.65 (UF/m²).

5.4 Placas planas de polipropileno (PP)

5.4.1 Características generales

Este tipo de placas está compuesta de un material termoplástico como el polipropileno (PP), de 2.4 metros de ancho por 1.2 de longitud, colocadas paralelamente formando un ángulo de 60° con la horizontal. De acuerdo a lo analizado en el presente capítulo, las placas planas poseen en general una mayor remoción de partículas que las tubulares.

Tabla 5.3- Características físicas de placas planas de PP

Características	Medidas
Longitud (l)	1.2 (m)
Inclinación (θ)	60°
Espaciamiento (e)	6 (cm)
Espesor (ep)	3 (mm)

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Instalación

Su instalación es más compleja en relación a las anteriores alternativas, debido a que al ser placas individuales de 2.4 (m) de ancho pueden sufrir pandeo y producir por ende una deflexión significativa cuando están inclinadas a 60° y soportadas solo en sus extremos [23].

Para una correcta instalación es necesario colocar separadores al centro de las placas, de forma que se apoyen unas con otras, con lo que se evita la deflexión excesiva. Estos separadores pueden ser de perfiles "U" los cuales se aseguran con tornillos.

El apoyo de las placas en sus extremos es lo que más difícil de la instalación, el sistema más usado para llevar a cabo esta faena es la colocación de perfiles de acero de 1"x 1"x 1/4", debidamente protegido contra la corrosión, con ranuras convenientemente dispuestas para sujetar las placas en la parte superior e inferior. En algunos casos solamente se colocaran apoyadas en la parte baja y con separadores en el medio de estas.

5.4.3 Mantenimiento

Debido a que la instalación de este tipo de placas es compleja, la mantenimiento para este tipo de unidades también se hace más difícil, en relación a las reparaciones de las placas o su sistema de soporte.

En relación a la limpieza de este tipo de sistemas se requiere que el nivel de agua en el sedimentador baje lentamente y de esta manera con agua con una presión adecuada se procede a limpiar continuamente los lodos que pueden quedar en las placas deslizándose hacia el fondo del sedimentador. En esta etapa se requiere que el sistema de extracción de lodos funcione todo el tiempo que se realiza la limpieza.

5.4.4 Ventajas

Las placas planas de polipropileno poseen las siguientes ventajas:

- Alta resistencia química a los disolventes, químicamente inerte a los compuestos utilizados en el tratamiento de aguas.
- Alta resistencia a la fractura por flexión o fatiga.
- Buena resistencia al impacto a temperaturas superiores a los 15°.
- Buena estabilidad térmica.
- Buena resistencia y durabilidad a largo plazo.
- La calidad del efluente incrementa considerablemente con el uso de este tipo de placas.

Utilizando las ecuaciones 5.1, 5.2 y con las características de este tipo de placas según la tabla 5.3, se puede obtener una relación que permite identificar de manera preliminar el área y/o el número de placas a emplear según el caudal que se requiere tratar y su respectiva velocidad de sedimentación.

De esta manera se obtienen las tablas B.1 y B.2, para la determinación del área requerida y las tablas B.3 y B.4 para la determinación del número de placas a emplear. Estas tablas se pueden observar en el anexo B del presente trabajo.

A continuación en la figura 5.16 se muestra la cantidad de placas polipropileno (PP) necesarias para satisfacer caudales menores a 150 (Lts/sg).

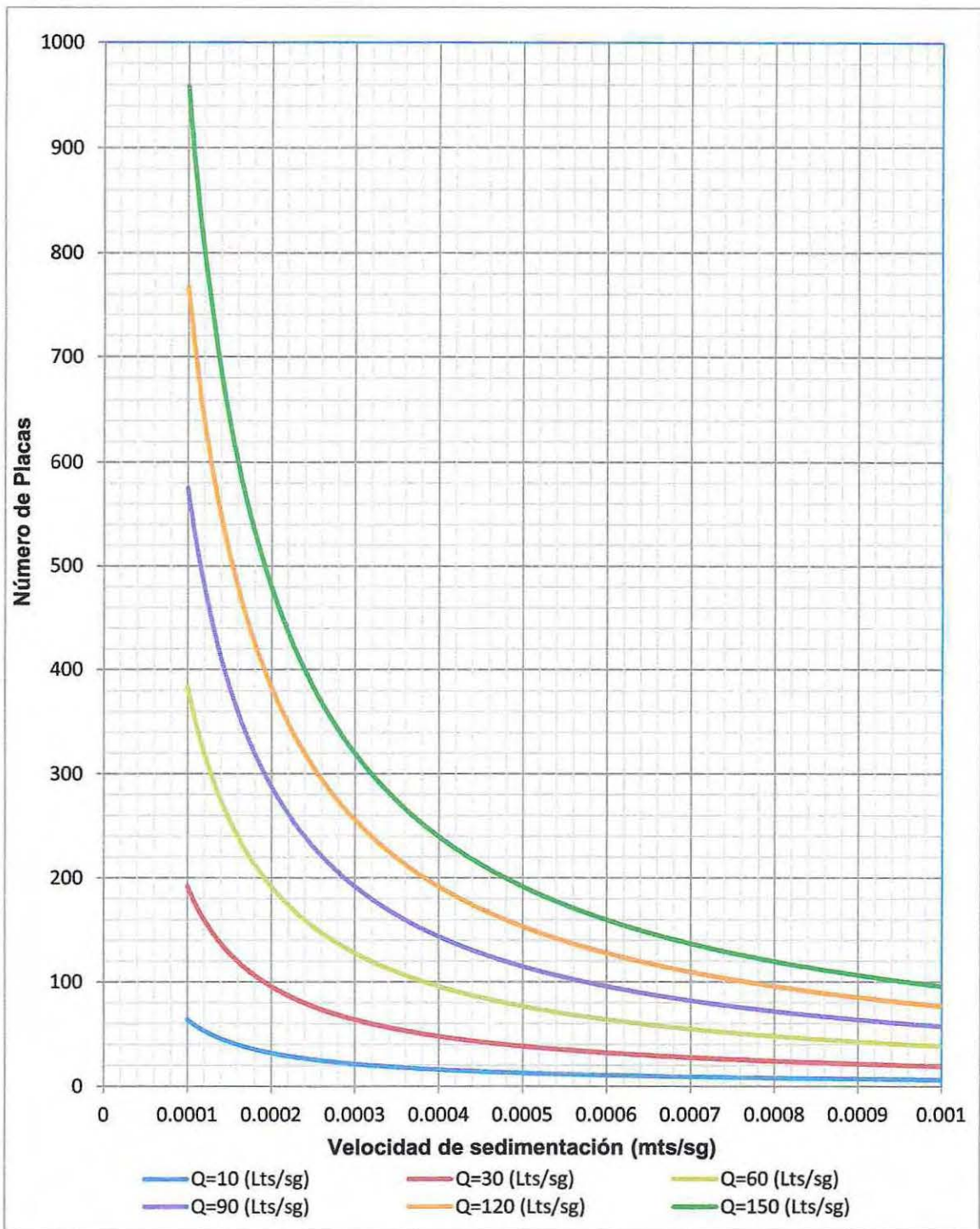


Figura 5.16- Número de Placas (PP) para caudales menores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

De la misma manera, en la figura 5.17 se muestra la cantidad de placas a emplear de acuerdo a los caudales a tratar superiores a 150 (Lts/sg).

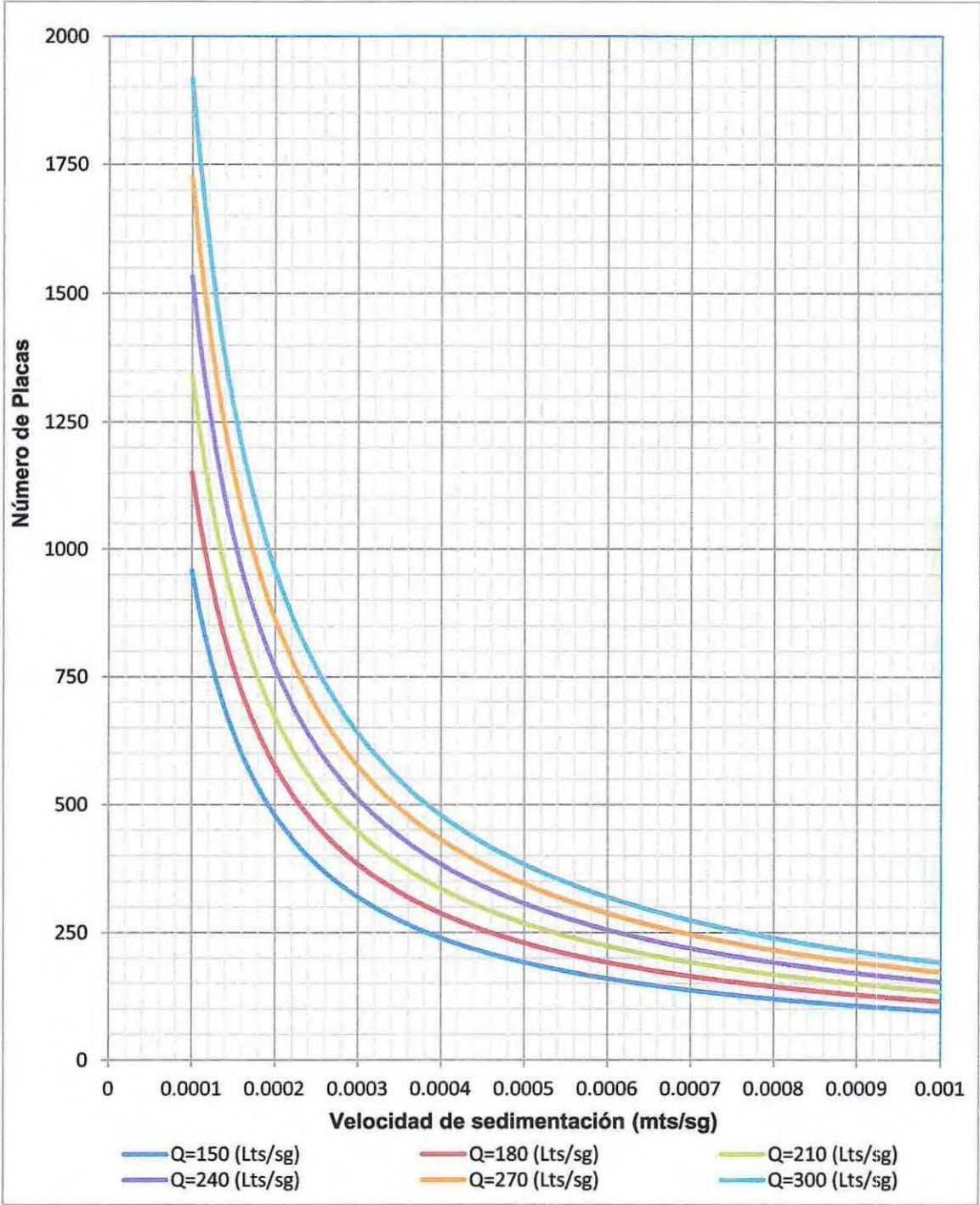


Figura 5.17- Número de Placas (PP) para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
 Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

A su vez en las figuras 5.18 y 5.19 se presentan las superficies requeridas de placas de polipropileno (PP) para caudales a tratar menores y mayores a 150 (Lts/sg) respectivamente.

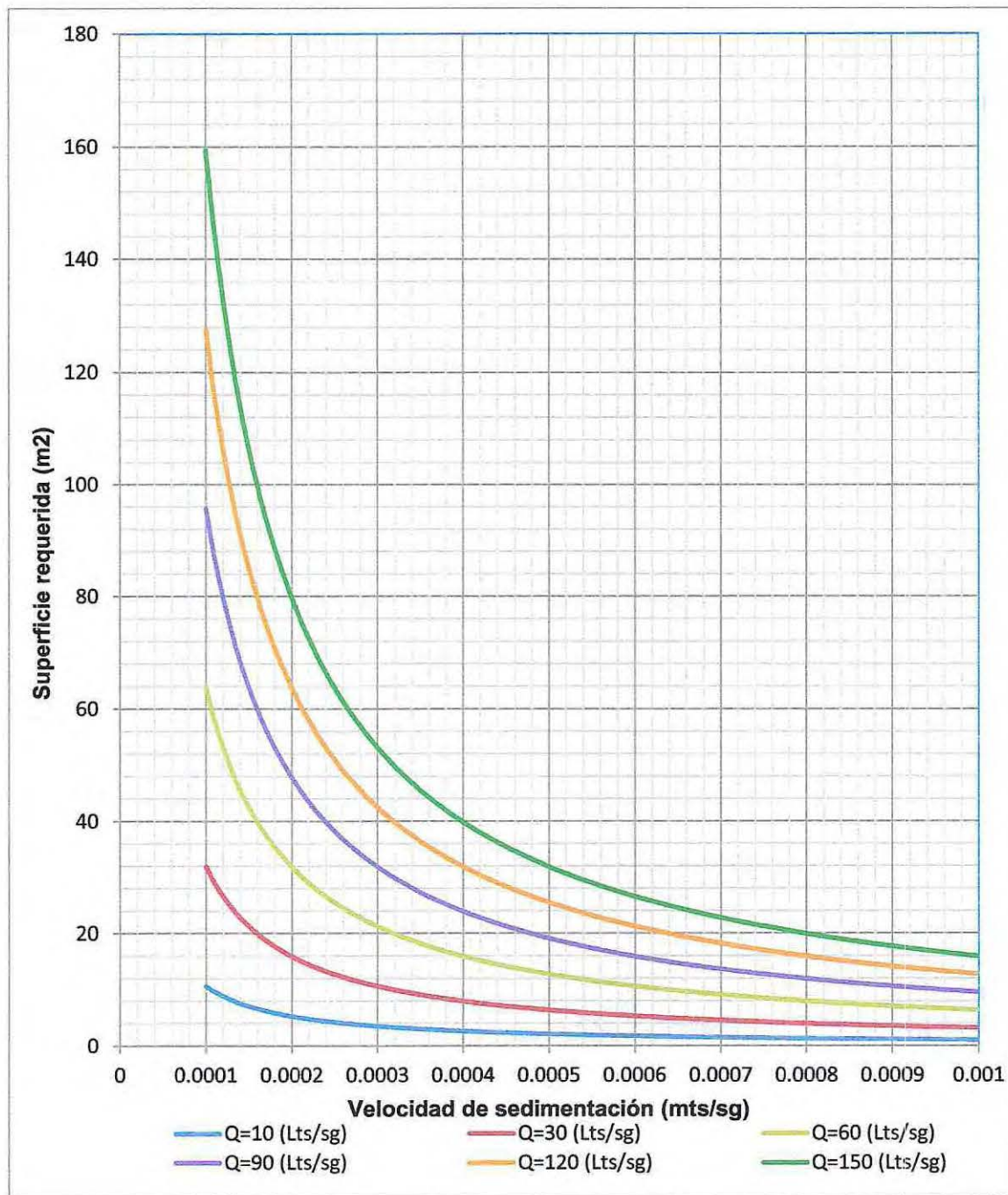


Figura 5.18- Superficie requerida de Placas (PP) para caudales menores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

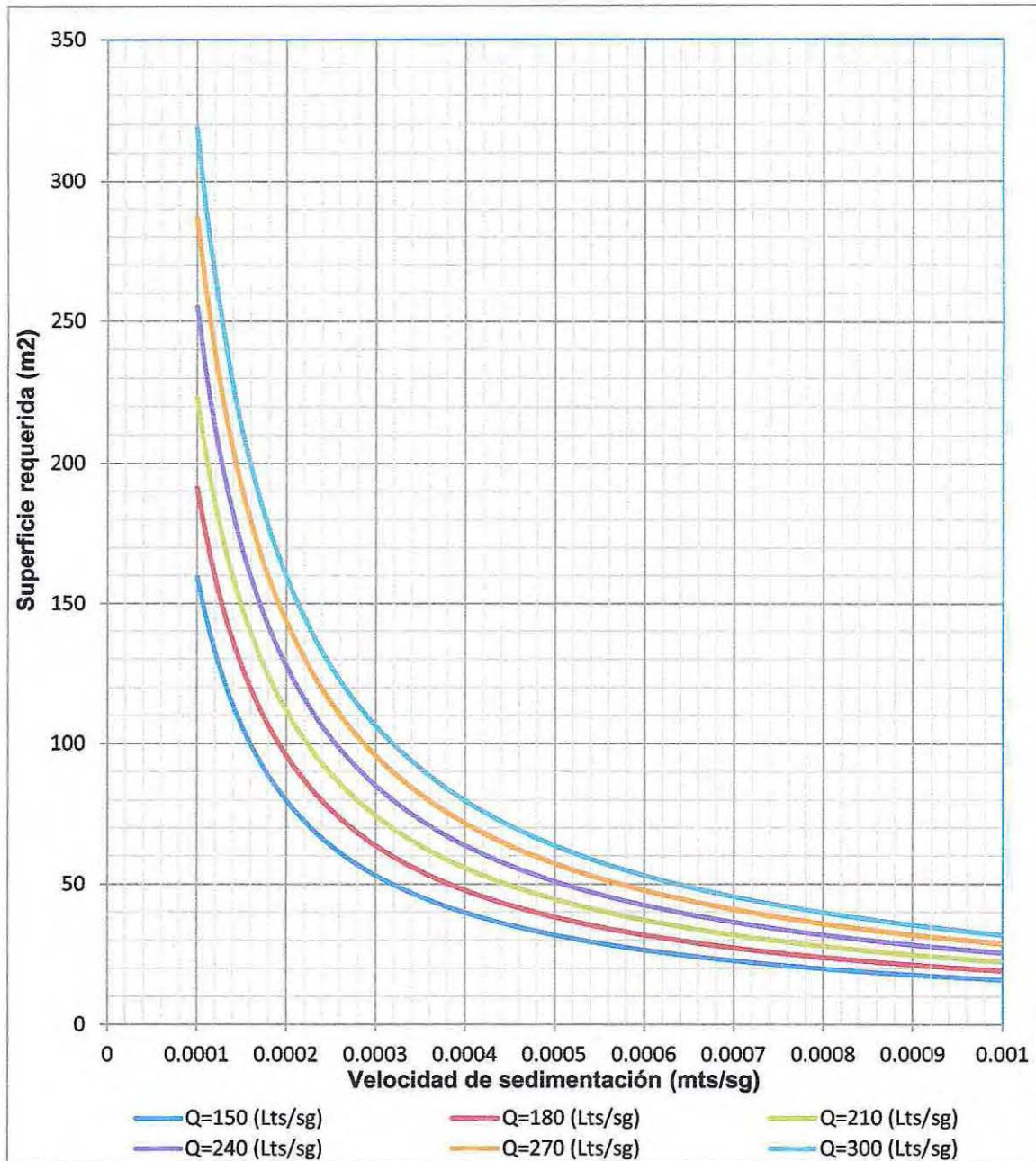


Figura 5.19- Superficie requerida de Placas (PP) para caudales mayores a 150 (Lts/sg).
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los parámetros y características consideradas en este capítulo.

5.4.5 Costos de Inversión y operación

La estructura de costos para este tipo sistemas, varía con respecto a los sistemas modulares analizados en los puntos anteriores en cuanto a los porcentajes de inversión. Esto se debe a que los sistemas de placas no son autosustentables, por lo tanto conllevan un complejo trabajo en su instalación. De esta manera la estructura de costos es:

- Placas planas de polipropileno (45% de la inversión total).
- Obra civil (35% de la inversión total).
- Ingeniería y dirección (12% de la inversión total).
- Varios (8% de la inversión total).

A continuación en la figura 5.20, se entregan las curvas de costos de estos sistemas de sedimentación de alta tasa, indicando los costos de inversión y el valor actualizado de costos, considerando una tasa de descuento de un 7% y un horizonte de análisis de 20 años. En el anexo A, tabla A.1 del presente trabajo se detalla el análisis de costos para este tipo de módulo.

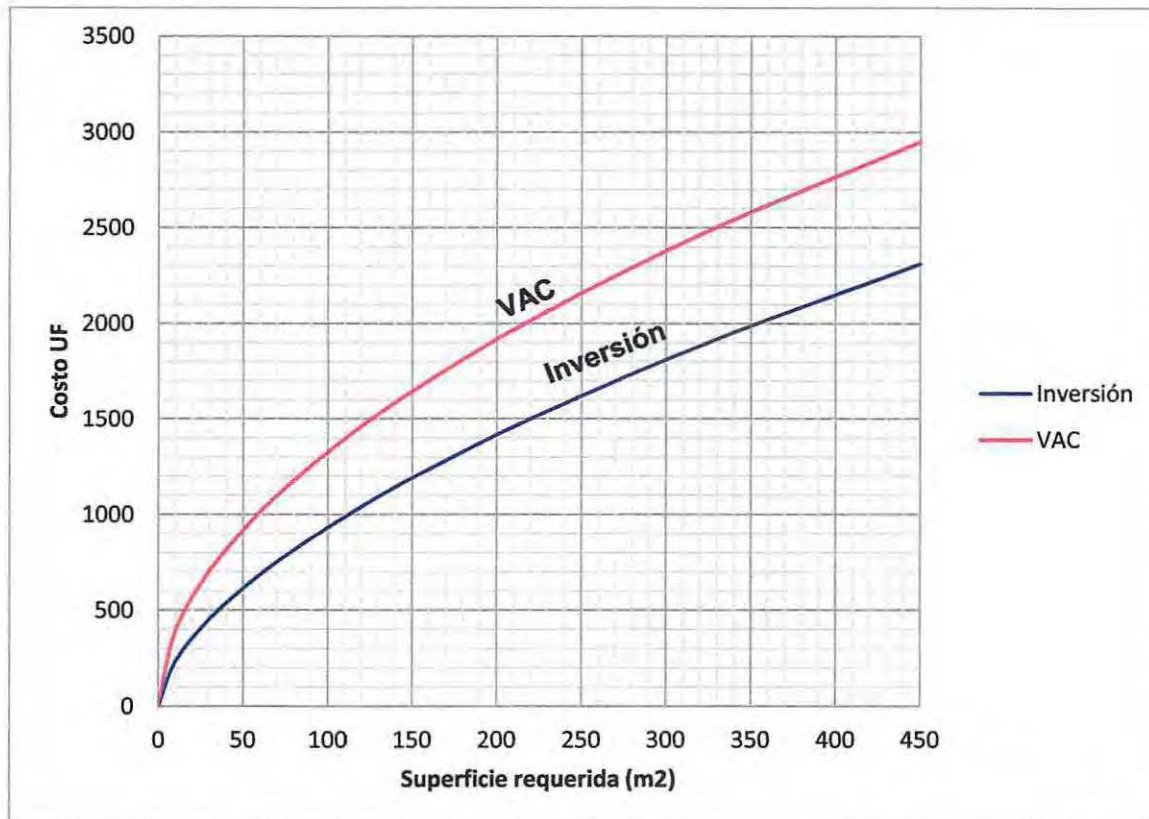


Figura 5.20- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con placas de polipropileno.
Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores

A partir de las curvas obtenidas se puede estimar que la inversión para la incorporación de estos sistemas a los sedimentadores convencionales es aproximadamente 71.51 (UF/m²), mientras que el valor agregado de costos asciende hasta los 139.9 (UF/m²).

5.5 Comparación de alternativas

En relación al análisis de las placas y módulos realizados anteriormente, se pueden establecer algunas comparaciones que permiten resumir las alternativas evaluadas, de acuerdo a diferentes parámetros.

En la figura 5.21 se observan las distintas alternativas desde el punto de vista económico, comparando los costos de inversión y el valor agregado de costos para ejecutar el proyecto de

acuerdo a la cantidad de unidades de fomento (UF) por cada unidad de superficie (m²) de sistemas de sedimentación de alta tasa a incorporar en los sedimentadores. Se puede observar claramente que el sistema de módulos de PVC es el más económico, mientras que la incorporación de placas planas de polipropileno conlleva un mayor costo.

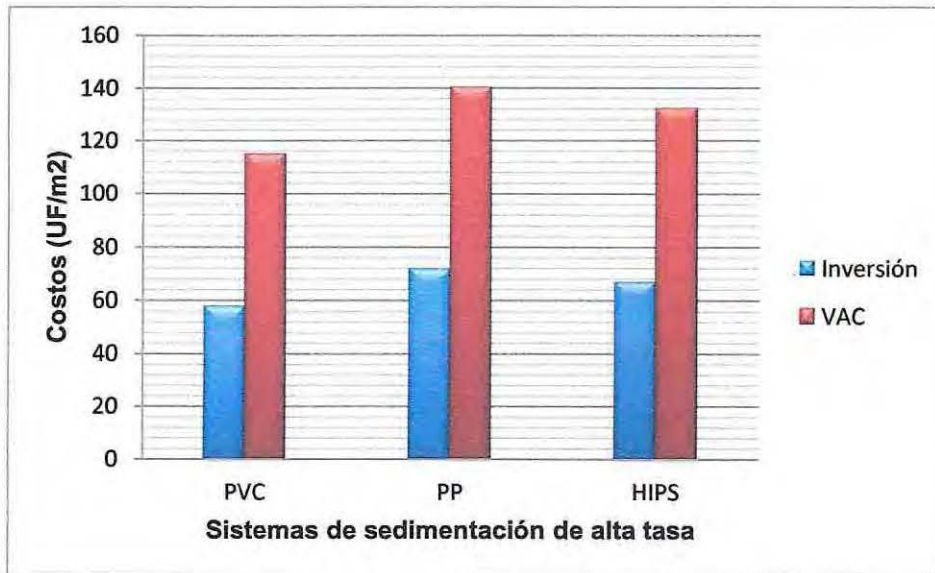


Figura 5.21- Comparación de costos unitarios de inversión y VAC. Fuente: Elaboración propia.

En relación a la ecuación 3.31 analizada en puntos anteriores, se puede establecer que la longitud relativa (L), el ángulo de inclinación de las placas (θ), la velocidad de sedimentación del flujo (V_o) y el factor de forma (Sc), juegan un papel muy importante en el rendimiento hidráulico final de cada sistema evaluado. De esta manera si solo el factor de forma (Sc) se considera variable, de acuerdo a los valores entregados en la tabla 3.2, se puede establecer que un valor bajo de Sc da un valor más pequeño de V_{sc} , lo que indica una remoción completa de las partículas más pequeñas o más livianas [22]. Teóricamente al menos, se puede establecer que las placas planas de polipropileno se comportan de mejor manera que los otros módulos analizados (ver figura 5.22).

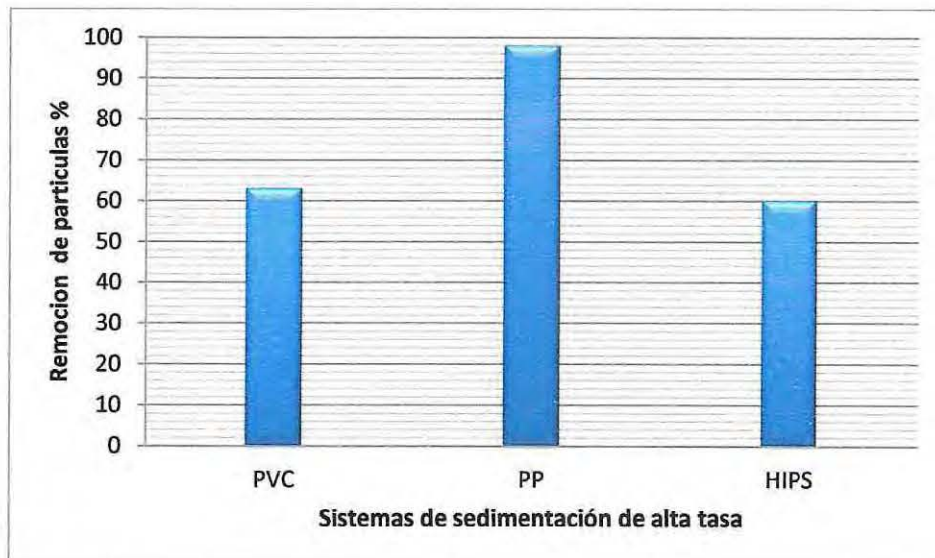


Figura 5.22- Comparación teórica de remoción de partículas. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las características de cada sistema, se generó la gráfica de la figura 5.23, en donde se compara la resistencia estructural y la facilidad de instalación de estas unidades de acuerdo a una escala de porcentaje. En base a esto se puede establecer que los módulos de HIPS dan mayor resistencia estructural al conjunto y son de fácil instalación en sedimentadores existentes. Casi en una escala similar están los módulos de PVC y muy por debajo están las placas planas de PP, las cuales son de una compleja instalación y poseen una resistencia estructural baja.

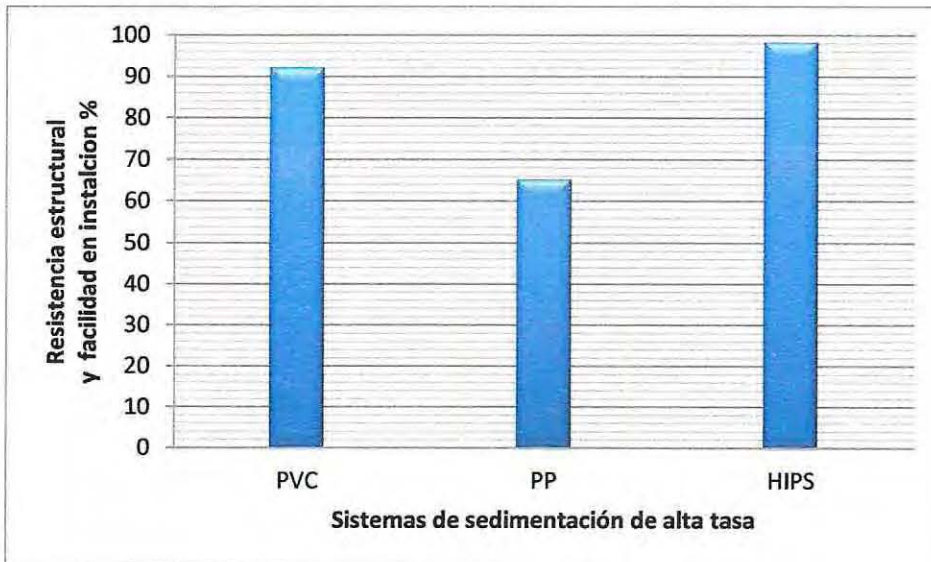


Figura 5.23- Comparación de resistencia estructural y facilidad de instalación. Fuente: Elaboración propia.

Al utilizar un caudal y una velocidad de sedimentación constante para la determinación de la superficie requerida, según las tablas correspondientes del anexo B, se pudo determinar la proporción de área a ocupar para cada alternativa. Así se obtuvo que para una cierta solicitud, las placas planas de PP ocupan una menor área, en relación a los módulos de PVC y HIPS que necesitan casi un 30% más. (ver figura 5.24)

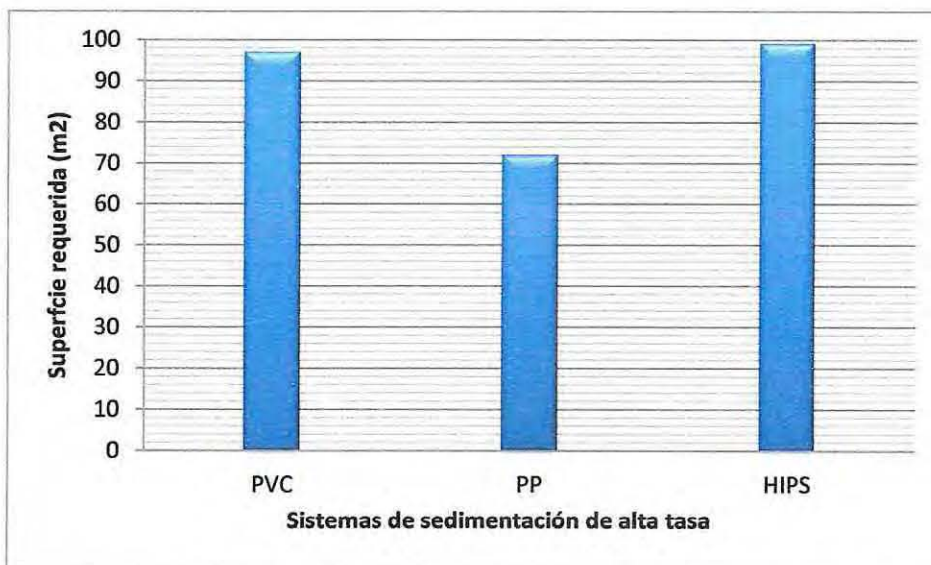


Figura 5.24- Comparación de superficie requerida. Fuente: Elaboración propia.

5.6 Metodología propuesta

Se plantea una metodología simple que permita al evaluador realizar en forma ordenada un correcto análisis de las alternativas para conocer el número de placas o módulos a emplear en un sedimentador de tal manera de aumentar su capacidad de tratamiento.

Se hace necesario recopilar toda la información disponible acerca de la localidad, ya sea clima, población, estudios anteriores, planos de construcciones, catastros etc., Que permita obtener antecedentes claves para el desarrollo del proyecto civil.

A continuación se entrega un diagrama de flujo de la metodología propuesta de evaluación, para determinar la mejor alternativa del tipo de placa o módulo a incorporar en los sedimentadores.

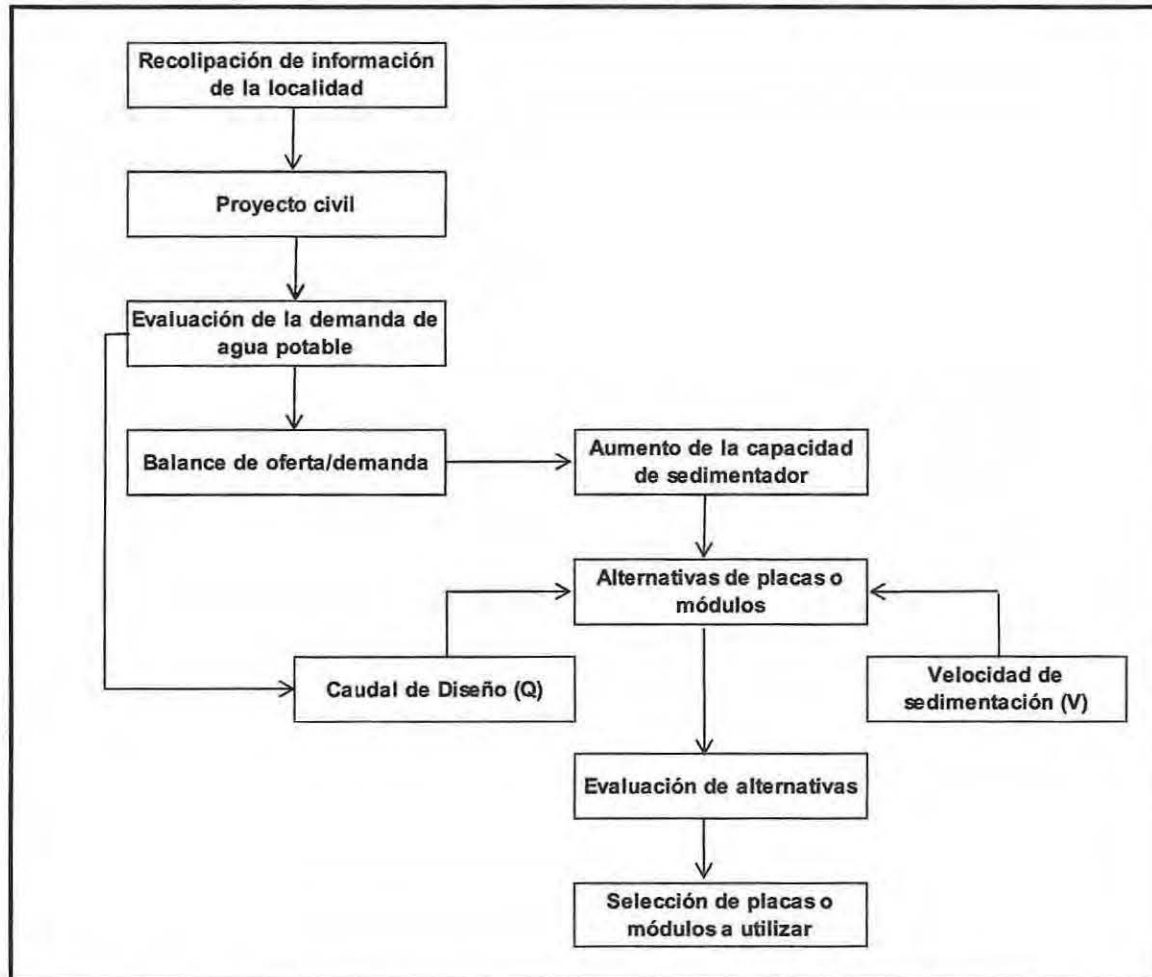


Figura 5.25- Diagrama de flujo metodología propuesta Fuente: Elaboración Propia.

5.6.1 Evaluación de la demanda de agua potable

La demanda de agua potable depende directamente de la solución propuesta en el proyecto civil, con todos los antecedentes disponibles es posible estimar el caudal diseño que permita cumplir lo demandado según la localidad en estudio.

De acuerdo a esto, se realiza un balance de oferta y demanda, de tal manera poder realizar una comparación entre la capacidad actual del sistema y la capacidad demandada proyectada en un horizonte de tiempo definido. De esta forma establecer que unidades requieren aumentar su capacidad de tratamiento. En particular si se trata de los sedimentadores se procede a observar las alternativas de placas o módulos, según la metodología propuesta de la figura 5.19.

5.6.2 Alternativas de placas o módulos

Con el estudio de la demanda y la determinación del caudal de diseño (Q), además de la obtención de la velocidad de sedimentación (V_0) de acuerdo a ensayos en laboratorio o parámetros que recomienda la literatura, definidos en el capítulo III, se procede a determinar el área y número de placas o módulos a emplear de acuerdo al análisis de las alternativas realizado en este capítulo.

De esta forma para los módulos de poliestireno de alto impacto, se calcula el área requerida de unidades en función caudal y la velocidad de sedimentación por medio de las tablas B.9 y B.10 del anexo B. Mientras que el número de unidades se puede estimar mediante los gráficos de las figuras 5.5 y 5.6 de las páginas 72 y 73 respectivamente o con la ayuda de las tablas B.11 y B.12 del anexo B del presente trabajo de acuerdo a las variables antes mencionadas.

Referente a los módulos de alta sedimentación de PVC se ocupan las mismas variables (caudal y velocidad de sedimentación) para calcular el área requerida de acuerdo a las tablas B.5 y B.6 del anexo B, y para la determinación de la cantidad de módulos a ocupar en el aumento de la capacidad del sedimentador se utilizan los gráficos de la figura 5.11 y 5.12 de las páginas 80 y 81 respectivamente o con la ayuda de las tablas B.7 y B.8 del anexo B del presente trabajo.

Finalmente para las placas planas de polipropileno nuevamente se utilizan las mismas variable, tanto para la estimación del área requerida según las tablas B.1 y B.2 del anexo B, como para la determinación del número de placas a emplear, donde se utilizan los gráficos de las figuras 5.16 y 5.17 de las páginas 87 y 88 respectivamente o las tablas B.3 y B.4 del anexo B del presente trabajo.

5.6.3 Evaluación de alternativas

Con la definición de los parámetros para cada alternativa, área y números de unidades a emplear en el sedimentador, se propone realizar un análisis basado principalmente en la comparación de las siguientes variables.

- Inversiones necesarias a través del tiempo.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Valores actuales de los costos e inversiones, para un horizonte de 20 años.

Estas variables se encuentran resumidas para cada una de las alternativas en las curvas de superficie v/s costos, a nivel de anteproyectos descritos anteriormente en este capítulo.

5.6.4 Selección de las placas o módulos a utilizar

De acuerdo al análisis anterior se elige la placa o módulo que más se acomode a los requerimientos del evaluador, ya sea por su rentabilidad económica, eficiencia, facilidad de instalación, área requerida, u otra característica presentada en este capítulo.

CAPÍTULO VI – APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PTAP COLLIPULI, IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

6.1 Introducción

Debido al aumento de la población y por ende al aumento de la demanda de agua potable en la comuna de Collipulli, se hace necesario aumentar de la capacidad de producción de la captación en el Río Malleco en Collipulli y la capacidad de la PTAP, según el estudio del Plan Regulador Comunal de Collipulli [21] desarrollado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Como primera actividad de este estudio, se contempló recopilar todos los antecedentes necesarios para la elaboración del análisis y diseño de las obras en cuestión. Se incluyen todos aquellos datos, estadísticas, documentos, informes y proyectos que son de utilidad para el análisis, así como para obtener una comprensión global de la problemática existente y sus características.

Entre los antecedentes disponibles se destacan los siguientes:

- Términos de Referencia y Aclaraciones de la propuesta "Diseño Mejoramiento Sistema de Producción de Agua Potable de Collipulli.
- Proyección de demanda de caudales entregada por Aguas Araucanía S.A.
- Diversos planos de proyecto y construcción de las instalaciones entregados por Aguas Araucanía S.A.
- Levantamientos catastrales de los recintos desarrollados por personal de la Consultora ICC-COVIL.
- Plan de desarrollo de la localidad de Collipulli (SISS) entregado por Aguas Araucanía S.A.
- Se realizó además durante los meses de marzo y abril de 2013 visitas a terreno por profesionales de la consultora quienes en conjunto con la Inspección Técnica y personal de terreno de Aguas Araucanía recorrieron los recintos a fin de discutir y analizar en terreno las características de las posibles soluciones y ubicación de las obras respectivas.

Se realizará el balance de oferta demanda de todos los componentes de la infraestructura del sistema de producción desde la captación hasta el estanque semienterrado de la localidad, PEAP y conducción hasta estanque elevado en un horizonte hasta el año 2034.

6.2 Antecedentes generales

6.2.1 Ubicación y características geográficas

6.2.1.1 Ubicación

La localidad es la capital de la comuna de Collipulli, provincia de Malleco, en la IX Región de la Araucanía y sede de la Ilustre Municipalidad de Collipulli. Está situada al lado norte del Río Malleco, en el kilómetro 576 de la Carretera Longitudinal Sur, aproximadamente a 100 (km) al norte de Temuco, la capital regional y a 35 (km) al oriente de Angol, capital de la provincia de Malleco.

La comuna de Collipulli está asentada en el Valle central, o depresión intermedia, de la IX Región, enmarcada al este por la subcuenca del alto Bío-Bío en la ladera occidental de Los Andes y al oeste con el bloque de Nahuelbuta de la Cordillera de la Costa, cuya falda oriental conforma una

planicie fuertemente ondulada, con relieves locales que la cruzan en distintas direcciones, donde los ríos han profundizado sus cauces formando las cuencas y hoyas hidrográficas de la provincia de Malleco. Dos de ellas, las de los ríos Malleco y Renaico que corren en sentido SE-NW definen los límites norte y sur de la comuna; a estas dos, debemos sumar las cuencas fluviales de los ríos Mininco, Caillón y Niblinco, todas orientadas hacia el nor-oeste para conformar el río Vergara y de aquí desembocar en la cuenca del Bío-Bío en la VIII Región.

6.2.1.2 Clima

En Collipulli, y en general en la IX Región hasta su capital Temuco, predominan las características de un clima templado cálido con estaciones secas y lluviosas semejantes.

Situada en la parte central de la provincia, considerada de Oriente a Poniente, tiene una temperatura media anual de 12,2° C. El mes más caluroso, que es Enero, presenta un promedio de 17,1° C y el más frío que es Julio 7,6° C.

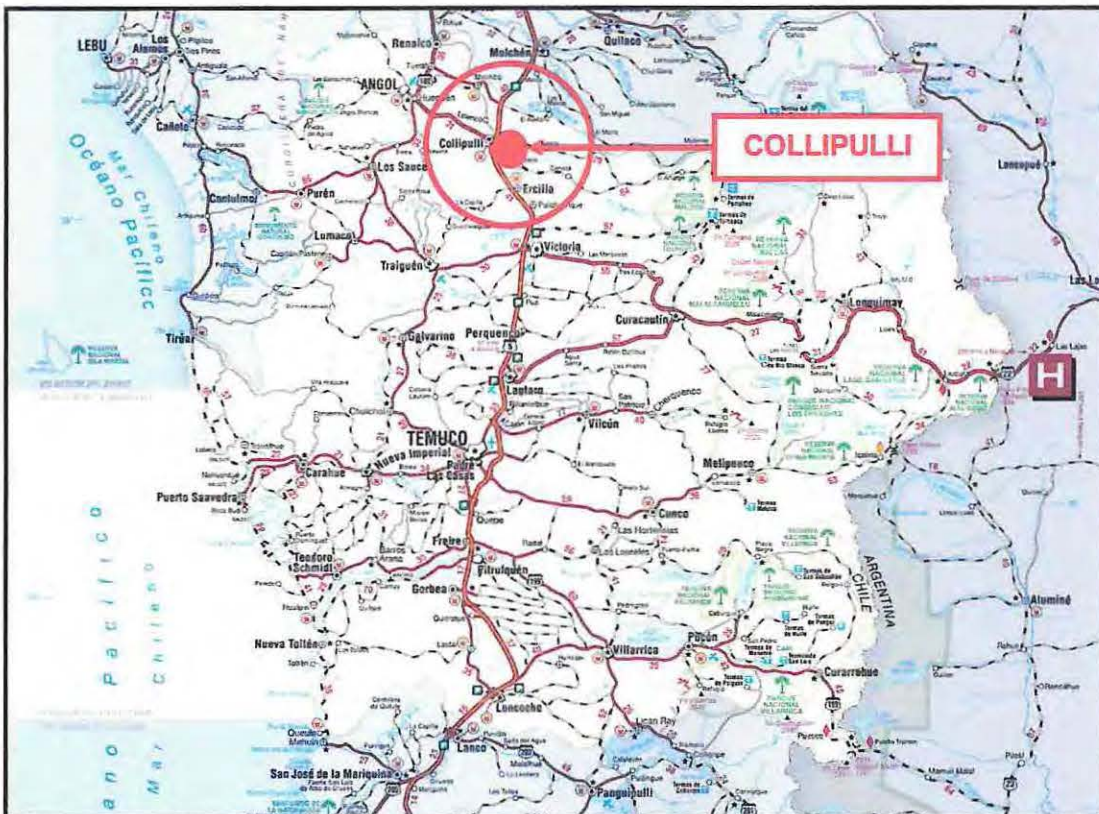


Figura 6.1- Ubicación de la localidad de Collipulli, a nivel regional Fuente: Google Earth, Image NASA 2007.

Las precipitaciones anuales son del orden de 1.250 (mm), siendo los meses más lluviosos Mayo y Junio con 203 y 214 (mm) de agua caída como promedio. Se consideran meses secos a Enero y Febrero a pesar que en dicha época también llueve.

6.2.1.3 Hidrografía

La configuración hidrográfica de la región se caracteriza por la presencia de 3 grandes ríos que corren de este a oeste, el río Imperial, el Toltén y el Bío Bío, el cual se extiende en dirección noroeste, desembocando en la Región del Bío Bío. Los principales afluentes del río Imperial son el Cautín, el Chol Chol y el Quepe, y los del río Tolten son el Allipen y el lago Villarrica. Además presenta algunas cuencas costeras de menor magnitud, como los ríos Moncul y Queule. La región cuenta con una serie de lagos, entre los que destacan el Villarrica, el Caburga, el Budí y el Collico.

El Río Malleco en conjunto con los ríos Renaico, Mininco, Callín y otros conforma la hoya hidrográfica del río Bío-Bío, la cual constituye el mayor sistema hidrográfico de la VIII Región, con una superficie total de 24.000 (km²), y dada la alta pluviosidad de la zona, sus mayores caudales ocurren en el período de invierno. El río Malleco tiene un caudal medio de 10,0 (m³/sg), variando entre un mínimo de 6 (m³/sg) a un máximo de 56 (m³/sg).

6.2.1.4 Geomorfología

Desde el punto geomorfológico, la localidad en estudio se sitúa en el eje del Valle central, en el costado norte del cauce del río Malleco, el cual representa una barrera al crecimiento urbano por el sur, sobre una planicie ondulada a 244 (msnm). Las pendientes se desarrollan de Norte a Sur y de oriente a poniente, siendo la primera relativamente superior por el hecho de avanzar hacia el cajón del río Malleco, el cual escurre aproximadamente a 120 (m) más profundo que el nivel medio de la localidad.

Junto a la Carretera Longitudinal Sur, se encuentra el cerro Santa Lucía, que es el punto más alto de la localidad, alcanzando la cota 280 (msnm).

6.2.2 Características urbanas

La trama original de la ciudad de Collipulli comprende 90 manzanas de trazado ortogonal con vías de 7 metros de ancho, ocupando actualmente un área aproximada de 809 hectáreas. El resto del área urbana construida posteriormente, no respeta la trama inicial ni el ancho de las vías, apareciendo profusamente los pasajes internos y las vías sin continuidad.

Durante la temporada de lluvias es generalizada la acumulación de lodos y charcos que dificultan el tránsito, sobre todo en las veredas que son en su mayoría de tierra y pastelones.

Casi la totalidad de las viviendas en Collipulli son de construcción de madera.

En cuanto a infraestructura, la localidad cuenta con red de alumbrado público en baja tensión, que se alimenta desde una línea de alta tensión trifásica.

El desarrollo social, económico y en infraestructura de Collipulli es variado y cuenta con los siguientes servicios:

- Reten de carabineros.
- Estación de servicio gasolinera
- Jardín infantil
- Cuerpo de bomberos
- Correos
- Hospital

- Juzgado del crimen
- Cruz roja
- Notario publico
- Conservador de bienes raíces

6.2.3 Actividades económicas

Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería, la actividad forestal y el turismo. Este territorio cuenta con una ubicación privilegiada, ya que gracias a modernas y expeditas rutas se puede acceder tanto a Temuco, capital regional de la Región de La Araucanía, y a los más diversos atractivos turísticos de esta zona y también hacia la República Argentina.

Para la localidad de Collipulli, la actividad que significa mayor ocupación de fuerza de trabajo es el grupo de servicios y comercio. Además del cultivo de cereales, la región emplea bastante mano de obra en las actividades ganaderas y en la forestación y manejo de bosques de pino insigne. También, deben indicarse como fuentes de mano de obra la industria molinera e industrias de la madera y productos de esta, igualmente la industria agroforestal representada por el cultivo y exportación de frutas, especialmente manzanas y peras. Igualmente, el sector primario ocupa un porcentaje importante en el rubro.

6.3 Catastro PTAP existente

6.3.1 Captación

La fuente de abastecimiento de agua potable de la localidad de Collipulli es el río Malleco, la que corresponde en consecuencia a una captación de tipo superficial.

La obra de captación se ubica en la ribera norte del río Malleco, distante a aproximadamente 500(m) de la Ruta 5-sur. Corresponde a una toma de tipo lateral, constituida por un macizo de hormigón de muros oblicuos y compuerta del tipo mural (Ver Figura 2.1, pág. 21). Se ha dispuesto un sistema de rejas mediante pletinas metálicas para la eliminación del material grueso. La bocatoma está diseñada para trabajar con una cota de aguas mínimas de 102.5 (m.s.n.m.), y el caudal total de extracción desde el río Malleco, según proyecto ESSAR N° 1884, es de 81 (lts/sg).

La obra de captación del río Malleco, fue diseñada en el año 1992 y construida al año siguiente.

6.3.2 Conducciones

El sistema de agua potable cuenta con cuatro conducciones, 2 primarias y 3 secundarias, las que se describen a continuación.

6.3.2.1 Conducción captación – desarenador

Desde la captación lateral en el río Malleco nace una aducción gravitacional con un trazado paralelo al río la cual portea el agua captada hasta el recinto "Río Malleco" el que se ubica a un costado del cabezal norte del antiguo puente carretero que cruza el río. En este recinto existe un desarenador primario y una planta elevadora de agua. La conducción gravitacional se materializa en tubería de PVC de 355 (mm) y en una longitud de 410 (m).



Figura 6.2- Desarenador recinto Río Malleco Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.2.2 Conducción sedimentador-estanque (TK) de carga Bulnes

Las aguas captadas son elevadas desde el recinto Río Malleco hasta la planicie superior en la que se ubica la localidad mediante una impulsión de acero de 300 (mm) de diámetro y 770 (m) de longitud hasta un estanque elevado que sirve de cámara de carga para alimentar posteriormente a la planta de tratamiento de la localidad. El estanque de carga se ubica en la intersección de las calles Bulnes y Fresia corresponde a un estanque elevado de 200 (m³) de capacidad y torre de 15(m) de altura. La altura manométrica de elevación desde el recinto Río Malleco es de aproximadamente 125 (m).



Figura 6.3- Estanque (TK) de carga Bulnes Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.2.3 Conducción estanque (TK) de carga Bulnes – PTAP

Desde el estanque elevado de carga Bulnes nace una aducción que conduce las aguas a la planta de tratamiento. Esta aducción se materializa en PVC C-10 de 355 (mm) de diámetro y una longitud de 1.500 (m). Esta conducción entrega las aguas en la cabecera de la planta de tratamiento en la cámara de inyección de productos químicos ubicada aguas arriba de las unidades de tratamiento. En su ingreso a la planta la conducción cuenta con una electroválvula que permite regular el caudal de ingreso al recinto de tratamiento.

6.3.2.4 Conducción PTAP – Estanque Santa Lucía.

El agua que ha sido sometida a tratamiento en la unidad de floculación y decantación es acumulada en una sentina desde la cual es bombeada al recinto de estanques Santa Lucía donde descarga a un estanque semienterrado de 1000 (m³) de capacidad. La impulsión correspondiente se materializa en PVC C-10 de 315 (mm) de diámetro y una longitud de 1,188 (m).

6.3.2.5 Conducción estanque semienterrado Santa Lucía – estanque elevado Santa Lucía

Desde el estanque semienterrado en el recinto Santa Lucía, se impulsa al estanque elevado, ubicado en el mismo recinto, mediante una impulsión en acero de 150 (mm) de diámetro, una longitud de 30 (m) y altura 14.5 (m).

6.3.3 Plantas elevadores de agua potable (PEAP)

El sistema de agua potable de la localidad de Collipulli cuenta con tres plantas elevadoras las que se describen a continuación.

6.3.3.1 Planta elevadora Río Malleco

Mediante la PEAP Río Malleco los recursos son elevados desde el sedimentador al TK de carga Bulnes mediante 3 bombas sumergibles de motor superficial en una configuración (2+1) y altura manométrica 125 (m). Los equipos de bombeo existentes poseen una potencia de 75 (kW).



Figura 6.4- Equipos de bombeo PEAP Río Malleco Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.3.2 Planta elevadora PTAP

Como se señaló anteriormente el agua que ha sido sometida a tratamiento en la unidad de floculación y decantación es acumulada en una sentina desde la cual es bombeada al recinto de estanques Santa Lucía. La planta elevadora cuenta con tres bombas en configuración (2+1) las cuales poseen una potencia de 30 (kW).



Figura 6.5- Sentina de bombeo PEAP planta de tratamiento Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.



Figura 6.6- Equipos de bombeo PEAP planta de tratamiento Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.3.3 Planta elevadora PTAP

El agua producida en la planta de tratamiento es bombeada al estanque semienterrado de 1000(m³) ubicado en el recinto de estanques Santa Lucía. Desde este estanque el agua es bombeada al estanque elevado de 500(m³) construido pos terremoto de 2010. La planta elevadora cuenta con 2 bombas en configuración (1+1) las cuales poseen una potencia de 15 (kW), que se ubican en el interior de una caseta semienterrada de hormigón armado aledaña al estanque de 1000 (m³), como se muestra en las fotografías siguientes.



Figura 6.7- Caseta de bombeo PEAP recinto estanques Santa Lucia Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.



Figura 6.8- Equipos de bombeo PEAP recinto estanques Santa Lucia Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.4 Tratamiento

6.3.4.1 Pretratamiento

El sistema cuenta con una unidad de sedimentación en el recinto Río Malleco al cual descargan las aguas captadas en el río a modo de pretratamiento y como acondicionamiento de las aguas antes de la incorporación de los productos químicos en la planta de tratamiento.

La unidad es de hormigón armado, data aproximadamente del año 1992 y es de dimensiones útiles de 17.8 (m) de largo, 5 (m) de ancho y 2.5 (m) de profundidad. Originalmente la unidad era abierta, pero debido a su utilización por parte de los pobladores como piscina pública se optó por cubrirlo completamente con una losa de hormigón con tapas de palastro de registro (ver figura 6.2, pág. 100). En el extremo de aguas debajo de la unidad se ubican las bombas que elevan los recursos captados hasta el estanque de carga Bulnes.

6.3.4.2 Tratamiento

La planta de tratamiento de agua potable de la localidad de Collipulli cuenta con las siguientes unidades:

- **Cámara de carga y mezcla:** Ubicada en el extremo aguas arriba de la planta, recibe los aportes del estanque de carga Bulnes a través de la conducción que nace desde este. En esta cámara (ver figura 6.9) se agregan los productos químicos utilizados en el proceso de coagulación como cal y sulfato de aluminio refinado en polvo mediante una solución preparada en estanques (ver figura 6.10) especialmente destinados a este fin ubicados en el interior de una caseta que se encuentra aguas arriba del floculador.



Figura 6.9- Cámara de carga e inyección de coagulantes Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

- **Floculador:** Este corresponde a una unidad hidráulica de flujo horizontal (en forma de laberinto) de hormigón armado, según figura 6.11.
- **Sedimentador:** Inmediatamente aguas abajo del floculador se ubica un sedimentador gravitacional de hormigón armado de dimensiones útiles de 23 (m) de largo, 6.7 (m) de ancho y 4 (m) de profundidad que permite la clarificación del agua (Ver figura 2.2,pág. 24).

Las aguas son conducidas hacia la sentina de la PEAP para ser impulsadas al recinto de estanques Santa Lucía.

- **Filtración:** La tubería de impulsión se encuentra interconectada con una batería de 6 filtros a presión (Ver figura 2.3, pág. 25) a través de los cuales el agua proveniente de la etapa de sedimentación es forzada a pasar para su pulido final. Los filtros se encuentran dispuestos en dos líneas en paralelo de 3 filtros cada una.
- **Fluoruración y desinfección:** Aguas abajo de la etapa de filtración las aguas son sometidas a un proceso de fluoruración y desinfección. Para la fluoruración se utiliza sales de fluorsilicato mientras que para la cloración se utiliza gas cloro. Tanto las unidades de fluoruración como las de cloración se encuentran instaladas en casetas especialmente acondicionadas para dar cabida a estos equipos. El sistema de fluoruración cuenta con 2 estanques de 2000 litros cada uno para la preparación de la solución de flúor y 2 bombas dosificadoras para su inyección (ver figura 2.5, pág. 25) mientras que el sistema de cloración cuenta también con 2 bombas booster para la inyección de gas cloro (ver figura 2.4, pág. 25).



Figura 6.10- Equipos de dosificación de coagulantes. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.



Figura 6.11- Floculador hidráulico existente. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.5 Regulación

Los estanques de regulación de la localidad se ubican en el recinto Santa Lucía, localizado en el sector oriente de la localidad cerca del acceso a esta desde la Ruta 5. En este recinto se ubica un estanque semienterrado de 1000 (m³) de capacidad y un estanque elevado de hormigón armado de 500 (m³) y altura de torre de 14.7 (m). Este estanque fue construido con posterioridad al terremoto de febrero de 2010 para reemplazar a un estanque elevado de 500 (m³) que fue necesario demoler por los daños que sufrió en este movimiento telúrico.

El Estanque semienterrado Santa Lucía abastece al sector bajo de la ciudad y el estanque elevado al sector alto. Desde el estanque semienterrado, se eleva mediante la planta elevadora anteriormente descrita al estanque elevado que abastece el sector alto de la ciudad.



Figura 6.12- Estanque (TK) Santa Lucía semienterrado (S/E). Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

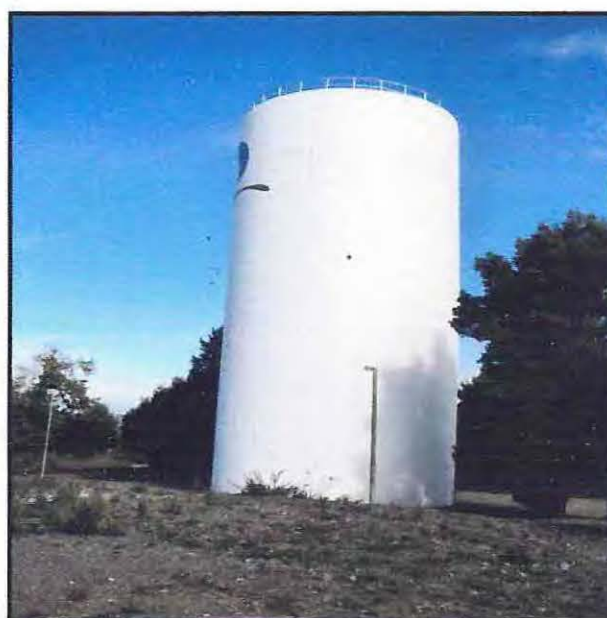


Figura 6.13- Estanque (TK) Santa Lucía elevado. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.3.6 Distribución

La red de distribución se divide en dos sectores, uno bajo y uno alto. El estanque semienterrado de 1000 (m³) del recinto Santa Lucía alimenta el sector bajo de la localidad y, mediante la PEAP Santa Lucía se alimenta el estanque elevado de 500 (m³) de capacidad que abastece a su vez al sector alto de la localidad.

La red está estructurada por cañerías de distintos materiales, como PVC, asbesto cemento, y HDPE cuyos diámetros oscilan entre los 50 y 200 (mm). La red de distribución del servicio de Collipulli cuenta con 53,58 (km) de cañerías como se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla 6.1- Resumen longitud y material red de distribución sistema de AP Collipulli

Material	Longitud (m)
Asbesto cemento	23369
PVC	25274
HDPE	4937
Total	53580

Fuente: Elaboración propia, a partir de Actualización Planes de Desarrollos sistemas Collipulli, Aguas Araucanía S.A.

6.4 Proyecto Civil

6.4.1 Demanda de agua potable

Las demandas futuras que debe satisfacer el sistema de agua potable de Collipulli fueron proporcionadas por Aguas Araucanía como antecedente para el desarrollo de este trabajo y se muestran en la tabla 6.2. Se observa que el período de previsión de las obras será de 20 años a contar del año 2014. Se incluye en el cuadro de demanda los caudales medios, máximo diario y máximo horario y el porcentaje de pérdidas estimado. Llama la atención el valor de las pérdidas del sistema, el que supera el 50%.

Para el cálculo de los caudales se utilizaron las expresiones contenidas en las normas de diseño para sistemas urbanos de agua potable que permiten determinar el gasto medio diario y a partir de este, el gasto máximo diario y el gasto máximo horario, utilizando los factores de mayoración F1 y F2.

$$\begin{aligned} \text{- Gasto medio diario} & : Q_{\text{medio}} = \frac{P \cdot d}{86400} \text{ (l/s)} \\ \text{- Gasto máximo diario} & : Q_{\text{máx. diario}} = F1 \cdot Q_m \text{ (l/s)} \\ \text{- Gasto máximo horario} & : Q_{\text{máx. horario}} = F2 \cdot Q_{\text{máx. diario}} \text{ (l/s)} \end{aligned} \quad \text{ecc.6.1}$$

Donde. F1 = 1.28

F2 = 1.5

Cabe señalar que los valores de F1 y F2 han sido determinados a partir de datos estadísticos de consumo de Aguas Araucanía S.A.

Tabla 6.2- Demanda de agua potable Collipulli.

AÑO	Población		Cobertura		Indice Habit.	Clientes	Dotaciones de Consumos		Caudales de Consumo			Pérdidas		Caudales de Producción			Caudales de Distribución		
	Total	AP	Población Abastecida	%			Población	Clientes	Q Medio	Q Máx. Diario	Q Máx. Horario	Producción	Distribución	Q medio	Q max. Diario	Q max. Horario	Q medio	Q max. Diario	Q max. Horario
	Hab	%	Hab.	Hab/viv			Clientes	l/hab/día	m³cliente/mes	l/s	l/s	l/s	%	%	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
2012	15,119	100.00%	15,119	2.73	5,528	146.3	12.0	25.2	32.23	48.34	0.0%	52.4%	53.03	67.70	101.55	53.03	67.70	101.55	
2013	15,112	100.00%	15,112	2.67	5,655	149.7	12.0	25.8	32.97	49.45	0.0%	52.5%	54.34	69.37	104.05	54.34	69.37	104.05	
2014	15,099	100.00%	15,099	2.61	5,776	153.0	12.0	26.4	33.67	50.50	0.0%	52.6%	55.59	70.96	106.44	55.59	70.96	106.44	
2015	15,080	100.00%	15,080	2.56	5,891	156.2	12.0	26.9	34.34	51.51	0.0%	52.6%	56.78	72.48	108.73	56.78	72.48	108.73	
2016	15,058	100.00%	15,058	2.51	6,000	159.4	12.0	27.4	34.97	52.46	0.0%	52.7%	57.92	73.94	110.92	57.92	73.94	110.92	
2017	15,032	100.00%	15,032	2.46	6,103	162.4	12.0	27.9	35.57	53.36	0.0%	52.8%	59.02	75.34	113.01	59.02	75.34	113.01	
2018	15,003	100.00%	15,003	2.42	6,201	165.3	12.0	28.3	36.15	54.22	0.0%	52.9%	60.07	76.68	115.01	60.07	76.68	115.01	
2019	14,973	100.00%	14,973	2.38	6,295	168.2	12.0	28.7	36.69	55.04	0.0%	52.9%	61.07	77.96	116.94	61.07	77.96	116.94	
2020	14,941	100.00%	14,941	2.34	6,383	170.9	12.0	29.1	37.21	55.81	0.0%	53.0%	62.03	79.18	118.78	62.03	79.18	118.78	
2021	14,909	100.00%	14,909	2.31	6,468	173.5	12.0	29.5	37.70	56.55	0.0%	53.1%	62.95	80.36	120.54	62.95	80.36	120.54	
2022	14,875	100.00%	14,875	2.27	6,548	176.1	12.0	29.9	38.17	57.25	0.0%	53.2%	63.83	81.49	122.23	63.83	81.49	122.23	
2023	14,842	100.00%	14,842	2.24	6,624	178.5	12.0	30.2	38.61	57.91	0.0%	53.2%	64.68	82.57	123.85	64.68	82.57	123.85	
2024	14,809	100.00%	14,809	2.21	6,696	180.9	12.0	30.6	39.03	58.55	0.0%	53.3%	65.49	83.60	125.40	65.49	83.60	125.40	
2025	14,775	100.00%	14,775	2.18	6,765	183.1	12.0	30.9	39.43	59.15	0.0%	53.4%	66.27	84.60	126.90	66.27	84.60	126.90	
2026	14,742	100.00%	14,742	2.16	6,830	185.3	12.0	31.2	39.81	59.72	0.0%	53.5%	67.02	85.55	128.33	67.02	85.55	128.33	
2027	14,710	100.00%	14,710	2.13	6,892	187.4	12.0	31.5	40.17	60.26	0.0%	53.5%	67.74	86.47	129.71	67.74	86.47	129.71	
2028	14,678	100.00%	14,678	2.11	6,950	189.4	12.0	31.7	40.51	60.77	0.0%	53.6%	68.43	87.35	131.03	68.43	87.35	131.03	
2029	14,647	100.00%	14,647	2.09	7,006	191.3	12.0	32.0	40.84	61.26	0.0%	53.7%	69.09	88.20	132.30	69.09	88.20	132.30	
2030	14,617	100.00%	14,617	2.07	7,059	193.2	12.0	32.2	41.15	61.73	0.0%	53.8%	69.73	89.01	133.52	69.73	89.01	133.52	
2031	14,588	100.00%	14,588	2.05	7,110	195.0	12.0	32.5	41.44	62.17	0.0%	53.8%	70.34	89.80	134.70	70.34	89.80	134.70	
2032	14,559	100.00%	14,559	2.03	7,158	196.7	12.0	32.7	41.72	62.59	0.0%	53.9%	70.94	90.55	135.83	70.94	90.55	135.83	
2033	14,532	100.00%	14,532	2.02	7,203	198.3	12.0	32.9	41.99	62.98	0.0%	54.0%	71.50	91.28	136.92	71.50	91.28	136.92	
2034	14,505	100.00%	14,505	2.00	7,247	199.8	12.0	33.1	42.24	63.36	0.0%	54.1%	72.05	91.98	137.97	72.05	91.98	137.97	

Fuente: Aguas Araucanía S.A

A partir de los valores entregados en el cuadro anterior es posible estimar los caudales de bombeo que serán demandados para distintos años del periodo de previsión. Se consulta en este caso un tiempo mínimo de 12 horas de bombeo y un tiempo máximo de 18 horas, como es usual en este tipo de instalaciones. Se considera además un tiempo de bombeo de 24 horas, con lo que este caudal resulta igual al caudal máximo diario.

A continuación en la tabla 6.3 se entregan los caudales de bombeo estimados para distintos años del periodo de previsión a partir de los datos de demanda entregados por Aguas Araucanía.

Tabla 6.3- Caudales de Bombeo Collipulli.

Año	Qmáx. Diario (lts/sg)	Caudal de bombeo (lts/sg)		
		12 horas	18 horas	24 horas
2014	70.96	141.92	94.61	70.96
2019	77.96	155.92	103.95	77.96
2024	83.60	167.20	111.47	83.60
2029	88.20	176.40	117.60	88.20
2034	91.98	183.96	122.64	91.98

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Los caudales de la tabla anterior serán los que el sistema deberá ser capaz de proveer y serán los que se utilizarán para realizar un balance de oferta y demanda de las instalaciones existentes, cuyo resultado permitirá determinar las necesidades de obras para el correcto funcionamiento del sistema.

6.4.2 Balance de oferta y demanda

En el presente ítem se realiza el balance oferta demanda de cada uno de los componentes del sistema, lo que dará como resultado el déficit existente para cada uno de ellos y permitirá determinar las necesidades de obras que deberán ser satisfechas por las instalaciones proyectadas.

6.4.2.1 Balance de la fuente

De acuerdo al estudio de demanda, los requerimientos de la fuente para distintos años del periodo de previsión se indican en la tabla 6.3 junto con los caudales de explotación adoptados para cada sondaje. De esta tabla se observa que para 18 horas de bombeo las fuentes existentes son capaces de suplir la demanda en forma conjunta siempre y cuando estas sean capaces de producir el máximo caudal asociado a cada uno de ellas. En el caso de bombeo de 12 horas se observa que las fuentes son deficitarias ya para el año 2024.

El análisis de los datos de la estación fluviométrica Río Malleco en Collipulli desarrollado por CADE-IDEPE en el estudio "Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Bio Bio" para la DGA demuestra un claro régimen pluvial del río, con sus mayores caudales en los meses de invierno y bajos escurrimientos en primavera y verano. Esta estación se ubica unos 37 (km) aguas arriba de la confluencia con el río Rehue, al sur de la localidad de Collipulli. La cuenca que controla esta estación tiene un área de 428 (km²) y su

cota es de 135 (m.s.n.m.) Su régimen es claramente pluvial y alcanza los caudales máximos en el mes de julio, aunque la influencia de las precipitaciones es fuerte desde mayo hasta agosto. El período de estiaje ocurre en el trimestre enero, febrero, marzo, debido a las bajas precipitaciones y al uso de agua para riego.

Se observa sin embargo que los caudales de probabilidad de excedencia 85% en los meses de verano son suficientes como para suplir la demanda de agua potable de la localidad.

En la tabla siguiente se muestran los valores de caudal medio mensual para distintas probabilidades de excedencia.

Tabla 6.4- Estación Malleco en Collipulli.

P.ex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5%	31.77	125.16	122.18	114.06	118.27	75.56	53.99	38.75	27.26	12.79	11.98	11.14
10%	21.72	92.81	100.94	99.44	93.04	62.37	46.14	32.00	22.96	10.78	9.34	8.60
20%	13.93	63.32	80.09	83.58	70.89	50.11	38.13	25.37	18.38	8.76	7.03	6.40
50%	6.47	28.71	51.47	58.14	45.26	34.62	26.50	16.28	11.36	5.90	4.35	3.91
85%	3.19	9.59	29.86	33.91	30.28	24.31	16.92	9.43	5.53	3.62	2.80	2.51
95%	2.45	4.71	21.68	22.59	25.83	20.84	13.00	6.84	3.34	2.72	2.34	2.11

Fuente: Elaboración propia, a partir del Estudio, Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Bío Bío, elaborado por CADE-IDEPE.

Si bien es cierto los caudales disponibles en el río son suficientes para satisfacer la demanda, la obra de captación presenta un problema común a las captaciones de este tipo cual es la imposibilidad de captar el recurso en los meses de verano producto de la disminución del caudal y en consecuencia la altura de escurrimiento que sufre el curso del río en esos meses; para lo cual se deben efectuar periódicos encauzamientos del curso hacia la toma.

Actualmente en forma provisoria fue necesario realizar modificación del cauce del río, construyendo una barrera de aproximadamente 1(m) de altura con material del mismo río de forma de peraltar el nivel del agua y que esta puede ingresar a la toma.

La barrera se encuentra construida y operando sin aprobación de la DGA. Adicionalmente los lugareños del sector la utilizan como piscina incrementando la turbiedad del agua. Con esta modificación se logra captar 70 (lts/sg).



Figura 6.14- Barrera provisoria captación Río Malleco Collipulli. Fuente: Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

6.4.2.2 Balance de conducciones

- **Conducción captación – sedimentador**

Como es sabido las características del escurrimiento para las conducciones gravitacionales (aducciones) se determina considerando flujo a boca llena y la ecuación de Hazen Williams igualando la carga disponible (diferencia de cotas de los pelos de agua) entre el punto de inicio y término de la conducción. Se debe verificar además que la velocidad de escurrimiento sea superior a 0.6 (m/s) (velocidad de autolavado) de modo que no se produzcan sedimentaciones en la tubería.

Para el caso de la conducción entre la captación y el sedimentador se obtuvieron de la topografía realizada el nivel en la cámara de captación y el nivel en el interior del sedimentador ubicado en el recinto Río Malleco, donde la carga corresponde en este caso a la diferencia de cota entre ambos puntos. De tal manera las cotas a considerar son 96.90 (m) en la cámara de captación y 96.01 (m) en el sedimentador.

La ecuación de Hazen – Williams, con el coeficiente de fricción correspondiente al material utilizado, tiene la expresión siguiente.

$$J * L = 10.67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

ecc.6.2

Donde:

- J*L = pérdida de carga por fricción (m) = altura de carga disponible
- Q = caudal de porteo (m³/s)
- C = coeficiente de fricción de Hazen-Williams C=150 para PVC
- L = longitud de la conducción (m)
- D = diámetro interior de la conducción (m)

Evaluando la expresión anterior para L= 429 (m), 355 (mm) de diámetro (321(mm) de diámetro interior) y una altura de carga de 0.89 (m) se determina el caudal de porteo de la conducción. Dado que la conducción es gravitacional se considerará para efectos de verificación el caudal máximo diario según la tabla siguiente.

Tabla 6.5- Capacidad de porteo conducción captación – sedimentador v/s caudal máximo diario.

Año	Qmax. Diario (lts/sg)	Caudal de porteo (lts/sg)	velocidad (m/sg)
2014	70.96	74.3	0.88
2019	77.96	74.3	0.96
2024	83.60	74.3	1.03
2029	88.20	74.3	1.09
2034	91.98	74.3	1.14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Se observa que la capacidad de porteo de la tubería existente para las condiciones señaladas sólo satisface los caudales actuales presentando déficit a partir del año 2019. Para el caudal calculado de 74.29 (lts/sg) la velocidad de escurrimiento resulta de 0.92 (m/sg), con lo que se cumple también esta condición.

La aducción existente entre la captación y el recinto Río Malleco tiene una capacidad hidráulica adecuada que depende de la altura del agua sobre la cañería en el inicio de la misma. Con una carga superior a 1 (m) sería posible extraer del río la totalidad del caudal demandado.

- **Conducción sedimentador – estanque de carga Bulnes**

A diferencia de las conducciones gravitacionales, en las que la capacidad de porteo se determina mediante la fórmula de Hazen-Williams u otra similar igualando la diferencia de cota disponible con la pérdida de carga, en el caso de las impulsiones, en las que hay un gasto energético, la definición de las características geométricas e hidráulicas de las cañerías debe incorporar la variable económica que permita equilibrar el gasto de inversión en la tubería con el gasto operacional que significa el bombeo. Es así como las tuberías de descarga de gran extensión ($L > 2000 \cdot D$) deben ser estudiadas con un criterio económico, eligiéndose el diámetro comercial más ventajoso. Las velocidades en este caso son relativamente bajas: 0.65 a 1.50 (m/sg).

En la tabla siguiente se entregan los valores de velocidad determinados en la tubería de impulsión existente de 300mm de diámetro de acero de acuerdo a la información recopilada y levantada en terreno.

Tabla 6.6- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Impulsión Río Malleco – TK de carga Bulnes

Año	Caudal de bombeo (lts/sg)			Velocidad (m/sg)		
	12 horas	18 horas	24 horas	12 horas	18 horas	24 horas
2014	141.92	94.61	70.96	2.01	1.34	1.00
2019	155.92	103.95	77.96	2.21	1.47	1.10
2024	167.20	111.47	83.60	2.37	1.58	1.18
2029	176.40	117.60	88.20	2.50	1.66	1.25
2034	183.96	122.64	91.98	2.60	1.74	1.30

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Del cuadro anterior se desprende que la capacidad de porteo de la tubería existente de acero de 300 (mm) (12") de diámetro no sería suficiente para los caudales de bombeo de 12 horas ya que en todos los casos se supera la velocidad máxima recomendada de 1.5 (m/sg). Esto significa que las pérdidas de carga en la tubería serían demasiado grandes lo que requerirá más potencia en las bombas y en consecuencia un mayor gasto energético. Para los caudales de bombeo de 18 horas la tubería sería adecuada hasta el año 2019 en el que el valor de velocidad es levemente menor a 1.5 (m/sg). Claramente el bombeo del caudal máximo diario, vale decir bombeo de 24 horas, cumple con la restricción de velocidad señalada. Sin embargo esto significaría bombear en período punta, con los consiguientes gastos energéticos asociados por operar en dicha condición.

- **Conducción estanque de carga Bulnes - PTAP**

El análisis en este caso es similar al realizado para la aducción entre la captación y el sedimentador. La altura de carga corresponde en esta caso a la diferencia de cota entre el radier del estanque de carga Bulnes (218m) y la cámara de inyección de coagulantes (208.20m) a la entrada de la PTAP.

Utilizando la ecuación 6.2 con el coeficiente de fricción correspondiente al material utilizado, con un L= 1340 (m), 355 (mm) de diámetro (321 (mm) de diámetro interior) y una altura de carga de 9.8(m) se determina el caudal de porteo de la conducción. Dado que la conducción es gravitacional se considerará para efectos de verificación el caudal máximo diario según el cuadro siguiente.

Tabla 6.7- Capacidad de porteo conducción TK Bulnes – PTAP v/s caudal máximo diario.

Año	Qmáx. Diario (lts/sg)	Caudal de porteo (lts/sg)	velocidad (m/sg)
2014	70.96	146.80	0.88
2019	77.96	146.80	0.96
2024	83.60	146.80	1.03
2029	88.20	146.80	1.09
2034	91.98	146.80	1.14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Se observa que la capacidad de porteo de la tubería existente para las condiciones señaladas supera todos los años al caudal de demanda y que la velocidad de escurrimiento es superior a la velocidad mínima de 0.6 (m/sg).

- **Conducción PTAP – Estanque semienterrado Santa Lucia**

El análisis para esta conducción es similar al realizado para la impulsión desde el recinto Río Malleco hasta el estanque de carga Bulnes.

En el cuadro siguiente se entregan los valores de velocidad determinados en la tubería de impulsión existente de PVC C10 de 315 (mm) de acuerdo a la información recopilada y levantada en terreno.

Tabla 6.8- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Conducción PTAP – Recinto estanque semienterrado Santa Lucia.

Año	Caudal de bombeo (lts/sg)			Velocidad (m/sg)		
	12 horas	18 horas	24 horas	12 horas	18 horas	24 horas
2014	141.92	94.61	70.96	2.23	1.48	1.11
2019	155.92	103.95	77.96	2.45	1.63	1.22
2024	167.20	111.47	83.60	2.62	1.75	1.31
2029	176.40	117.60	88.20	2.77	1.84	1.38
2034	183.96	122.64	91.98	2.89	1.92	1.44

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Del cuadro anterior se desprende que la capacidad de porteo de la tubería existente de PVC de 315 (mm) de diámetro no sería suficiente para los caudales de bombeo de 12 horas ya que en todos los casos se supera la velocidad máxima recomendada de 1.5 (m/sg). Esto significa que las pérdidas de carga en la tubería serían demasiado grandes lo que requerirá más potencia en las bombas y en consecuencia un mayor gasto energético. Para los caudales de bombeo de 18 horas la tubería sería adecuada hasta el año 2019 en el que el valor de velocidad es levemente superior a 1.5 (m/sg). Claramente el bombeo del caudal máximo diario, vale decir bombeo de 24 horas, cumple con la restricción de velocidad señalada. Sin embargo esto significaría bombear en período punta, con los consiguientes gastos energéticos asociados por operar en punta.

- **Conducción Estanque semienterrado Santa Lucia – Estanque elevado Santa Lucia**

El análisis para esta conducción es similar al realizado para las impulsiones anteriores.

En la tabla siguiente se entregan los valores de velocidad determinados en la tubería de impulsión existente de 150 (mm) de diámetro de acero de acuerdo a la información recopilada y levantada en terreno. En este caso el caudal máximo diario se considera como el 50% del caudal total ya que la distribución de población asociada a cada estanque es de ese orden.

Tabla 6.9- Velocidad de escurrimiento para caudales de bombeo. Recinto estanque semienterrado Santa Lucia – Estanque elevado Santa Lucia.

Año	Qmáx. diario (lts/sg)	Caudal de bombeo (lts/sg)			Velocidad (m/sg)		
		12 horas	18 horas	24 horas	12 horas	18 horas	24 horas
2014	35.48	70.96	47.31	35.48	4.02	2.68	2.01
2019	39.98	77.96	51.97	39.98	4.41	2.94	2.21
2024	41.80	83.60	55.73	41.80	4.73	3.16	2.37
2029	44.10	88.20	58.80	44.10	4.99	3.33	2.50
2034	45.99	91.98	61.32	45.99	5.21	3.47	2.60

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

De la tabla anterior se desprende que la capacidad de porteo de la tubería existente de acero de 150mm de diámetro no sería suficiente para los caudales de bombeo correspondientes al sector alto de la localidad ya que en todos los casos se supera la velocidad máxima recomendada de 1.5(m/sg). Esto significa que las pérdidas de carga en la tubería serían demasiado grandes lo que requerirá más potencia en las bombas y en consecuencia un mayor gasto energético. Esta tubería deberá ser cambiada por una de diámetro mayor.

6.4.2.3 Balance de tratamiento

El balance de tratamiento está orientado en este caso a determinar si los equipos existentes serán capaces de seguir prestando servicio en las nuevas condiciones de operación.

- **Planta de tratamiento**

La sedimentación como Pretratamiento sirve principalmente al propósito de reducir la turbiedad y de eliminar las sustancias en suspensión que pueden separarse, en un tiempo razonable, por la sola acción de la gravedad. Generalmente en épocas lluviosas la turbiedad normal del líquido a

tratar se incrementa lo que dificulta el proceso de potabilización en las etapas posteriores del tratamiento.

El sedimentador existente en el recinto Río Malleco se encuentra subdimensionado para los caudales futuros por lo que será necesario revisar y replantear la conveniencia de su utilización en el futuro como unidad de sedimentación debiendo cumplir principalmente funciones de sentina de acumulación para el bombeo de los recursos.

- **Planta de tratamiento**

De acuerdo a los antecedentes disponibles el caudal de diseño de la planta de tratamiento y sus distintas unidades (floculación, sedimentación, sedimentación de alta tasa y filtración) fueron diseñadas para un caudal de 70 (lts/sg). Si se compara este caudal de diseño con las demandas futuras, como se muestra en el cuadro siguiente, se evidencia que todo el sistema se encuentra deficitario y que será necesario realizar una ampliación de la capacidad de tratamiento.

Tabla 6.10- Caudal máximo diario v/s caudal de diseño PTAP.

Año	Qmáx. Diario (lts/sg)	Q diseño (lts/sg)	déficit (lts/sg)
2014	70.96	70.00	0.96
2019	77.96	70.00	7.96
2024	83.60	70.00	13.60
2029	88.20	70.00	18.20
2034	91.98	70.00	21.98

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

- **Inyección de coagulantes**

El sistema de inyección aguas arriba del floculador y del sedimentador de la PTAP existente consiste en la aplicación de una solución de sulfato de aluminio y solución de cal hidráulica apagada mediante bombas dosificadoras directamente en la cámara de carga y mezcla. El sistema incluye estanques de preparación de la solución, bombas dosificadoras, agitadores, interconexiones hidráulicas, línea de alimentación de agua potable y líneas de descarga de solución.

El caudal de diseño de estas instalaciones es de 130 (lts/sg), por lo que los sistemas existentes cubren los requerimientos hasta el fin del período de previsión de las obras.

- **Cloración**

El sistema de cloración existente consiste en la aplicación de una solución de cloro mediante gas cloro y bombas booster directamente en la línea de impulsión. El sistema incluye cilindros, inyectoras, bombas booster, interconexiones hidráulicas, línea de alimentación de agua potable y línea de descarga de solución de cloro

El caudal de diseño de estas instalaciones es de 130 (lts/sg), por lo que los sistemas de cloración existentes cubren los requerimientos hasta el fin del período de previsión de las obras.

- **Fluoruración**

El sistema de fluoruración existente consiste en la aplicación de una solución de fluorsilicato de sodio mediante bomba dosificadora directamente en la línea de impulsión. El sistema incluye estanques de preparación de la solución, bombas dosificadoras, agitadores, interconexiones hidráulicas, línea de alimentación de agua potable y línea de descarga de solución fluorurada.

El caudal de diseño de estas instalaciones es de 130 (lts/sg), por lo que los sistemas de fluoruración existentes cubren los requerimientos hasta el fin del período de previsión de las obras.

- **Filtración**

La PTAP cuenta con una planta de filtración compuesta por una batería de 6 filtros a presión marca AGUASIN modelo Q-250-E a través de los cuales el agua proveniente de la etapa de sedimentación es forzada a pasar para su pulido final. Los filtros se encuentran dispuestos en dos líneas en paralelo de 3 filtros cada una. De acuerdo a datos entregados por el proveedor el caudal nominal de trabajo de estos filtros es de 63.6 (m³/hora) mientras que el caudal máximo de trabajo es de 58.9 (m³/hora), lo que equivale a 16.4 (lts/sg). La capacidad de filtración total máxima es en consecuencia de 98.16 (lts/sg). De lo anteriormente señalado se desprende que en términos nominales la capacidad de filtración no sería suficiente.

6.4.2.4 Balance de regulación

Se verifica la capacidad de los estanques para comprobar si su volumen es suficiente para todo el período de previsión. Para el cálculo de la capacidad de los estanques se deben considerar de acuerdo a lo señalado en la norma NCh 691 los volúmenes de regulación, de incendio y de reserva los que se calculan según los siguientes criterios:

- El volumen de regulación se determina a base de las curvas de conducción primaria y de consumo, correspondiente al día de máximo consumo, con un mínimo de un 15% de este último volumen. Es usual en servicios sanitarios la utilización de un valor del 20% del consumo máximo diario, que es el criterio que se aplicará en este caso.
- El volumen de incendio se determina de acuerdo con la demanda y duración del siniestro. Para los efectos de cálculo, debe considerarse a lo menos 2 (hrs) de siniestro, con un caudal de 16 (lts/sg) en cada grifo de 100 (mm) de diámetro, según NCh1646, y el número de grifos en uso simultáneo que indica en la NCh 691.
- Para hacer frente a fallas accidentales en la producción, elevación y conducción primaria se debe considerar un volumen de reserva (seguridad), el cual debe ser determinado por la Autoridad Competente, en función de la vulnerabilidad del sistema. El volumen mínimo a considerar debe ser equivalente a 2 (hrs) de consumo en el día de máximo consumo previsto.

Finalmente el volumen de estanque se determina tomando el mayor valor que resulta de las siguientes relaciones:

- a) V regulación + V incendio
- b) V regulación + V seguridad

Para efectos del presente análisis se considerará que cada uno de los estanques abastece al 50% de la población de la localidad. De esta forma, considerando que la población de Collipulli es en

promedio de 14500 habitantes, corresponde la utilización de 2 grifos de uso simultáneo para la determinación del volumen de incendio.

Tabla 6.11- Balance estanque semienterrado Santa Lucia V=1000m³

Año	2014	2019	2024	2029	2034
Caudal maximo diario (l/s)	35.48	38.98	41.80	44.10	45.99
Volumen máximo diario (m3)	3,065	3,368	3,612	3,810	3,974
Volumen de regulación (15%)	460	505	542	572	596
Volumen de seguridad	255	281	301	318	331
Volumen de incendio	230	230	230	230	230
V. Regulación +V.Incendio	690	735	772	802	826
V.Regulación + V.Seguridad	715	786	843	889	927
Volumen requerido	715	786	843	889	927
Volumen actual	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Déficit	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Tabla 6.12- Balance estanque elevado Santa Lucia V=500m³

Año	2014	2019	2024	2029	2034
Caudal maximo diario (l/s)	35.48	38.98	41.80	44.10	45.99
Volumen máximo diario (m3)	3,065	3,368	3,612	3,810	3,974
Volumen de regulación (15%)	460	505	542	572	596
Volumen de seguridad	255	281	301	318	331
Volumen de incendio	230	230	230	230	230
V. Regulación +V.Incendio	690	735	772	802	826
V.Regulación + V.Seguridad	715	786	843	889	927
Volumen requerido	715	786	843	889	927
Volumen actual	500	500	500	500	500
Déficit	215	286	343	389	427

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

De los resultados entregados en los cuadros anteriores se observa que el estanque semienterrado no presenta déficit en todo el período de previsión. Por otra parte el estanque elevado presenta un déficit del volumen de regulación a partir aproximadamente del año 2019 y del volumen total a partir del año 2014. Por lo pronto el déficit del estanque elevado podría ser suplido por el estanque semienterrado, lo que obliga a rediseñar la PEAP existente de forma de aumentar su capacidad de bombeo. Sin embargo la solución en el largo plazo será la construcción de un nuevo estanque para el sector alto. Por esta razón y considerando que los volúmenes calculados son los mínimos

requeridos de acuerdo a la norma vigente, se estima necesaria la construcción de un nuevo estanque de 500 (m³) de capacidad.

En conclusión debido a que el proyecto se trata del diseño y mejoramiento de un sistema de producción de agua potable, existen varios componentes del mismo que se encuentran cumpliendo con la demanda proyectada para un horizonte de 20 años y en casos particulares otros que requieren aumentar su capacidad para alcanzarla.

De acuerdo al catastro y respectivo diagnóstico del sistema se propone la solución para los principales problemas detectados que involucran las siguientes actividades:

Se observa que la fuente actual es capaz satisfacer la demanda de agua potable de la localidad durante todo el período de previsión siendo su principal problema las dificultades para la captación durante la época estival. La solución de una barrera provisoria ha mostrado ser eficiente siendo una solución de poco costo de implementación. Será necesario sin embargo considerar el mejoramiento de la captación de modo de que esta pueda funcionar adecuadamente durante los meses de verano ojalá sin la necesidad de intervenir en el río.

El mejoramiento de la captación incluye:

- Limpieza general de la obra de captación.
- Reposición de compuerta de corte existente en mal estado.
- Construcción de cámara desripadora inmediatamente aguas debajo de la captación actual.
- Cierre perimetral del recinto

Básicamente el presedimentador se utilizará como sentina de acumulación y bombeo. Sin embargo y como resultado de lo observado en terreno y las conversaciones con el personal que opera el sistema se consideran los siguientes mejoramientos:

- construcción de una tubería de by pass que permita dejar fuera de operación la unidad para realizar las faenas de limpieza y mantención. Este by pass se inicia inmediatamente aguas arriba de la válvula de corte existente al ingreso del sedimentador y descarga en el sector en el que se ubican las bombas que impulsan las aguas hacia el estanque de carga Bulnes.
- Aumento del tamaño de la interconexión entre el sedimentador y la cámara en la que se ubica la bomba de lodos que permite evacuar el agua acumulada en el interior del sedimentador cuando este requiere ser vaciado. Se consulta la instalación de una tubería de acero de 600 (mm) entre ambas unidades.

La capacidad nominal de la planta de filtros es inferior a la demanda futura. Sin embargo la calidad del agua cruda es un elemento a tener en consideración en la evaluación de esta unidad. La turbiedad es en gran parte del tiempo inferior a 2 (UNT), valor por debajo de la capacidad de filtración de las unidades de acuerdo a los antecedentes disponibles. Desde el punto de vista de su condición física los filtros requieren de una mantención que incluya renovación de los lechos, lubricación de las válvulas, cambio de manómetros y, en un caso, reparación de una rotura del cilindro que genera pérdida de agua.

Las instalaciones donde se realiza el tratamiento del agua, salvo las correspondientes a inyección de productos químicos, presentan déficit por lo que será necesario realizar el estudio y diseño de ampliación de su capacidad para el tratamiento de los caudales futuros.

En particular el sedimentador gravitacional existente debe aumentar su capacidad, para ello se consulta la implementación de placas o módulos de sedimentación evaluados en los capítulos anteriores.

6.5 Aplicación de la metodología

De acuerdo al proyecto y su respectivo diagnóstico realizado al sistema de agua potable de Collipulli descrito en los puntos anteriores, se determinó que algunas de sus partes no cumplen con los requerimientos para los años de previsión estipulados para el estudio.

En particular uno de los principales mejoramientos a realizar en el sistema, es el referente a la planta de tratamiento y sus distintas unidades (coagulación, floculación, sedimentación y filtración). Este trabajo se centra en el aumento de la capacidad sedimentador existente, en relación a las nuevas solicitudes y el comportamiento respecto a la turbiedad realizado a dicha unidad en el capítulo IV.

6.5.1 Determinación de caudales de diseño

Las demandas futuras de agua potable que deberán ser suministradas por el servicio fueron proporcionadas por la empresa Aguas Araucanía S.A como antecedente para el desarrollo de este estudio y se muestra en la tabla 6.2 anteriormente descrita.

En base a estos antecedentes se ha adoptado como criterio utilizar en el presente trabajo los valores de caudal máximo diario demandados durante el periodo de previsión (Ver tabla 6.13), los cuales serán los utilizados para el aumento de la capacidad de la planta de tratamiento y en particular al sedimentador rectangular existente en Collipulli.

Tabla 6.13- Caudales de demandas de AP adoptados

Año	Qmax. Diario (lts/sg)
2014	70.96
2019	77.96
2024	83.60
2029	88.20
2034	91.98

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

En relación a estos caudales adoptados se estimó anteriormente que la planta en general posee un déficit del orden de los 23 (lts/sg) para el último año de previsión según tabla 6.11. De esta manera la planta de tratamiento y sus distintas unidades deben aumentar su capacidad.

Con lo que respecta a la unidad de coagulación en la actualidad la dosificación de cal y de sulfato se realiza mediante bombas dosificadoras que descargan a una cámara ubicada aguas arriba del sedimentador, según figura 6.10. La literatura recomienda una mezcla lo más rápida y efectiva posible de los productos químicos adicionados a las aguas con el fin de aumentar la eficiencia de la etapa de sedimentación. En la actualidad esa condición no se cumple a cabalidad en la cámara existente, por lo que se considera su reemplazo por una canaleta tipo Parshall.

Para la unidad de floculación el caudal de diseño adoptado corresponde al caudal máximo diario del último año del período de previsión, vale decir, 92 (lts/sg). Se proyecta que el floculador sea de tabiques móviles, para un tiempo de residencia total de 10 minutos. Se consideran 2 zonas: a) $t_0 = 5$ (min), $v = 0,18$ (m/sg); b) $t_0 = 5$ (min), $v = 0,18$ (m/sg). Los valores utilizados corresponden a recomendaciones de la literatura.

Como se ha señalado la PTAP cuenta con una planta de filtración compuesta por una batería de 6 filtros a presión marca AGUASIN modelo Q-250-E con una capacidad de filtración total máxima de 98.16 (lts/s). Si bien este caudal resulta inferior al caudal de bombeo del año 2034, la buena calidad que presenta el agua cruda de la localidad, según el análisis de turbiedad descrito en el capítulo IV, sumado a los mejoramientos considerados en este proyecto en las etapas de floculación y sedimentación que se realizará a continuación, no se considera la incorporación de nuevos filtros a esta planta.

De esta manera para que la planta de tratamiento funcione adecuadamente se requiere que el sedimentador actual aumente su capacidad de tratamiento, de esta manera se realiza el análisis en función de la incorporación de placas o módulos descritos en los capítulos anteriores del presente trabajo.

6.5.2 Determinación de la Velocidad de sedimentación

La velocidad crítica de sedimentación se puede obtener experimentalmente de ensayos en laboratorios, tales como columna de sedimentación o equipo modificado de prueba de jarras (figura 3.4), descritos en el capítulo III, que permiten obtener los parámetros relativos al comportamiento de la sedimentación de partículas floculentas.

En ausencia de un ensayo de sedimentación, se adoptan especificaciones de tipo general para los valores de diseño de la velocidad de sedimentación crítica, de la siguiente forma; los flóculos de sulfato de aluminio y cal (que se utilizan en la etapa de coagulación de la PTAP de Collipulli), por lo general sedimentan con una velocidad comprendida entre 0.00015 y 0.0007 (m/sg) por lo tanto puede considerarse la velocidad crítica comprendida entre este rango [10].

De acuerdo a las características del sedimentador existente y el caudal de diseño establecido para el periodo de previsión de 20 años según lo solicitado por Aguas Araucanía S.A, se obtienen las siguientes velocidades o tasas de sedimentación según la tabla 6.14.

Tabla 6.14- Tasas de sedimentación para caudal máximo diario

Año	Qmáx. Diario (m ³ /sg)	tasa de sedimentación (m/sg)
2014	0.071	0.00046
2019	0.078	0.00051
2024	0.083	0.00054
2029	0.088	0.00057
2034	0.092	0.00060

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proyecto, Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli, elaborado por S&E consultores.

Por lo tanto en relación a lo que recomienda la literatura, los valores entregados en la tabla 6.16 y la importancia de no sobrecargar los filtros en la etapa posterior de la sedimentación, se adoptará una velocidad de sedimentación para el aumento de la capacidad de los sedimentadores de 0.00035(m/sg), la cual es una velocidad crítica de sedimentación que me asegura que las partículas mayor o igual a este valor serán removidas en su totalidad.

6.5.3 Alternativas para el aumento de la capacidad de sedimentadores

Debido a que el problema principal del sedimentador radica en su capacidad de tratamiento y los problemas respecto a la turbiedad que presenta cuando existen cambios significativos en la calidad del agua cruda analizada en el capítulo IV, se ha optado por incorporar al sedimentador existente placas o módulos de acuerdo al análisis realizado en capítulos anteriores, con la finalidad de aumentar su capacidad y eficiencia frente a cambios en los niveles de turbiedad.

Si bien la alternativa de placas o módulos en el mercado actual es bastante variada en cuanto a materialidad y forma, se han dado en el capítulo V, tres alternativas que pueden ser aplicadas a cualquier sedimentador que requiera aumentar su capacidad.

6.5.4 Evaluación de alternativas

Para la evaluación de las alternativas en el aumento de la capacidad del sedimentador se utilizarán los datos de caudal y velocidad obtenidos anteriormente. En relación al caudal de diseño se optará por aumentar al doble de su capacidad actual de tratamiento, según los requerimientos de Aguas Araucanía S.A, de esta manera el sedimentador que tenía una capacidad de 0.07(m³/sg) tendrá ahora una capacidad 0.15 (m³/sg), mientras que la velocidad de sedimentación adoptada será de 0.00035 (m/sg).

Tabla 6.15- Datos para el aumento de la capacidad del sedimentador

Caudal (m ³ /sg)	Velocidad de sedimentación (m/sg)
0.15	0.00035

Fuente: Elaboración propia.

En relación a los parámetros definidos para el diseño de la tabla anterior, La primera alternativa consiste en instalar módulos de placas planas de polipropileno (PP) según la evaluación realizada en el capítulo V. De esta manera con ayuda del gráfico de la figura 5.17, pág. 88, en donde se grafican los datos de la tabla B.3 del anexo B y los cálculos del área requerida según el gráfico de la figura 5.19, pág. 90 realizado para este tipo de placas según la tabla B.1 también del anexo B, se obtienen los resultados de la tabla 6.16.

Tabla 6.16- Características de placas a instalar de polipropileno (PP)

Placas planas de PP	Área requerida (m ²)	Número de placas (Uni)
	46.5	280

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos realizados para las distintas alternativas en capítulo V.

La segunda alternativa que se plantea es la incorporación de módulos de placas de policloruro de vinilo (PVC) que generan en su conjunto una serie de tubos cuadrados, las cuales fueron analizadas en el capítulo anterior, de esta manera utilizando los gráficos de las figuras 5.12 y 5.14 pág.81 y 83 respectivamente y con el apoyo de los cálculos realizados para este tipo de módulos según las tablas B.5 y B.7 del anexo B, se obtiene los resultados de la tabla 6.17.

Tabla 6.17- Características de módulos a instalar de policloruro de vinilo (PVC)

Módulos de placas de PVC	Área requerida (m ²)	Número de módulos (Uni)
	63.7	46

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos realizados para las distintas alternativas en capítulo V.

Finalmente la última alternativa es implementar módulos de placas de poliestireno de alto impacto (HIPS) tipo colmena, estos presentan una serie de tubos de forma hexagonal y fueron analizados anteriormente. De esta forma de acuerdo al los gráficos de las figuras 5.6 y 5.8, pág. 73 y 75 respectivamente y con el apoyo de los cálculos realizados para este tipo de módulos según las tablas B.9 y B.11 del anexo B, se obtiene los resultados de la tabla 6.18.

Tabla 6.18- Características de módulos a instalar de poliestileno de alto impacto (HIPS)

Módulos de placas de HIPS	Área requerida (m ²)	Número de módulos (Uni)
	65.09	56

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos realizados para las distintas alternativas en capítulo V.

6.5.5 Selección de las placas o módulos a utilizar

El estudio considera la comparación económica de las alternativas, para lo cual se realizó el cálculo del valor actualizado de costos (VAC) de cada una de ellas. Se considera la utilización de la tasa de descuento de 7% y un horizonte de análisis al año 2034. El análisis también incluye:

- Valorización de cada alternativa, tanto en sus inversiones como en sus costos de operación y mantenimiento a lo largo del periodo de previsión adoptado.
- Sobre la base de los antecedentes de cada una de las alternativas de solución a nivel de factibilidad, respecto a presupuestos de obras y el programa de inversiones, costos de operación y mantenimiento, se realizara una evaluación económica, a nivel de anteproyecto.

6.5.5.1 Costos de inversión

A continuación se entrega el detalle de las inversiones netas de cada una de las alternativas evaluadas, según el área requerida para el aumento de la capacidad del sedimentador, de acuerdo al análisis económico realizado para cada una de ellas en el capítulo V del presente trabajo.

Tabla 6.19- Costos de inversión para sistemas de placas planas de PP.

Designación	Inversión UF
Placas planas de PP	323
Obras civiles	251
Ingeniería y dirección	86
Varios	57
Total	718

Fuente: Elaboración propia, a partir de evaluación económica realizada para las distintas alternativas en capítulo V.

Tabla 6.20- Costos de inversión para sistemas de módulos de PVC.

Designación	Inversión UF
Módulos de PVC	462
Obras civiles	142
Ingeniería y dirección	71
Varios	36
Total	710

Fuente: Elaboración propia, a partir de evaluación económica realizada para las distintas alternativas en capítulo V.

Tabla 6.21- Costos de inversión para sistemas de módulos de HIPS.

Designación	Inversión UF
Módulos de HIPS	534
Obras civiles	164
Ingeniería y dirección	82
Varios	41
Total	821

Fuente: Elaboración propia, a partir de evaluación económica realizada para las distintas alternativas en capítulo V.

6.5.5.2 Costos de operación y mantenimiento

Mediante las solicitudes descritas anteriormente para el aumento de la capacidad del sedimentador, se desarrollo el análisis de operación y mantenimiento de acuerdo al área requerida para cada alternativa. De esta manera mediante el valor agregado de costos (VAC) para un horizonte de 20 años se obtiene los valores de la tabla 6.23, en base al análisis realizado en el capítulo V.

Tabla 6.22- Valor actualizado de costos (VAC) para las diferentes alternativas

Alternativas	VAC (UF)
Sistema placas planas de PP	1057
Sistema módulos de PVC	1043
Sistema módulos de HIPS	1204

Fuente: Elaboración propia, a partir de evaluación económica realizada para las distintas alternativas en capítulo V.

6.5.5.3 Selección de alternativa

De acuerdo a la evaluación realizada anteriormente para cada alternativa desde el punto de vista económico, se obtuvieron los parámetros expresados en la tabla 6.23.

Tabla 6.23- Resumen análisis de alternativas

Alternativas	Inversion (UF/m2)	VAC (UF/m2)	Area requerida (m2)	Inversion (UF)	VAC (UF)	Inversion (\$)	VAC (\$)
Sistema placas planas de PP	72	140	46.5	718	1057	17,212,614	25,335,625
Sistema modulos de PVC	58	115	63.7	710	1043	17,020,830	25,013,668
Sistema modulos de HIPS	67	132	65.09	821	1204	19,681,833	28,867,088

Fuente: Elaboración propia, a partir de evaluación económica realizada para las distintas alternativas en capítulo V y resultados anteriores.

Si bien el área requerida para las placas planas es aproximadamente 20% menos en comparación a los módulos, poseen valores similares en cuanto a inversión y valor agregado de costos. De esta manera, como el sedimentador evaluado posee un área total aproximada de 154 (m²), el área requerida no juega un papel fundamental para determinación de la alternativa.

Los sistemas de módulos de PVC son los seleccionados para este proyecto, donde los factores económicos e instalación (con respecto a las placas planas) definieron la alternativa seleccionada, aunque las placas sean más eficientes según el capítulo V del presente trabajo.

6.5.6 Presupuesto

Finalmente se entrega el resumen de los costos de inversión, operación y mantenimiento del proyecto "Diseño mejoramiento sistema de producción de agua potable de Collipulli", evaluando las tres alternativas; Sistema módulos de PVC, sistema de placas planas de PP y sistema de módulos de HIPS, destacando la alternativa escogida para el desarrollo del aumento de la capacidad del sedimentador existente.

Tabla 6.24- Resumen de alternativas económicas evaluadas

Alternativas	Sub total		Total proyecto	
	Inversión (\$)	VAC (\$)	Inversión (\$)	VAC (\$)
Sistema módulos de PVC	17,020,830	25,013,668	25,361,037	37,270,365
Sistema placas planas de PP	17,212,614	25,335,625	25,646,795	37,750,081
Sistema módulos de HIPS	19,681,833	28,867,088	29,325,931	43,011,961

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados anteriores.

El presupuesto para el aumento de la capacidad del sedimentador por medio del sistema de módulos de PVC, considera un 30% del valor neto de las obras para los gastos generales y utilidades, según la tabla 6.25.

Tabla 6.25- Presupuesto sistema módulos de PVC sedimentador Collipulli.

Ítem	Designación	P. Total (\$)
I	Sistema de Módulos de PVC	17,020,830
	Sub Total	17,020,830
	30% Gastos Generales y Utilidades	5,106,249
	19% IVA	3,233,958
	Total Proyecto	25,361,037

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados anteriores.

CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES

Este trabajo fue realizado con el objetivo de entregar una herramienta que permita evaluar técnica y económicamente diferentes alternativas de placas utilizadas en el aumento de la capacidad de sedimentadores rectangulares, en una etapa de ingeniería básica, para evaluadores que se encuentren diseñando este tipo de proyectos.

De acuerdo al estudio realizado en este trabajo, se pudo entender que el proceso de sedimentación en las plantas de tratamiento de agua potable depende de diversas variables que hacen difícil poder predecir acertadamente el comportamiento real de los sedimentadores. La eficiencia de estas unidades está relacionada directamente con la turbiedad del agua que entra al sistema y el adecuado funcionamiento en los procesos de coagulación y floculación.

A modo de encontrar una tendencia del comportamiento de algunos sedimentadores rectangulares en cuanto a la capacidad de remoción de partículas, se realizó el análisis de las turbiedades de entrada y salida de cada unidad. El resultado de este análisis arrojó que las eficiencias obtenidas son muy bajas, lo cual se debe principalmente a que están directamente influenciadas por el valor de la turbiedad del agua cruda, ya que para altos niveles de turbiedad, las reducciones aparecen mucho más grandes que si estos niveles son pequeños. De esta forma si un sedimentador presenta una efluente de salida de 5 (UNT) para una turbiedad de entrada de 20 (UNT) la eficiencia es del 75%, mientras que si se presenta otro caudal de entrada con 50 (UNT) pero con la misma turbiedad de salida la eficiencia es del 90%. Esto deja claro que la estimación de la eficiencia mediante este análisis es más bien imprecisa, pero puede ser usada para un primer diagnóstico del comportamiento sedimentador.

La situación óptima sería tener sedimentadores con la mayor eficiencia posible para asegurar un comportamiento adecuado en la etapa de filtración, ya que de esta manera se reduciría el ensuciamiento de los filtros y por ende una reducción significativa en las pérdidas que genera el continuo retrolavado de estas unidades con agua previamente tratada. Una buena solución es la incorporación de placas inclinadas a los sedimentadores convencionales convirtiéndolos en alta tasa, lo que permite una mayor capacidad de remoción de partículas, que finalmente se traduce en un mayor caudal a tratar en un área más compacta.

De acuerdo a las tres alternativas de placas evaluadas en este trabajo; placas planas de polipropileno (PP), módulos de policloruro de vinilo (PVC) y módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS), se puede concluir que teóricamente las placas planas poseen hasta un 30% más de eficiencia, en cuanto al porcentaje de remoción de partículas, en relación a los módulos en igualdad de condiciones, esto se traduce en la incorporación de un área más pequeña para tratar cierto tipo de caudal. Por otro lado la implementación de módulos a los sedimentadores es mucho más rápida en relación a las placas las cuales requieren de un trabajo más complejo para lograr el ángulo de inclinación, la separación y otras características del diseño.

Según el análisis de los costos de inversión de las alternativas por unidad de área instalada, se puede observar que la incorporación de sistemas de módulos de PVC a los sedimentadores rectangulares es más barata que su similar de módulos de HIPS, con un costo de 58 (UF/m²) sobre los 67 (UF/m²) de estos últimos, en este tipo de sistema la principal inversión recae en el suministro de los módulos. Mientras que las placas planas de PP que tienen un costo de inversión de 72 (UF/m²) por lo que su implementación es más cara y a diferencia de los módulos la inversión en la obra civil toma mucha más importancia.

Por otra parte, los costos de mantenimiento y operación de las alternativas, se consideraron como un porcentaje de la inversión inicial, esto resultó bastante útil para realizar una primera estimación de gastos. Se recomienda que a nivel de ingeniería de detalle se haga un estudio más profundo de las variables que influyen en el sistema.

Después de analizar el caso de estudio en la localidad de Collipulli, se puede concluir que de acuerdo a las características del proyecto, los sistemas de módulos de PVC son los más económicos seguidos muy de cerca por las placas planas de PP y finalmente los módulos de HIPS los cuales resultaron ser los más caros. Se recomienda en estos casos analizar la alternativa mediante características técnicas ya sea por la eficiencia, área requerida, estabilidad estructural, facilidad de instalación, etc., de acuerdo a las características del sedimentador existente y los requerimientos del mandante.

Se debe tener en cuenta que el trabajo realizado corresponde a un estudio de prefactibilidad a nivel de anteproyecto, lo cual permite tener una estimación preliminar del tipo de placa o módulo a emplear en el aumento de la capacidad de los sedimentadores, por lo tanto para un nivel de ingeniería más avanzada se debe incorporar mayor detalle en el análisis y las variables mencionadas en el párrafo anterior.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEPIS–Programa de Protección de la Salud Ambiental-HPE Evaluación de plantas de tratamiento de agua. Tomo I, Manual DTIAPA C-5, 1981.
- [2] Pérez, J. M. Submódulo 4.5.2. *Sedimentadores laminares*. Versión preliminar. Programa Regional OPS/HEP/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua, 1981.
- [3] Fair, G. M.; Geyer, J. C. y Okan, D. A. *Water and Wastewater Engineering*. Nueva York, John Wiley, 2 vols, 1968.
- [4] CEPIS- Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del agua, Departamento de ingeniería y ciencias del ambiente, serie técnica 13.
- [5] Camp, T.R., (1946), "Sedimentation and the Design of Settling Tanks", Trans, ASCE, Vol. III
- [6] G. AHUMADA "Obras de Captación", Asociación Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Chile, 2010 Código de verificación 726712
- [7] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), *Criterios para la Dosificación y Mezcla Rápida*, Tomo I Diseño, 1992.
- [8] G. AHUMADA "Tratamiento Convencional de Agua Potable", Asociación Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Chile, 2010.
- [9] J. Luis Alunni "Agua Potable, Redes y Tratamiento" Fundamentos de ingeniería, Vol 9
- [10] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Criterio de Diseño para Floculadores y Decantadores, Tomo II, 1992.
- [11] NCh 409/1 of 2005 "Requisitos".
- [12] Yao, K.M., (Feb. 1970) "Theoretical study of high rate sedimentation" Journal of the Water Pollution Control Federation, 42:218.
- [13] Yao, K.M., (1972) "High-rate settler", actas del simposio sobre Nuevos Métodos de Tratamiento del Agua, Asunción-Paraguay. OPS/CEPIS.
- [14] Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Manual III Teoría, tomo 11, Sedimentación. Serie Filtración Rápida, 1992.
- [15] Pérez, J. Evaluation of lower cost methods of water treatment in Latin America. Lima, CEPIS/OPS, 1977, pp. 290.
- [16] Vargas, L. Proyectos, fotos y gráficos de archivos personales. Lima, CEPIS/OPS, 2004.
- [17] J. Arboleda. Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua, Conceptos Modernos en el Diseño del Proceso de Sedimentación, Tomo V, 1973
- [18] Revista Inversiones Hualix, turbiedad, 2010.
- [19] Revista, Metas y Logros, "Medición de la turbidez en el estado del agua", Enero 2010.

[20] Manual Decantadores con Módulos Lamelares para Sedimentación Acelerada, Laminares TecnoConverting., 2010.

[21] ARCADIS geotecnia Plan Regulador Comunal de Collipulli, Anexo A, Memoria Explicativa, Capitulo 3, Factibilidad Sanitaria.

[22] Yao, K.M., (Feb. 1972) "Sedimentadores de Alta Rata", Camp Dresser & McKee International Boston, Massachusetts, EE.UU.

[23] Pérez Carrión, J. M. y Canepa de Vargas, L. Manual IV. Evaluación Tomo III Procesos tecnología convencional. Lima, Programa HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 1992.

ANEXO A – EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PLACAS

Para estimar los costos de inversión y operación de las alternativas planteadas en el capítulo V, se utilizará el valor actualizado de costos, que permite comparar las distintas unidades de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (\text{ecc.A.1})$$

Donde:

VAC = Valor actualizado de costos

I_0 = Inversión inicial

C_t = Costos incurrido durante el período t

n = Horizonte de evaluación, años

r = tasa de descuento, %

Para este análisis se considera la utilización de la tasa de descuento (r) de 7% y un horizonte de análisis al año 20 años. Se utilizara la Unidad de Fomento (UF), del día 9 de junio de 2014, que corresponde a \$23.973.29.

Para la determinación de los costos de operación y mantenimiento, se utilizará un porcentaje de la inversión inicial, de esta manera tomando como referencia la información sobre los costos obtenidas de otros proyectos similares realizados por la consultora ICC-COVIL y por S&E consultores, se generarán evaluaciones económicas para diferentes niveles de superficies a instalar. Esta información se graficará en una nube de puntos, para ser ajustados y elaborar las curvas de inversión y VAC.

A continuación se entrega el detalle de las evaluaciones económicas para las diferentes alternativas, de acuerdo al área a instalar. Estas son; placas planas de polipropileno, módulos de policloruro de vinilo y módulos de poliestireno.

Anexo A.1- Placas planas de polipropileno (PP)

Tabla A.1- Evaluación económica de placas planas de PP para superficies entre 10– 450 m²

Costos - 10 m ²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Placas planas de polipropileno	182.9																				
Obra Civil	150.1																				
Ingeniería y dirección	61.5																				
Varios	34.3																				
Subtotal Inversión	428.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44
Subtotal Reposición	0	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44	21.44
Reposición																					
Placas planas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.5884	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.5884
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.5884	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.5884
Valor Actual de Costo UF	685.5	428.76	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	60.0264	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	21.438	60.0264
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 16,432,799	10278788	613939	513939	513939	513939	513939	513939	513939	513939	1439030	513939	513939	513939	513939	513939	513939	513939	513939	513939	1439030
Costos - 30 m²																					
Inversiones																					
Placas planas de polipropileno	250.9																				
Obra Civil	105.1																				
Ingeniería y dirección	66.9																				
Varios	44.6																				
Subtotal Inversión	557.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87
Subtotal Reposición	0	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87
Reposición																					
Placas planas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.1723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.1723
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.1723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.1723
Valor Actual de Costo UF	891.2	557.47	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	76.0458	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	27.8735	76.0458
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 21,305,702	13364390	668219	668219	668219	668219	668219	668219	668219	668219	1971015	668219	668219	668219	668219	668219	668219	668219	668219	668219	1971015
Costos - 60 m²																					
Inversiones																					
Placas planas de polipropileno	356.8																				
Obra Civil	278.7																				
Ingeniería y dirección	94.9																				
Varios	63.2																				
Subtotal Inversión	790.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
Subtotal Reposición	0	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
Reposición																					
Placas planas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.1504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.1504
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.1504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.1504
Valor Actual de Costo UF	1,263.9	790.56	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	110.7	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	110.7
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 30,299,267	18952324	947616	947616	947616	947616	947616	947616	947616	947616	2833325	947616	947616	947616	947616	947616	947616	947616	947616	947616	2833325

Costos - 90 m2		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																						
Placas planas de polipropileno		436.0																				
Obra Civil		340.7																				
Ingeniería y dirección		116.8																				
Varios		77.9																				
Subtotal Inversión		973.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenición																						
O&M		0	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Subtotal Reposición		0	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Reposición																						
Placas planas de polipropileno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.6015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
Subtotal Reposición		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.6015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
Valor Actual de Costo UF	1,243.0	973.35	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	107.0685	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	19.467	92.467
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 29,798,330	23334402	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	2566764	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	466688	2216738

Costos - 120 m2		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																						
Placas planas de polipropileno		582.6																				
Obra Civil		453.1																				
Ingeniería y dirección		155.4																				
Varios		103.6																				
Subtotal Inversión		1294.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenición																						
O&M		0	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894
Subtotal Reposición		0	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894
Reposición																						
Placas planas de polipropileno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116.523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116.523
Subtotal Reposición		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116.523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116.523
Valor Actual de Costo UF	1,658.4	1294.7	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	142.417	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	25.894	142.417
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 39,750,526	31038219	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	3414204	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	620764	3414204

Costos - 150 m2		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																						
Placas planas de polipropileno		707.8																				
Obra Civil		550.5																				
Ingeniería y dirección		186.7																				
Varios		125.8																				
Subtotal Inversión		1672.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenición																						
O&M		0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Subtotal Reposición		0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Reposición																						
Placas planas de polipropileno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141.561	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141.561
Subtotal Reposición		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141.561	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141.561
Valor Actual de Costo UF	2,014.7	1672.9	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	173.019	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	31.458	173.019
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 48,209,261	37707608	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	4147836	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	754152	4147836

Costeo - 200 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	
Inversiones																						
Piñacas plenas de polipropileno	849.8																					
Obra Civil	681.0																					
Ingeniería y dirección	228.0																					
Varios	151.1																					
Subtotal Inversión	1888.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenimiento																						
O&M	0	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
Subtotal Reposición	0	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
Reposición																						
Piñacas plenas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189.9695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189.9695	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189.9695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189.9695	
Valor Actual de Costo UF	2.419.0	1888.65	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	207.7405	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	37.771	207.7405	
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 57,991,958	45274757	905495	905495	905495	905495	905495	905495	905495	905495	4280223	905495	905495	905495	905495	905495	905495	905495	905495	905495	4980223	
Costeo - 250 m2																						
Inversiones																						
Piñacas plenas de polipropileno	929.3																					
Obra Civil	722.8																					
Ingeniería y dirección	247.8																					
Varios	165.2																					
Subtotal Inversión	2065.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenimiento																						
O&M	0	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
Subtotal Reposición	0	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
Reposición																						
Piñacas plenas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185.859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185.859	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185.859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185.859	
Valor Actual de Costo UF	2.645.2	2065.1	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	227.161	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	41.302	227.161	
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 63,413,302	49507241	990145	990145	990145	990145	990145	990145	990145	990145	5445797	990145	990145	990145	990145	990145	990145	990145	990145	990145	5445797	
Costeo - 300 m2																						
Inversiones																						
Piñacas plenas de polipropileno	1013.6																					
Obra Civil	788.4																					
Ingeniería y dirección	270.3																					
Varios	180.2																					
Subtotal Inversión	2252.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenimiento																						
O&M	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
Subtotal Reposición	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
Reposición																						
Piñacas plenas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	202.725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	202.725	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	202.725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	202.725	
Valor Actual de Costo UF	2.885.2	2252.5	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	247.776	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	45.05	247.776	
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 69,167,919	53999836	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	5939982	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	1079997	5939982	

Costos - 350 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Pièces planas de polipropileno	1095.2																				
Obra Civil	1844.8																				
Ingeniería y dirección	269.7																				
Varios	103.1																				
Subtotal Inversión	2413.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenón																					
O&M	0	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Subtotal Reposición	0	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Reposición																					
Pièces planas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217.242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217.242
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217.242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217.242
Valor Actual de Costo UF	3,091.8	2413.6	48.270	48.270	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	265.518	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	48.276	265.518
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 74,129,880	87866727	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	6369340	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	1167335	6369340
Costos - 450 m2																					
Inversiones																					
Pièces planas de polipropileno	1106.8																				
Obra Civil	860.7																				
Ingeniería y dirección	295.1																				
Varios	106.7																				
Subtotal Inversión	2469.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenón																					
O&M	0	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Subtotal Reposición	0	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Reposición																					
Pièces planas de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221.328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221.328
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221.328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221.328
Valor Actual de Costo UF	3,410.6	2459.2	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	298.104	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	73.776	298.104
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 81,760,697	98955118	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	7074614	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	1768653	7074614

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

De la tabla A.1 se puede obtener una nube de puntos los cuales se grafican en la figura A.1, posteriormente ajustando estos datos se obtiene la gráfica de la figura A.2 la cual representan las curvas de inversión y valor agregado de de un sistema de sedimentación de alta tasa de placas planas de polipropileno para un horizonte de 20 años.

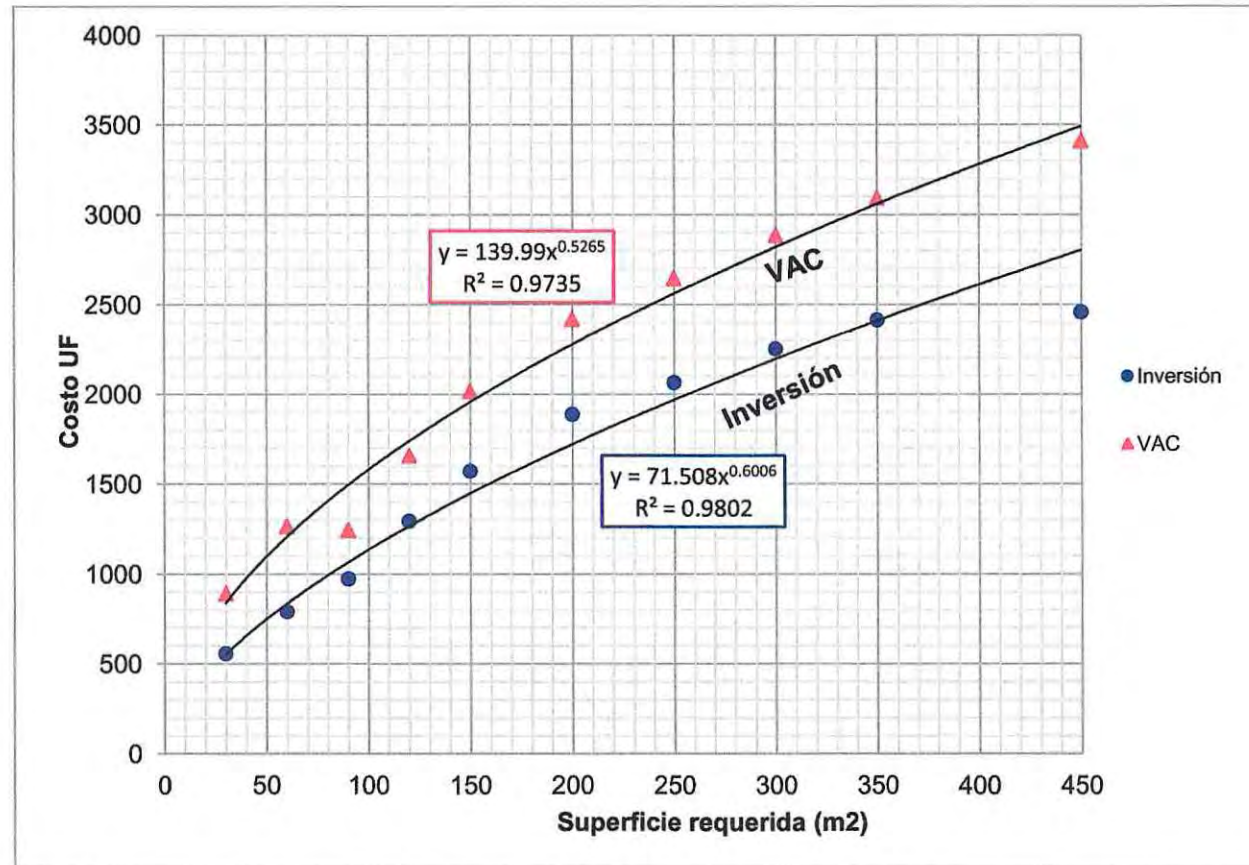


Figura A.1- Dispersión de puntos para costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con placas planas de polipropileno
Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

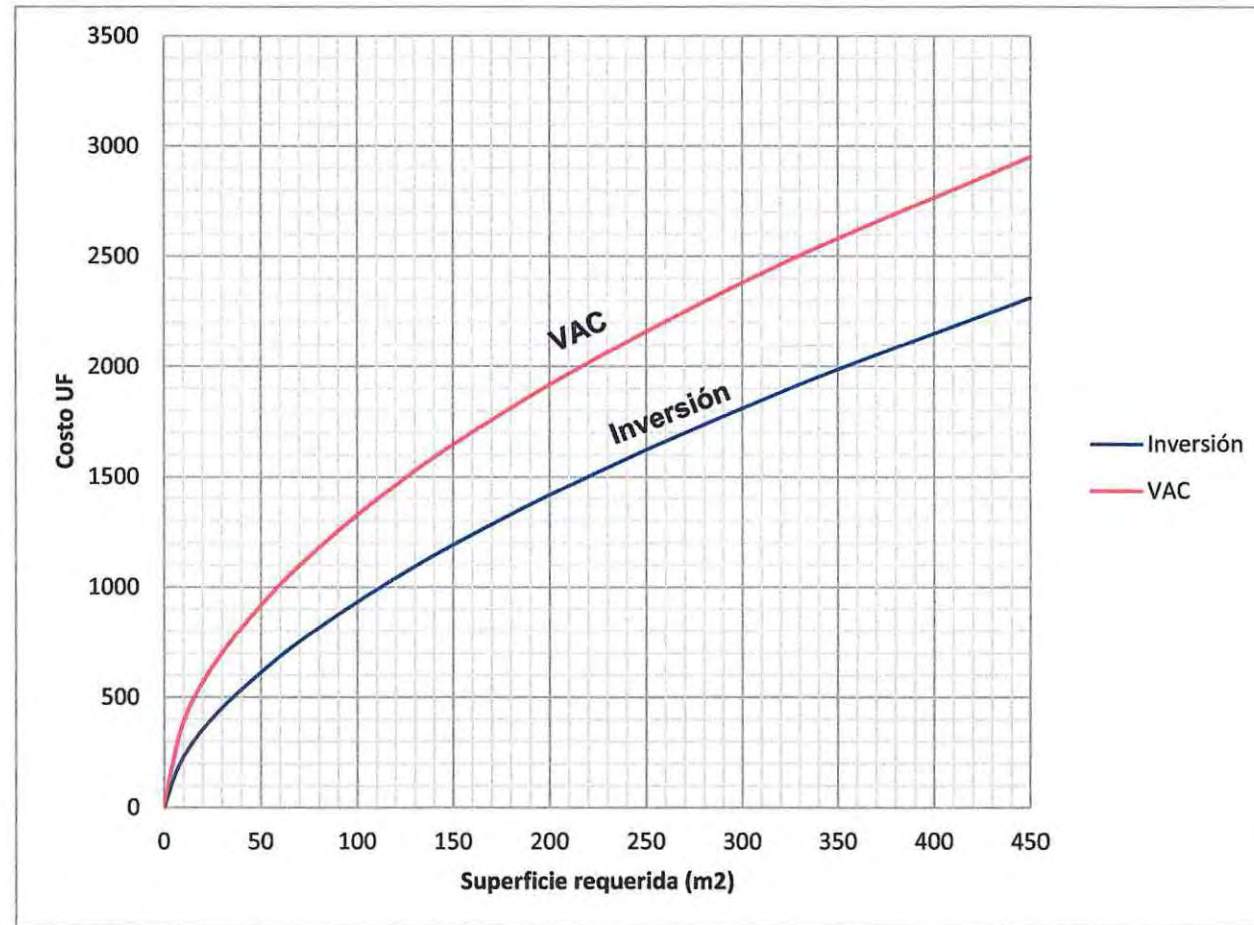


Figura A.2- Costos en UF de sistemas de sedimentación de alta tasa con placas planas de polipropileno.
 Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

Anexo A.2- Módulos de policloruro de vinilo (PVC)

Tabla A.2- Evaluación económica de módulos de PVC para superficies entre 10– 450 m²

Costos - 10 m ²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de PVC	224.5																				
Obras Civiles	69.1																				
Ingeniería y dirección	34.5																				
Varios	17.3																				
Subtotal Inversión	345.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27
Subtotal Reposición	0	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27	17.27
Reposición																					
Módulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.9007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.9007
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.9007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.9007
Valor Actual de Costo UF	562.8	345.39	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	62.1702	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	17.2695	62.1702
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 13,491,491	8289135	414007	414007	414007	414007	414007	414007	414007	414007	1490424	414007	414007	414007	414007	414007	414007	414007	414007	414007	1490424
Costos - 30 m²																					
Inversiones																					
Módulos de PVC	204.6																				
Obras Civiles	90.7																				
Ingeniería y dirección	45.3																				
Varios	22.7																				
Subtotal Inversión	463.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66
Subtotal Reposición	0	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66	22.66
Reposición																					
Módulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.9251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.9251
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.9251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.9251
Valor Actual de Costo UF	738.5	453.27	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	81.5886	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	22.6635	81.5886
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 17,705,458	10866373	543310	543310	543310	543310	543310	543310	543310	543310	1955947	543310	543310	543310	543310	543310	543310	543310	543310	543310	1955947
Costos - 60 m²																					
Inversiones																					
Módulos de PVC	423.2																				
Obras Civiles	131.8																				
Ingeniería y dirección	65.9																				
Varios	32.9																				
Subtotal Inversión	658.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9
Subtotal Reposición	0	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9
Reposición																					
Módulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.644
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.644
Valor Actual de Costo UF	1,073.4	658.6	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	118.6	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	118.6
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 25,733,791	19793003	789680	789680	789680	789680	789680	789680	789680	789680	2842049	789680	789680	789680	789680	789680	789680	789680	789680	789680	2842049

Costos - 90 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	
Inversiones																						
Modulos de PVC	530.2																					
Obra Civil	163.2																					
Ingenieria y direccion	81.8																					
Varios	40.6																					
Subtotal Inversión	815.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenión																						
O&M	0	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	
Subtotal Reposición	0	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	
Reposición																						
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106.0468	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106.0468	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	
Valor Actual de Costo UF	1,051.4	815.78	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	122.364	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	16.3152	89.3152
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 25,444,720	19556451	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	2933468	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	391129	2141179
Costos - 120 m2																						
Inversiones																						
Modulos de PVC	676.4																					
Obra Civil	208.1																					
Ingenieria y direccion	104.1																					
Varios	62.0																					
Subtotal Inversión	1040.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenión																						
O&M	0	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	
Subtotal Reposición	0	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	
Reposición																						
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.276	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.276	
Valor Actual de Costo UF	1,364.6	1040.6	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	166.09	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	20.812	166.09
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 32,718,974	24946806	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	3741991	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	498932	3741991
Costos - 150 m2																						
Inversiones																						
Modulos de PVC	821.7																					
Obra Civil	252.8																					
Ingenieria y direccion	126.4																					
Varios	83.2																					
Subtotal Inversión	1264.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operación y Mantenión																						
O&M	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Subtotal Reposición	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Reposición																						
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164.346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164.346	
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164.346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164.346	
Valor Actual de Costo UF	1,658.1	1264.2	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	169.63	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	25.284	169.63
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																					
Valor Actual de Costo	\$ 39,749,497	30327033	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	4548055	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	606141	4548055

Costos - 200 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Modulos de PVC	1009.0																				
Obras Civil	310.0																				
Ingenieria y direccion	155.3																				
Varios	77.7																				
Subtotal Inversión	1653.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantención																					
O&M	0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Subtotal Reposición	0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Reposición																					
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201.916	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201.916
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201.916	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201.916
Valor Actual de Costo UF	2,037.1	1653.2	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	232.98	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	31.064	232.98
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 48,836,355	37235314	744706	744706	744706	744706	744706	744706	744706	744706	5585297	744706	744706	744706	744706	744706	744706	744706	744706	744706	5585297
Costos - 250 m2																					
Inversiones																					
Modulos de PVC	1091.4																				
Obras Civil	335.8																				
Ingenieria y direccion	167.9																				
Varios	84.0																				
Subtotal Inversión	1679.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantención																					
O&M	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Subtotal Reposición	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Reposición																					
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218.283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218.283
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218.283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218.283
Valor Actual de Costo UF	2,202.2	1679.1	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	261.866	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	33.592	261.866
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 52,794,954	40253551	805071	805071	805071	805071	805071	805071	805071	805071	6036033	805071	805071	805071	805071	805071	805071	805071	805071	805071	6036033
Costos - 300 m2																					
Inversiones																					
Modulos de PVC	1243.1																				
Obras Civil	392.5																				
Ingenieria y direccion	191.3																				
Varios	85.6																				
Subtotal Inversión	1912.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantención																					
O&M	0	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Subtotal Reposición	0	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Reposición																					
Modulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248.625
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248.625
Valor Actual de Costo UF	2,505.4	1912.0	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	268.678	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	38.25	268.678
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 80,133,613	45848917	916978	916978	916978	916978	916978	916978	916978	916978	6977338	916978	916978	916978	916978	916978	916978	916978	916978	916978	6977338

Costos - 350 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de PVC	1278.4																				
Obra Civil	393.4																				
Ingeniería y dirección	196.7																				
Varios	98.3																				
Subtotal Inversión	1966.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Subtotal Reposición	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Reposición																					
Módulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255.684	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255.684
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255.684	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255.684
Valor Actual de Costo UF	2,579.6	1966.8	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	295.02	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	39.336	295.02
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 61,840,936	47150667	943013	943013	943013	943013	943013	943013	943013	943013	7072000	943013	943013	943013	943013	943013	943013	943013	943013	943013	7072000
Costos - 450 m2																					
Inversiones																					
Módulos de PVC	1327.0																				
Obra Civil	408.3																				
Ingeniería y dirección	204.2																				
Varios	102.1																				
Subtotal Inversión	2041.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Subtotal Reposición	0	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Reposición																					
Módulos de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265.408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265.408
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265.408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265.408
Valor Actual de Costo UF	2,894.0	2041.6	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	326.656	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	61.248	326.656
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 69,377,949	48943669	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	7831019	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	1468316	7831019

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVID y S&E consultores.

De la tabla A.2 se puede obtener una nube de puntos los cuales se grafican en la figura A.3, posteriormente ajustando estos datos se obtiene la gráfica de la figura A.4, la cual representan las curvas de inversión y valor agregado de costos de un sistema de sedimentación de alta tasa confeccionado por módulos de policloruro de vinilo para un horizonte de 20 años.

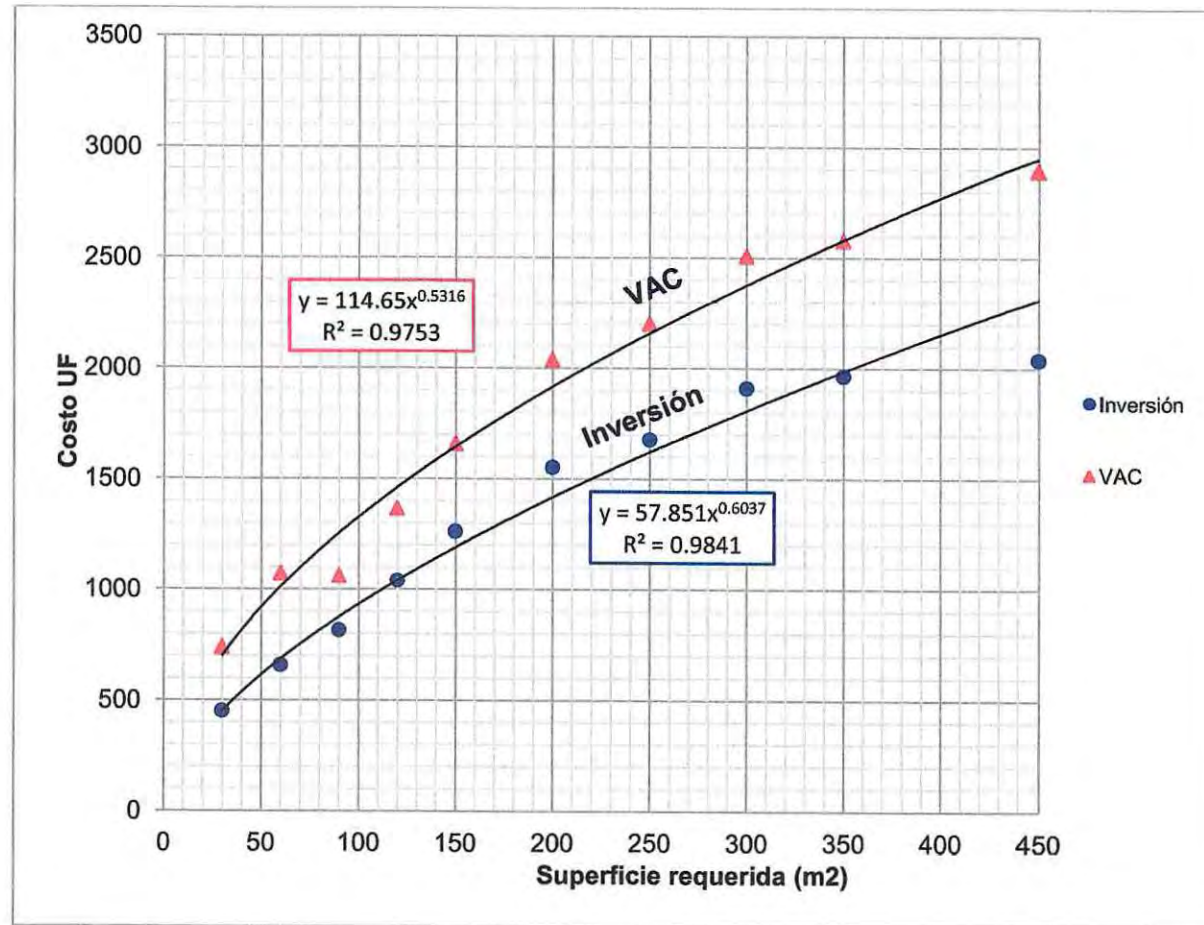


Figura A.3- Dispersión de puntos para costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de PVC
Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

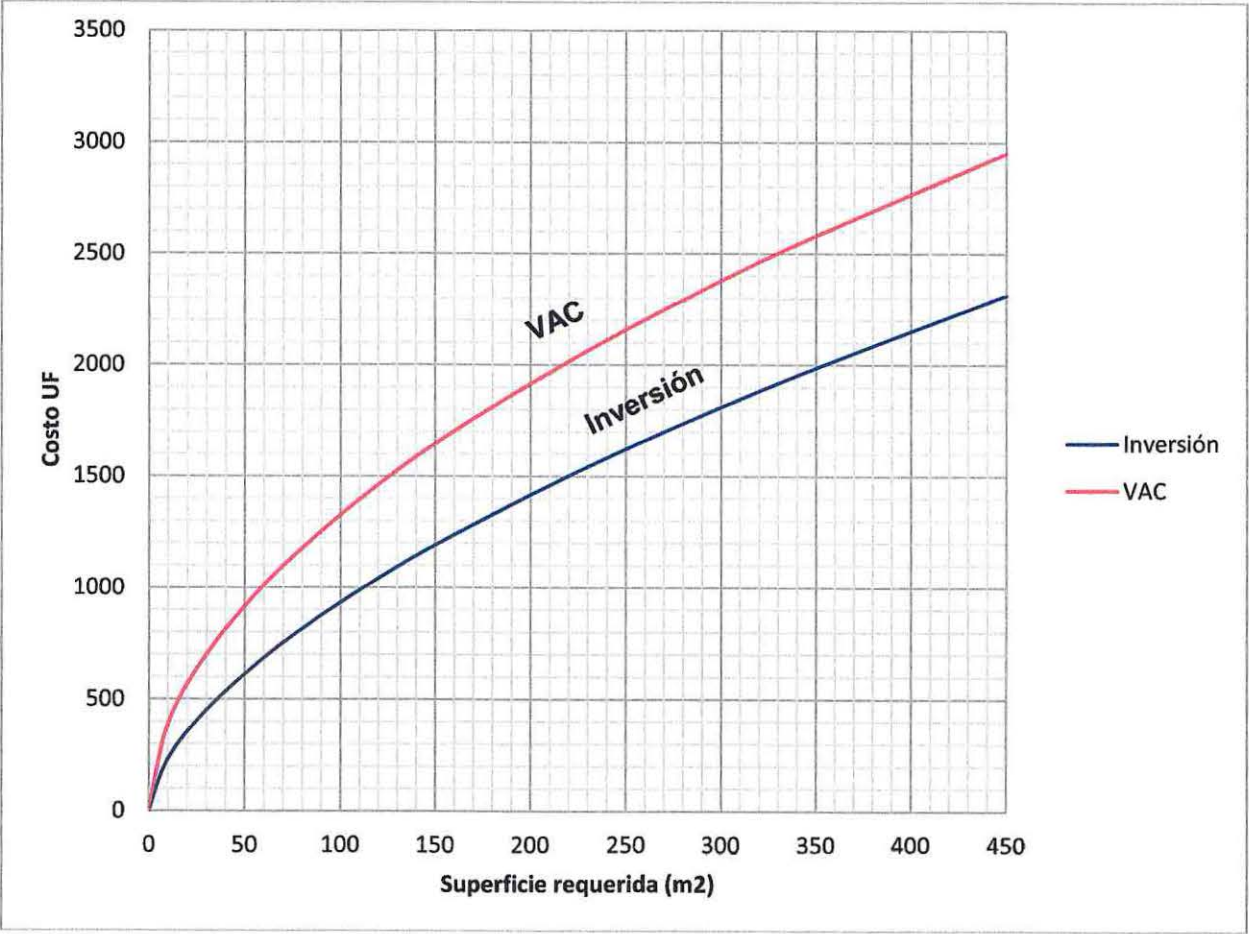


Figura A.4- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de PVC
 Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

Anexo A.3- Módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS)

Tabla A.3- Evaluación económica de módulos de HIPS para superficies entre 10– 450 m²

Costos - 10 m ²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de HIPS	258.1																				
Obra Civil	75.4																				
Ingeniería y dirección	39.7																				
Varios	19.9																				
Subtotal Inversión	397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85
Subtotal Reposición	0	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.61
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.61
Valor Actual de Costo UF	848.9	397	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	71.46	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	71.46
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 15,507,461	8517396	475870	475870	475870	475870	475870	475870	475870	475870	1713131	475870	475870	475870	475870	475870	475870	475870	475870	475870	1713131
Costos - 30 m²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de HIPS	336.7																				
Obra Civil	104.2																				
Ingeniería y dirección	52.1																				
Varios	26.1																				
Subtotal Inversión	521	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05
Subtotal Reposición	0	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.73
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.73
Valor Actual de Costo UF	848.9	621	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	93.78	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	26.05	93.78
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 20,351,101	12490084	624504	624504	624504	624504	624504	624504	624504	624504	2248215	624504	624504	624504	624504	624504	624504	624504	624504	624504	2248215
Costos - 60 m²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de HIPS	475.8																				
Obra Civil	148.4																				
Ingeniería y dirección	73.2																				
Varios	36.6																				
Subtotal Inversión	732	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6
Subtotal Reposición	0	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.16
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.16
Valor Actual de Costo UF	1,192.7	732	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	131.8	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	131.8
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 26,593,101	17849446	877422	877422	877422	877422	877422	877422	877422	877422	3158721	877422	877422	877422	877422	877422	877422	877422	877422	877422	3158721

Costos - 90 m2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de HIPS	602.6																				
Obr Civil	165.4																				
Ingeniería y dirección	92.7																				
Varios	48.4																				
Subtotal Inversión	927	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Subtotal Reposición	0	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
Valor Actual de Costo UF	1,203.6	927	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	132.05	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	18.54	91.54
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 28,852,784	22223240	444465	444465	444465	444465	444465	444465	444465	444465	3333480	444465	444465	444465	444465	444465	444465	444465	444465	444465	2194515
Costos - 120 m2																					
Inversiones																					
Módulos de HIPS	706.5																				
Obr Civil	242.0																				
Ingeniería y dirección	121.0																				
Varios	60.5																				
Subtotal Inversión	1210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Subtotal Reposición	0	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157.3
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157.3
Valor Actual de Costo UF	1,587.0	1210	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	161.5	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	181.5
Valor UF (09-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 38,045,319	20007691	580154	580154	580154	580154	580154	580154	580154	580154	4351152	580154	580154	580154	580154	580154	580154	580154	580154	580154	4351152
Costos - 150 m2																					
Inversiones																					
Módulos de HIPS	655.8																				
Obr Civil	294.0																				
Ingeniería y dirección	147.0																				
Varios	73.5																				
Subtotal Inversión	1470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
O&M	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Subtotal Reposición	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Reposición																					
Módulos de HIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191.1
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191.1
Valor Actual de Costo UF	1,928.0	1470	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	220.5	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	220.5
Valor UF (09-06-2014)	\$ 46,220,348																				
Valor Actual de Costo	\$ 46,220,348	35240736	704816	704816	704816	704816	704816	704816	704816	704816	5285110	704816	704816	704816	704816	704816	704816	704816	704816	704816	5285110

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20		
Cobres - 200 m2																							
Inversiones	1147,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	353,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Obra Civil	176,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingeniería y dirección	86,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Varios	1785	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Inversión																							
Operación y Mantenimiento	0	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
O&M	0	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Subtotal Repetición	0	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal	1147,3	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Valor Actual de Costo UF	2.314,0																						
Valor UF (09-09-2014)	\$ 23.073,20																						
Valor Actual de Costo	\$ 55.469,057																						
Cobres - 200 m2																							
Inversiones	1254,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	349,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Obra Civil	183,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingeniería y dirección	88,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Varios	1830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Inversión																							
Operación y Mantenimiento	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
O&M	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
Subtotal Repetición	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal	1254,5	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
Valor Actual de Costo UF	2.351,3																						
Valor UF (09-09-2014)	\$ 23.073,20																						
Valor Actual de Costo	\$ 60.150,355																						
Cobres - 300 m2																							
Inversiones	1351,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	425,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Obra Civil	212,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingeniería y dirección	106,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Varios	2125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Inversión																							
Operación y Mantenimiento	0	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
O&M	0	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
Subtotal Repetición	0	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Módulo de HPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal Reparación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subtotal	1351,3	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
Valor Actual de Costo UF	2.787,1																						
Valor UF (09-09-2014)	\$ 23.073,20																						
Valor Actual de Costo	\$ 66.815,128																						

Costos - 350 m ²	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones																					
Módulos de HPS	1452.8																				
Obra Civil	447.0																				
Ingeniería y dirección	223.5																				
Varios	111.8																				
Subtotal Inversión	2235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
C&M	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Subtotal Reposición	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Reposición																					
Módulos de HPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290.55
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290.55
Valor Actual de Costo UF	2,931.3	2235	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	335.25	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	335.25
Valor UF (08-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 70,273,781	83680303	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	8037045	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	1071606	8037045
Costos - 450 m²																					
Inversiones																					
Módulos de HPS	1508.0																				
Obra Civil	484.0																				
Ingeniería y dirección	232.0																				
Varios	116.0																				
Subtotal Inversión	2320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento																					
C&M	0	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Subtotal Reposición	0	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Reposición																					
Módulos de HPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301.6
Subtotal Reposición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301.6
Valor Actual de Costo UF	3,285.6	2320	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	371.2	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	89.6	371.2
Valor UF (08-06-2014)	\$ 23,973.29																				
Valor Actual de Costo	\$ 78,938,878	85618033	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	8898885	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	1668541	8898885

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

De la tabla A.3 se puede obtener una nube de puntos los cuales se grafican en la figura A.5, posteriormente ajustando estos datos se obtiene la gráfica de la figura A.6, la cual representan las curvas de inversión y valor agregado de costos de un sistema de sedimentación de alta tasa confeccionado por módulos de poliestireno de alto impacto para un horizonte de 20 años.

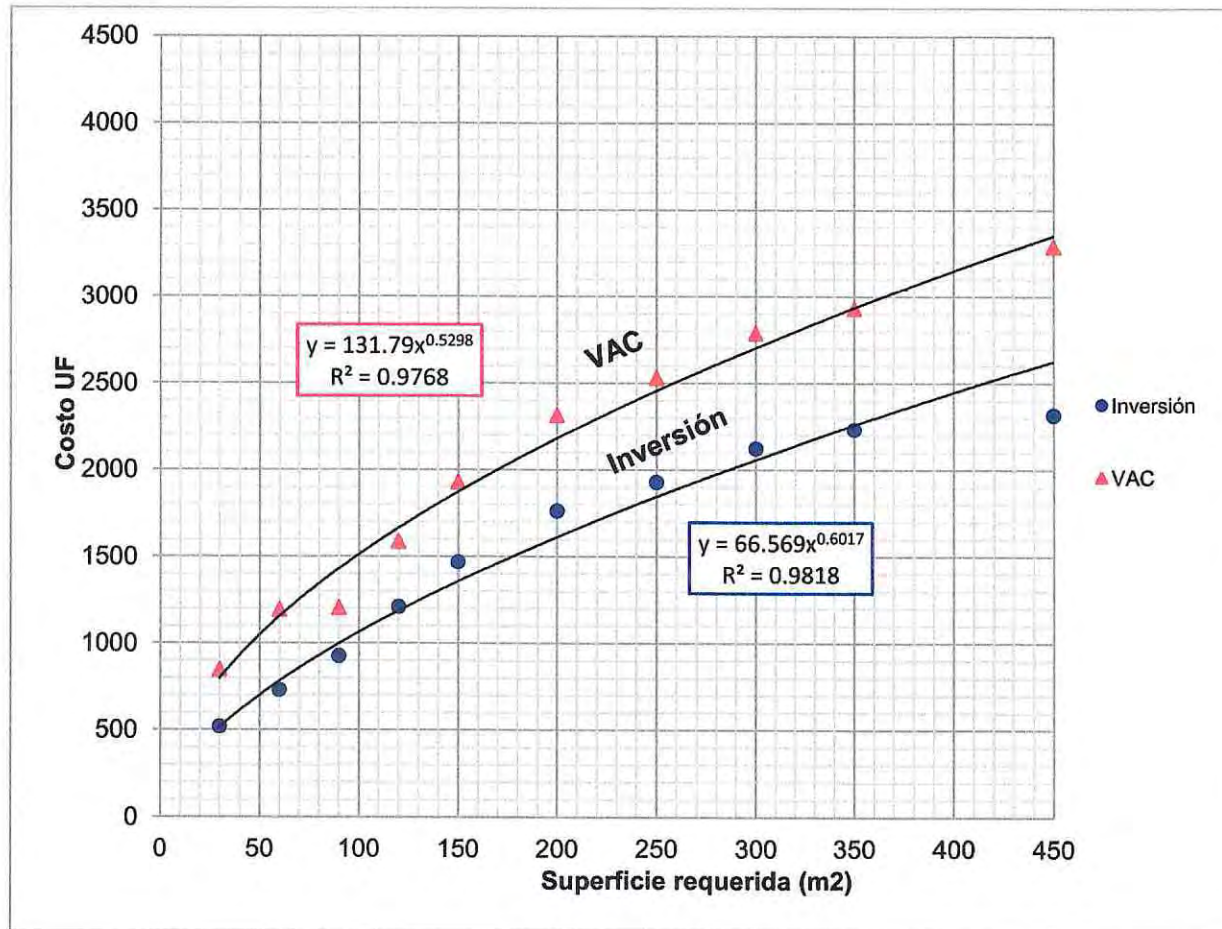


Figura A.5- Dispersión de puntos para costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de HIPS
 Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

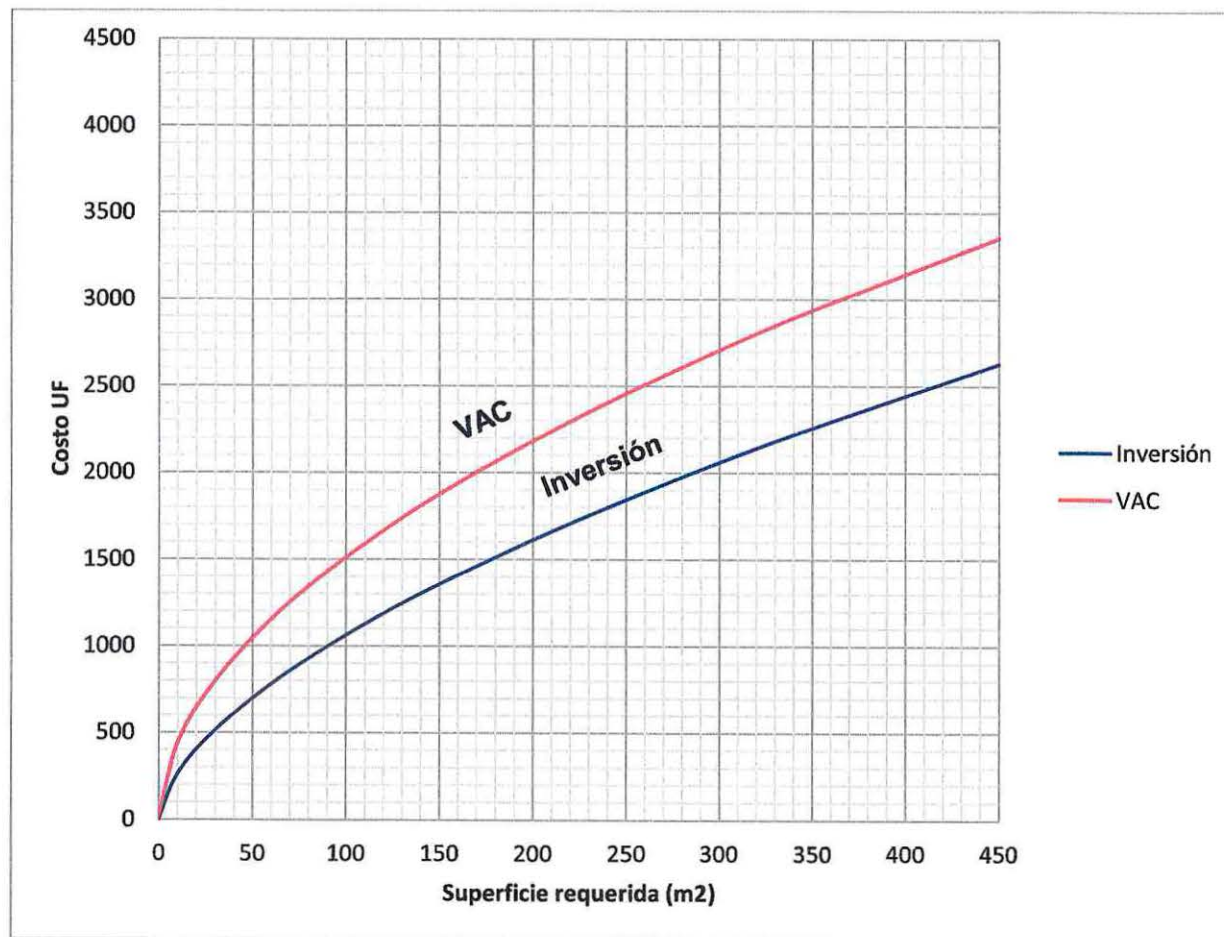


Figura A.6- Costos en UF sistemas de sedimentación de alta tasa con módulos de HIPS
 Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos realizados por la consultora ICC-COVIL y S&E consultores.

ANEXO B – TABLAS DE SUPERFICIE Y NÚMERO DE PLACAS A INSTALAR

Anexo B.1- Placas planas de polipropileno (PP)

Tabla B.1- Superficie de placas planas de polipropileno a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																	
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																	
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
10	0.01	10.63	5.31	3.54	2.66	2.13	1.77	1.52	1.33	1.18	1.06	0.93	0.80	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.41
15	0.015	15.94	7.97	5.31	3.99	3.19	2.66	2.26	1.99	1.77	1.59	1.40	1.24	1.10	0.98	0.87	0.78	0.70	0.63
20	0.02	21.25	10.63	7.09	5.31	4.25	3.54	3.04	2.66	2.36	2.13	1.86	1.62	1.44	1.28	1.15	1.04	0.95	0.87
25	0.025	26.57	13.28	8.86	6.64	5.31	4.43	3.80	3.32	2.95	2.66	2.33	2.06	1.81	1.59	1.40	1.25	1.13	1.03
30	0.03	31.88	15.94	10.63	7.97	6.38	5.31	4.55	3.99	3.54	3.19	2.86	2.50	2.21	1.96	1.74	1.55	1.40	1.28
35	0.035	37.19	18.60	12.40	9.30	7.44	6.20	5.31	4.65	4.13	3.72	3.26	2.86	2.50	2.21	1.96	1.74	1.55	1.40
40	0.04	42.51	21.25	14.17	10.63	8.50	7.09	6.07	5.31	4.72	4.25	3.72	3.26	2.86	2.50	2.21	1.96	1.74	1.55
45	0.045	47.82	23.91	15.94	11.96	9.56	7.97	6.83	5.98	5.31	4.78	4.25	3.72	3.26	2.86	2.50	2.21	1.96	1.74
50	0.05	53.14	26.57	17.71	13.28	10.63	8.86	7.59	6.64	5.90	5.31	4.65	4.13	3.61	3.19	2.81	2.44	2.09	1.81
55	0.055	58.45	29.22	19.48	14.61	11.69	9.74	8.35	7.31	6.49	5.84	5.21	4.65	4.13	3.61	3.19	2.81	2.44	2.09
60	0.06	63.76	31.88	21.25	15.94	12.75	10.63	9.11	7.97	7.09	6.38	5.67	5.03	4.47	3.91	3.40	2.94	2.50	2.09
65	0.065	69.08	34.54	23.03	17.27	13.82	11.51	9.87	8.63	7.68	6.91	6.18	5.54	4.97	4.41	3.89	3.40	2.94	2.50
70	0.07	74.39	37.19	24.80	18.60	14.88	12.40	10.63	9.30	8.27	7.44	6.61	5.97	5.31	4.74	4.19	3.67	3.19	2.71
75	0.075	79.70	39.85	26.57	19.93	15.94	13.28	11.39	9.96	8.86	7.97	7.13	6.49	5.84	5.18	4.61	4.06	3.54	3.06
80	0.08	85.02	42.51	28.34	21.25	17.00	14.17	12.15	10.63	9.45	8.50	7.68	6.83	6.18	5.61	5.03	4.47	3.91	3.40
85	0.085	90.33	45.16	30.11	22.58	18.07	15.05	12.90	11.29	10.04	9.03	8.21	7.36	6.51	5.84	5.21	4.65	4.06	3.54
90	0.09	95.64	47.82	31.88	23.91	19.13	15.94	13.66	11.96	10.63	9.56	8.71	7.86	7.03	6.26	5.61	5.03	4.47	3.91
95	0.095	100.96	50.48	33.65	25.24	20.19	16.83	14.42	12.62	11.22	10.10	9.25	8.40	7.57	6.74	6.03	5.40	4.81	4.25
100	0.1	106.27	53.14	35.42	26.57	21.25	17.71	15.18	13.28	11.81	10.63	9.71	8.86	8.03	7.18	6.41	5.74	5.18	4.61
105	0.105	111.58	55.79	37.19	27.90	22.32	18.60	15.94	13.95	12.40	11.16	10.04	9.19	8.36	7.51	6.74	6.03	5.40	4.81
110	0.11	116.90	58.45	38.97	29.22	23.38	19.48	16.70	14.61	12.99	11.69	10.63	9.71	8.86	8.03	7.18	6.41	5.74	5.18
115	0.115	122.21	61.11	40.74	30.55	24.44	20.37	17.46	15.28	13.58	12.22	11.16	10.10	9.25	8.40	7.57	6.74	6.03	5.40
120	0.12	127.52	63.76	42.51	31.88	25.50	21.25	18.22	15.94	14.17	12.75	11.69	10.63	9.71	8.86	8.03	7.18	6.41	5.74
125	0.125	132.84	66.42	44.28	33.21	26.57	22.14	19.08	16.60	14.76	13.28	12.22	11.16	10.10	9.25	8.40	7.57	6.74	6.03
130	0.13	138.15	69.08	46.05	34.54	27.63	23.03	19.74	17.27	15.35	13.82	12.75	11.69	10.63	9.71	8.86	8.03	7.18	6.41
135	0.135	143.47	71.73	47.82	35.87	28.69	23.91	20.50	17.93	15.94	14.35	13.28	12.22	11.16	10.10	9.25	8.40	7.57	6.74
140	0.14	148.78	74.39	49.59	37.19	29.76	24.80	21.25	18.60	16.53	14.88	14.76	13.71	12.75	11.69	10.63	9.71	8.86	8.03
145	0.145	154.09	77.05	51.36	38.52	30.82	25.68	22.01	19.26	17.12	15.41	15.16	14.17	13.28	12.22	11.16	10.10	9.25	8.40
150	0.15	159.41	79.70	53.14	39.85	31.88	26.57	22.77	19.93	17.71	15.94	15.65	14.61	13.71	12.75	11.69	10.63	9.71	8.86

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de las placas definidas en el capítulo V.

Tabla B.2- Superficie de placas planas de polipropileno a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	159.41	79.70	53.14	39.85	31.88	26.57	22.77	19.93	17.71	15.94	7.97	5.31	3.99	3.19	2.66	2.28	1.99	1.77	1.59
155	0.155	164.72	82.36	54.91	41.18	32.94	27.45	23.53	20.59	18.30	16.47	8.24	5.49	4.12	3.29	2.75	2.35	2.06	1.83	1.65
160	0.16	170.03	85.02	56.68	42.51	34.01	28.34	24.29	21.25	18.89	17.00	8.50	5.67	4.25	3.40	2.83	2.43	2.13	1.89	1.70
165	0.165	175.35	87.67	58.45	43.84	35.07	29.22	25.05	21.92	19.48	17.53	8.77	5.84	4.38	3.51	2.92	2.50	2.19	1.95	1.75
170	0.17	180.66	90.33	60.22	45.16	36.13	30.11	25.81	22.58	20.07	18.07	9.03	6.02	4.52	3.61	3.01	2.58	2.26	2.01	1.81
175	0.175	185.97	92.99	61.99	46.49	37.19	31.00	26.57	23.25	20.66	18.60	9.30	6.20	4.65	3.72	3.10	2.66	2.32	2.07	1.86
180	0.18	191.29	95.64	63.76	47.82	38.26	31.88	27.33	23.91	21.25	19.13	9.56	6.38	4.78	3.83	3.19	2.73	2.39	2.13	1.91
185	0.185	196.60	98.30	65.53	49.15	39.32	32.77	28.09	24.58	21.84	19.66	9.83	6.55	4.92	3.93	3.28	2.81	2.46	2.18	1.97
190	0.19	201.91	100.96	67.30	50.48	40.38	33.65	28.84	25.24	22.43	20.19	10.10	6.73	5.05	4.04	3.37	2.88	2.52	2.24	2.02
195	0.195	207.23	103.61	69.08	51.81	41.45	34.54	29.60	25.90	23.03	20.72	10.36	6.91	5.18	4.14	3.45	2.96	2.59	2.30	2.07
200	0.2	212.54	106.27	70.85	53.14	42.51	35.42	30.36	26.57	23.62	21.25	10.63	7.08	5.31	4.25	3.54	3.04	2.66	2.36	2.13
205	0.205	217.85	108.93	72.62	54.46	43.57	36.31	31.12	27.23	24.21	21.79	10.89	7.26	5.45	4.36	3.63	3.11	2.72	2.42	2.18
210	0.21	223.17	111.58	74.39	55.79	44.63	37.19	31.88	27.90	24.80	22.32	11.16	7.44	5.58	4.46	3.72	3.19	2.79	2.48	2.23
215	0.215	228.48	114.24	76.16	57.12	45.70	38.08	32.64	28.56	25.39	22.85	11.42	7.62	5.71	4.57	3.81	3.28	2.88	2.54	2.28
220	0.22	233.79	116.90	77.93	58.45	46.76	38.97	33.40	29.22	25.98	23.38	11.69	7.79	5.84	4.68	3.90	3.34	2.92	2.60	2.34
225	0.225	239.11	119.55	79.70	59.78	47.82	39.85	34.16	29.89	26.57	23.91	11.96	7.97	5.98	4.78	3.99	3.42	2.99	2.66	2.39
230	0.23	244.42	122.21	81.47	61.11	48.68	40.74	34.92	30.55	27.16	24.44	12.22	8.15	6.11	4.89	4.07	3.49	3.06	2.72	2.44
235	0.235	249.74	124.87	83.25	62.43	49.95	41.62	35.68	31.22	27.75	24.97	12.49	8.32	6.24	4.99	4.16	3.57	3.12	2.77	2.50
240	0.24	255.05	127.52	85.02	63.76	51.01	42.51	36.44	31.88	28.34	25.50	12.75	8.50	6.38	5.10	4.25	3.64	3.19	2.83	2.55
245	0.245	260.36	130.18	86.79	65.09	52.07	43.39	37.19	32.55	28.93	26.04	13.02	8.68	6.51	5.21	4.34	3.72	3.25	2.89	2.60
250	0.25	265.68	132.84	88.56	66.42	53.14	44.28	37.95	33.21	29.52	26.57	13.28	8.86	6.64	5.31	4.43	3.80	3.32	2.95	2.66
255	0.255	270.99	135.49	90.33	67.75	54.20	45.16	38.71	33.87	30.11	27.10	13.55	9.03	6.77	5.42	4.52	3.87	3.39	3.01	2.71
260	0.26	276.30	138.15	92.10	69.08	55.26	46.05	39.47	34.54	30.70	27.63	13.82	9.21	6.91	5.53	4.61	3.95	3.45	3.07	2.76
265	0.265	281.62	140.81	93.87	70.40	56.32	46.94	40.23	35.20	31.29	28.16	14.08	9.39	7.04	5.63	4.69	4.02	3.52	3.13	2.82
270	0.27	286.93	143.47	95.64	71.73	57.39	47.82	40.99	35.87	31.88	28.69	14.35	9.56	7.17	5.74	4.78	4.10	3.59	3.19	2.87
275	0.275	292.24	146.12	97.41	73.06	58.45	48.71	41.75	36.53	32.47	29.22	14.61	9.74	7.31	5.84	4.87	4.17	3.65	3.25	2.92
280	0.28	297.56	148.78	99.19	74.39	59.51	49.59	42.51	37.19	33.06	29.76	14.88	9.92	7.44	5.95	4.96	4.25	3.72	3.31	2.96
285	0.285	302.87	151.44	100.96	75.72	60.57	50.48	43.27	37.86	33.65	30.29	15.14	10.10	7.57	6.06	5.05	4.33	3.79	3.37	3.03
290	0.29	308.18	154.09	102.73	77.05	61.64	51.36	44.03	38.52	34.24	30.82	15.41	10.27	7.70	6.16	5.14	4.40	3.85	3.42	3.08
295	0.295	313.50	156.75	104.50	78.37	62.70	52.25	44.79	39.19	34.83	31.35	15.67	10.45	7.84	6.27	5.22	4.48	3.92	3.48	3.13
300	0.3	318.81	159.41	106.27	79.70	63.76	53.14	45.54	39.85	35.42	31.88	15.94	10.63	7.97	6.38	5.31	4.55	3.99	3.54	3.19

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de las placas definidas en el capítulo V.

Tabla B.3- Numero de placas planas de polipropileno a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	NUMERO DE PLACAS																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
10	0.01	64	32	21	16	13	11	9	8	7	6	3	2	2	1	1	1	1	1	
15	0.015	96	48	32	24	19	16	14	12	11	10	5	3	2	2	1	1	1	1	
20	0.02	128	64	43	32	26	21	18	16	14	13	6	4	3	3	2	2	1	1	
25	0.025	160	80	53	40	32	27	23	20	18	16	8	5	4	3	3	2	2	2	
30	0.03	192	96	64	48	38	32	27	24	21	19	10	6	5	4	3	2	2	2	
35	0.035	224	112	75	56	45	37	32	28	25	22	11	7	6	4	4	3	2	2	
40	0.04	256	128	85	64	51	43	37	32	28	26	13	9	6	5	4	4	3	3	
45	0.045	288	144	96	72	58	48	41	36	32	29	14	10	7	6	5	4	3	3	
50	0.05	320	160	107	80	64	53	46	40	36	32	16	11	8	6	5	4	4	3	
55	0.055	352	176	117	88	70	59	50	44	39	35	18	12	9	7	6	5	4	4	
60	0.06	383	192	128	96	77	64	55	48	43	38	19	13	10	8	6	5	4	4	
65	0.065	415	208	138	104	83	69	59	52	46	42	21	14	10	8	7	6	5	4	
70	0.07	447	224	149	112	89	75	64	56	50	45	22	15	11	9	7	6	5	4	
75	0.075	479	240	160	120	96	80	68	60	53	48	24	16	12	10	8	7	6	5	
80	0.08	511	256	170	128	102	85	73	64	57	51	26	17	13	10	9	7	6	5	
85	0.085	543	272	181	136	109	91	78	68	60	54	27	18	14	11	9	8	7	6	
90	0.09	575	288	192	144	115	96	82	72	64	58	29	19	14	12	10	8	7	6	
95	0.095	607	304	202	152	121	101	87	76	67	61	30	20	15	12	10	9	8	7	
100	0.1	639	320	213	160	128	107	91	80	71	64	32	21	16	13	11	9	8	7	
105	0.105	671	336	224	168	134	112	98	84	75	67	34	22	17	13	11	10	8	7	
110	0.11	703	352	234	176	141	117	100	88	78	70	35	23	18	14	12	10	9	8	
115	0.115	735	367	245	184	147	122	105	92	82	73	37	24	18	15	12	10	9	8	
120	0.12	767	383	256	192	153	128	110	96	85	77	38	26	19	15	13	11	10	9	
125	0.125	799	399	266	200	160	133	114	100	89	80	40	27	20	16	13	11	10	9	
130	0.13	831	415	277	208	166	138	119	104	92	83	42	28	21	17	14	12	10	9	
135	0.135	863	431	288	216	173	144	123	108	96	86	43	29	22	17	14	12	11	10	
140	0.14	895	447	298	224	179	149	128	112	99	89	45	30	22	18	15	13	11	10	
145	0.145	927	463	309	232	185	154	132	116	103	93	46	31	23	19	15	13	12	10	
150	0.15	959	479	320	240	192	160	137	120	107	96	48	32	24	19	16	14	12	11	

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de las placas definidas en el capítulo V.

Tabla B.4- Numero de placas planas de polipropileno a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

		NUMERO DE PLACAS																		
Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	959	479	320	240	192	160	137	120	107	96	48	32	24	19	16	14	12	11	10
155	0.155	991	495	330	248	198	165	142	124	110	99	50	33	25	20	17	14	12	11	10
160	0.16	1023	511	341	256	205	170	146	128	114	102	51	34	26	20	17	15	13	11	10
165	0.165	1055	527	352	264	211	176	151	132	117	105	53	35	26	21	18	15	13	12	11
170	0.17	1088	543	362	272	217	181	155	136	121	109	54	36	27	22	18	16	14	12	11
175	0.175	1118	559	373	280	224	188	160	140	124	112	56	37	28	22	19	16	14	12	11
180	0.18	1150	575	383	288	230	192	164	144	128	115	58	38	29	23	19	16	14	13	12
185	0.185	1182	591	394	296	238	197	169	148	131	118	59	39	30	24	20	17	15	13	12
190	0.19	1214	607	405	304	243	202	173	152	135	121	61	40	30	24	20	17	15	13	12
195	0.195	1246	623	415	312	249	208	178	156	138	125	62	42	31	25	21	18	16	14	12
200	0.2	1278	639	426	320	256	213	183	160	142	128	64	43	32	26	21	18	16	14	13
205	0.205	1310	655	437	328	262	218	187	164	146	131	66	44	33	26	22	19	16	15	13
210	0.21	1342	671	447	336	268	224	192	168	149	134	67	45	34	27	22	19	17	15	13
215	0.215	1374	687	458	344	275	229	196	172	153	137	69	46	34	27	23	20	17	15	14
220	0.22	1406	703	469	352	281	234	201	176	156	141	70	47	35	28	23	20	18	16	14
225	0.225	1438	719	479	359	288	240	205	180	160	144	72	48	36	29	24	21	18	16	14
230	0.23	1470	735	490	367	294	245	210	184	163	147	73	49	37	29	24	21	18	16	15
235	0.235	1502	751	501	375	300	250	215	188	167	150	75	50	38	30	25	21	19	17	15
240	0.24	1534	767	511	383	307	256	219	192	170	153	77	51	38	31	26	22	19	17	15
245	0.245	1566	783	522	391	313	261	224	196	174	157	78	52	39	31	26	22	20	17	16
250	0.25	1598	799	533	399	320	266	228	200	178	160	80	53	40	32	27	23	20	18	16
255	0.255	1630	815	543	407	326	272	233	204	181	163	81	54	41	33	27	23	20	18	16
260	0.26	1662	831	554	415	332	277	237	208	185	166	83	55	42	33	28	24	21	18	17
265	0.265	1694	847	565	423	339	282	242	212	189	169	85	56	42	34	28	24	21	19	17
270	0.27	1726	863	575	431	345	288	247	216	192	173	86	58	43	35	29	25	22	19	17
275	0.275	1758	879	586	439	352	293	251	220	195	176	88	59	44	35	29	25	22	20	18
280	0.28	1789	895	596	447	358	298	256	224	199	179	89	60	45	36	30	26	22	20	18
285	0.285	1821	911	607	455	364	304	260	228	202	182	91	61	46	36	30	26	23	20	18
290	0.29	1853	927	618	463	371	309	265	232	206	185	93	62	46	37	31	26	23	21	19
295	0.295	1885	943	628	471	377	314	269	236	209	189	94	63	47	38	31	27	24	21	19
300	0.3	1917	959	639	479	383	320	274	240	213	192	96	64	48	38	32	27	24	21	19

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de las placas definidas en el capítulo V.

Anexo B.2- Módulos de policloruro de vinilo (PVC)

Tabla B.5- Superficie de Módulos de PVC a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
10	0.01	14.56	7.28	4.85	3.64	2.91	2.43	2.08	1.82	1.62	1.46	0.73	0.49	0.36	0.29	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15
15	0.015	21.84	10.92	7.28	5.46	4.37	3.64	3.12	2.73	2.43	2.18	1.09	0.73	0.55	0.44	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22
20	0.02	29.12	14.56	9.71	7.28	5.82	4.85	4.16	3.64	3.24	2.91	1.46	0.97	0.73	0.58	0.49	0.42	0.36	0.32	0.29
25	0.025	36.40	18.20	12.13	9.10	7.28	6.07	5.20	4.55	4.04	3.64	1.82	1.21	0.91	0.73	0.61	0.52	0.45	0.40	0.36
30	0.03	43.68	21.84	14.56	10.92	8.74	7.28	6.24	5.46	4.85	4.37	2.18	1.46	1.09	0.87	0.73	0.62	0.55	0.49	0.44
35	0.035	50.96	25.48	16.99	12.74	10.19	8.49	7.28	6.37	5.66	5.10	2.55	1.70	1.27	1.02	0.85	0.73	0.64	0.57	0.51
40	0.04	58.24	29.12	19.41	14.56	11.65	9.71	8.32	7.28	6.47	5.82	2.91	1.94	1.46	1.16	0.97	0.83	0.73	0.65	0.58
45	0.045	65.52	32.76	21.84	16.38	13.10	10.92	9.36	8.19	7.28	6.55	3.28	2.18	1.64	1.31	1.09	0.94	0.82	0.73	0.66
50	0.05	72.80	36.40	24.27	18.20	14.56	12.13	10.40	9.10	8.09	7.28	3.64	2.43	1.82	1.46	1.21	1.04	0.91	0.81	0.73
55	0.055	80.07	40.04	26.69	20.02	16.01	13.35	11.44	10.01	8.90	8.01	4.00	2.67	2.00	1.60	1.33	1.14	1.00	0.89	0.80
60	0.06	87.35	43.68	29.12	21.84	17.47	14.56	12.48	10.92	9.71	8.74	4.37	2.91	2.18	1.75	1.46	1.25	1.09	0.97	0.87
65	0.065	94.63	47.32	31.54	23.66	18.93	15.77	13.52	11.83	10.51	9.46	4.73	3.15	2.37	1.89	1.58	1.35	1.18	1.05	0.95
70	0.07	101.91	50.96	33.97	25.48	20.38	16.99	14.66	12.74	11.32	10.19	5.10	3.40	2.55	2.04	1.70	1.46	1.27	1.13	1.02
75	0.075	109.19	54.60	36.40	27.30	21.84	18.20	15.60	13.65	12.13	10.92	5.46	3.64	2.73	2.18	1.82	1.58	1.36	1.21	1.09
80	0.08	116.47	58.24	38.82	29.12	23.29	19.41	16.64	14.56	12.94	11.65	5.82	3.88	2.91	2.33	1.94	1.66	1.46	1.29	1.16
85	0.085	123.75	61.88	41.25	30.94	24.75	20.63	17.68	15.47	13.75	12.38	6.19	4.13	3.09	2.48	2.06	1.77	1.55	1.38	1.24
90	0.09	131.03	65.52	43.68	32.76	26.21	21.84	18.72	16.38	14.66	13.10	6.55	4.37	3.28	2.62	2.18	1.87	1.64	1.46	1.31
95	0.095	138.31	69.16	46.10	34.58	27.68	23.05	19.78	17.29	15.37	13.83	6.92	4.61	3.46	2.77	2.31	1.98	1.73	1.54	1.38
100	0.1	145.59	72.80	48.53	36.40	29.12	24.27	20.80	18.20	16.18	14.56	7.28	4.85	3.64	2.91	2.43	2.08	1.82	1.62	1.48
105	0.105	152.87	76.44	50.96	38.22	30.57	25.48	21.84	19.11	16.99	15.29	7.64	5.10	3.82	3.06	2.55	2.18	1.91	1.70	1.53
110	0.11	160.15	80.07	53.38	40.04	32.03	26.69	22.88	20.02	17.79	16.01	8.01	5.34	4.00	3.20	2.67	2.29	2.00	1.76	1.60
115	0.115	167.43	83.71	55.81	41.86	33.49	27.90	23.92	20.93	18.60	16.74	8.37	5.58	4.19	3.35	2.79	2.39	2.09	1.86	1.67
120	0.12	174.71	87.35	58.24	43.68	34.94	29.12	24.96	21.84	19.41	17.47	8.74	5.82	4.37	3.49	2.91	2.50	2.18	1.94	1.75
125	0.125	181.99	90.99	60.66	45.50	36.40	30.33	26.00	22.75	20.22	18.20	9.10	6.07	4.55	3.64	3.03	2.60	2.27	2.02	1.82
130	0.13	189.27	94.63	63.09	47.32	37.85	31.54	27.04	23.66	21.03	18.93	9.46	6.31	4.73	3.78	3.15	2.70	2.37	2.10	1.89
135	0.135	196.55	98.27	65.52	49.14	39.31	32.76	28.08	24.57	21.84	19.65	9.83	6.55	4.91	3.93	3.28	2.81	2.46	2.18	1.97
140	0.14	203.83	101.91	67.94	50.96	40.77	33.97	29.12	25.48	22.65	20.38	10.19	6.79	5.10	4.08	3.40	2.91	2.55	2.26	2.04
145	0.145	211.11	105.55	70.37	52.78	42.22	35.18	30.16	26.39	23.46	21.11	10.56	7.04	5.28	4.22	3.52	3.02	2.64	2.35	2.11
150	0.15	218.39	109.19	72.80	54.60	43.68	36.40	31.20	27.30	24.27	21.84	10.92	7.28	5.46	4.37	3.64	3.12	2.73	2.43	2.18

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.6- Superficie de Módulos de PVC a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	218.39	109.19	72.80	54.60	43.68	36.40	31.20	27.30	24.27	21.84	10.92	7.28	5.46	4.37	3.64	3.12	2.73	2.43	2.18
155	0.155	225.67	112.83	75.22	56.42	45.13	37.61	32.24	28.21	25.07	22.57	11.28	7.52	5.84	4.61	3.76	3.22	2.82	2.51	2.26
160	0.16	232.94	116.47	77.65	58.24	46.59	38.82	33.28	29.12	25.88	23.29	11.65	7.76	5.82	4.66	3.88	3.33	2.91	2.59	2.33
165	0.165	240.22	120.11	80.07	60.06	48.04	40.04	34.32	30.03	26.69	24.02	12.01	8.01	6.01	4.80	4.00	3.43	3.00	2.67	2.40
170	0.17	247.50	123.75	82.50	61.88	49.50	41.25	35.36	30.94	27.50	24.75	12.38	8.25	6.19	4.95	4.13	3.54	3.09	2.75	2.48
175	0.175	254.78	127.39	84.93	63.70	50.96	42.46	36.40	31.85	28.31	25.48	12.74	8.49	6.37	5.10	4.25	3.64	3.18	2.83	2.55
180	0.18	262.06	131.03	87.35	65.52	52.41	43.68	37.44	32.76	29.12	26.21	13.10	8.74	6.55	5.24	4.37	3.74	3.28	2.91	2.62
185	0.185	269.34	134.67	89.78	67.34	53.87	44.89	38.48	33.67	29.93	26.93	13.47	8.98	6.73	5.39	4.49	3.85	3.37	2.99	2.69
190	0.19	276.62	138.31	92.21	69.16	55.32	46.10	39.52	34.58	30.74	27.68	13.83	9.22	6.92	5.53	4.61	3.95	3.46	3.07	2.77
195	0.195	283.90	141.95	94.63	70.98	56.76	47.32	40.58	35.49	31.54	28.39	14.20	9.46	7.10	5.68	4.73	4.06	3.55	3.15	2.84
200	0.2	291.18	145.59	97.06	72.80	58.24	48.53	41.60	36.40	32.35	29.12	14.56	9.71	7.28	5.82	4.85	4.16	3.64	3.24	2.91
205	0.205	298.46	149.23	99.49	74.62	59.69	49.74	42.64	37.31	33.16	29.85	14.92	9.95	7.46	5.97	4.97	4.26	3.73	3.32	2.98
210	0.21	305.74	152.87	101.91	76.44	61.15	50.96	43.68	38.22	33.97	30.57	15.29	10.19	7.64	6.11	5.10	4.37	3.82	3.40	3.06
215	0.215	313.02	156.51	104.34	78.25	62.60	52.17	44.72	39.13	34.78	31.30	15.65	10.43	7.83	6.26	5.22	4.47	3.91	3.48	3.13
220	0.22	320.30	160.15	106.77	80.07	64.09	53.38	45.76	40.04	35.59	32.03	16.01	10.68	8.01	6.41	5.34	4.58	4.00	3.56	3.20
225	0.225	327.58	163.79	109.19	81.89	65.52	54.60	46.80	40.95	36.40	32.76	16.38	10.92	8.19	6.55	5.46	4.68	4.09	3.64	3.28
230	0.23	334.86	167.43	111.62	83.71	66.97	55.81	47.84	41.86	37.21	33.49	16.74	11.16	8.37	6.70	5.58	4.78	4.19	3.72	3.35
235	0.235	342.14	171.07	114.05	85.53	68.43	57.02	48.88	42.77	38.02	34.21	17.11	11.40	8.55	6.84	5.70	4.89	4.29	3.80	3.42
240	0.24	349.42	174.71	116.47	87.35	69.89	58.24	49.92	43.68	38.82	34.94	17.47	11.65	8.74	6.99	5.82	4.99	4.37	3.88	3.49
245	0.245	356.70	178.35	118.90	89.17	71.34	59.45	50.96	44.59	39.63	35.67	17.83	11.89	8.92	7.13	5.94	5.10	4.46	3.96	3.57
250	0.25	363.98	181.99	121.33	90.99	72.80	60.66	52.00	45.50	40.44	36.40	18.20	12.13	9.10	7.28	6.07	5.20	4.55	4.04	3.64
255	0.255	371.26	185.63	123.75	92.81	74.25	61.89	53.04	46.41	41.25	37.13	18.56	12.38	9.28	7.43	6.19	5.30	4.64	4.13	3.71
260	0.26	378.54	189.27	126.18	94.63	75.71	63.09	54.08	47.32	42.06	37.85	18.93	12.62	9.46	7.57	6.31	5.41	4.73	4.21	3.79
265	0.265	385.81	192.91	128.60	96.45	77.16	64.30	55.12	48.23	42.87	38.58	19.29	12.86	9.65	7.72	6.43	5.51	4.82	4.29	3.86
270	0.27	393.09	196.55	131.03	98.27	78.62	65.52	56.16	49.14	43.68	39.31	19.65	13.10	9.83	7.86	6.55	5.62	4.91	4.37	3.93
275	0.275	400.37	200.19	133.46	100.09	80.07	66.73	57.20	50.05	44.49	40.04	20.02	13.35	10.01	8.01	6.67	5.72	5.00	4.45	4.00
280	0.28	407.65	203.83	135.88	101.91	81.53	67.94	58.24	50.96	45.29	40.77	20.38	13.59	10.19	8.15	6.79	5.82	5.10	4.53	4.08
285	0.285	414.93	207.47	138.31	103.73	82.99	69.16	59.28	51.87	46.10	41.49	20.75	13.83	10.37	8.30	6.92	5.93	5.19	4.61	4.15
290	0.29	422.21	211.11	140.74	105.55	84.44	70.37	60.32	52.78	46.91	42.22	21.11	14.07	10.56	8.44	7.04	6.03	5.28	4.69	4.22
295	0.295	429.49	214.75	143.16	107.37	85.90	71.58	61.39	53.69	47.72	42.95	21.47	14.32	10.74	8.59	7.16	6.14	5.37	4.77	4.29
300	0.3	436.77	218.39	145.59	109.19	87.35	72.80	62.40	54.60	48.53	43.68	21.84	14.56	10.92	8.74	7.28	6.24	5.46	4.85	4.37

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.7- Numero de Módulos de PVC a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	NUMERO DE MODULOS																	
		Velocidad de sedimentacion (m/sg)																	
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
10	0.01	11	5	4	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.015	16	8	5	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
20	0.02	21	11	7	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
25	0.025	26	13	9	7	5	4	4	3	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0
30	0.03	32	16	11	8	6	5	5	4	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
35	0.035	37	18	12	9	7	6	5	5	4	4	2	1	1	1	1	0	0	0
40	0.04	42	21	14	11	8	7	6	5	5	4	2	1	1	1	1	1	0	0
45	0.045	47	24	16	12	9	8	7	6	5	5	2	2	1	1	1	1	1	0
50	0.05	53	26	18	13	11	9	8	7	6	5	3	2	1	1	1	1	1	1
55	0.055	58	29	19	14	12	10	8	7	6	6	3	2	1	1	1	1	1	1
60	0.06	63	32	21	16	13	11	9	8	7	6	3	2	2	1	1	1	1	1
65	0.065	68	34	23	17	14	11	10	9	8	7	3	2	2	1	1	1	1	1
70	0.07	74	37	25	18	15	12	11	9	8	7	4	2	2	1	1	1	1	1
75	0.075	79	39	26	20	16	13	11	10	9	8	4	3	2	2	1	1	1	1
80	0.08	84	42	28	21	17	14	12	11	9	8	4	3	2	2	1	1	1	1
85	0.085	89	45	30	22	18	15	13	11	10	9	4	3	2	2	1	1	1	1
90	0.09	95	47	32	24	19	16	14	12	11	9	5	3	2	2	1	1	1	1
95	0.095	100	50	33	25	20	17	14	12	11	10	5	3	2	2	2	1	1	1
100	0.1	105	53	35	26	21	18	15	13	12	11	5	4	3	2	2	2	1	1
105	0.105	110	55	37	28	22	18	16	14	12	11	6	4	3	2	2	2	1	1
110	0.11	116	58	39	29	23	19	17	14	13	12	6	4	3	2	2	2	1	1
115	0.115	121	60	40	30	24	20	17	15	13	12	6	4	3	2	2	2	1	1
120	0.12	126	63	42	32	25	21	18	16	14	13	6	4	3	3	2	2	2	1
125	0.125	131	66	44	33	26	22	19	16	15	13	7	4	3	3	2	2	2	1
130	0.13	137	68	46	34	27	23	20	17	15	14	7	5	3	3	2	2	2	1
135	0.135	142	71	47	35	28	24	20	18	16	14	7	5	4	3	2	2	2	1
140	0.14	147	74	49	37	29	25	21	18	16	15	7	5	4	3	2	2	2	1
145	0.145	152	76	51	38	30	25	22	19	17	15	8	5	4	3	3	2	2	2
150	0.15	158	79	53	39	32	26	23	20	18	16	8	5	4	3	3	2	2	2

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.8- Numero de Módulos de PVC a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	NUMERO DE MODULOS																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	158	79	53	39	32	26	23	20	18	16	8	5	4	3	3	2	2	2	2
155	0.155	163	81	54	41	33	27	23	20	18	16	8	5	4	3	3	2	2	2	2
160	0.16	168	84	56	42	34	28	24	21	19	17	8	6	4	3	3	2	2	2	2
165	0.165	173	87	58	43	35	29	25	22	19	17	9	6	4	3	3	2	2	2	2
170	0.17	179	89	60	45	36	30	26	22	20	18	9	6	4	4	3	3	2	2	2
175	0.175	184	92	61	46	37	31	26	23	20	18	9	6	5	4	3	3	2	2	2
180	0.18	189	95	63	47	38	32	27	24	21	19	9	8	5	4	3	3	2	2	2
185	0.185	194	97	65	49	39	32	28	24	22	19	10	6	5	4	3	3	2	2	2
190	0.19	200	100	67	50	40	33	29	25	22	20	10	7	5	4	3	3	2	2	2
195	0.195	205	102	68	51	41	34	29	26	23	20	10	7	5	4	3	3	3	2	2
200	0.2	210	105	70	53	42	35	30	26	23	21	11	7	5	4	4	3	3	2	2
205	0.205	215	108	72	54	43	36	31	27	24	22	11	7	5	4	4	3	3	2	2
210	0.21	221	110	74	55	44	37	32	28	25	22	11	7	6	4	4	3	3	2	2
215	0.215	226	113	75	56	45	38	32	28	25	23	11	8	6	5	4	3	3	3	2
220	0.22	231	116	77	58	46	39	33	29	26	23	12	8	6	5	4	3	3	3	2
225	0.225	236	118	79	59	47	39	34	30	26	24	12	8	6	5	4	3	3	3	2
230	0.23	242	121	81	60	48	40	35	30	27	24	12	8	6	5	4	3	3	3	2
235	0.235	247	123	82	62	49	41	35	31	27	25	12	8	6	5	4	4	3	3	2
240	0.24	252	126	84	63	50	42	36	32	28	25	13	8	6	5	4	4	3	3	3
245	0.245	257	129	86	64	51	43	37	32	29	26	13	9	6	5	4	4	3	3	3
250	0.25	263	131	88	66	53	44	38	33	29	26	13	9	7	5	4	4	3	3	3
255	0.255	268	134	89	67	54	45	38	33	30	27	13	9	7	5	4	4	3	3	3
260	0.26	273	137	91	68	55	46	39	34	30	27	14	9	7	5	5	4	3	3	3
265	0.265	278	139	93	70	56	46	40	35	31	28	14	9	7	6	5	4	3	3	3
270	0.27	284	142	95	71	57	47	41	35	32	28	14	9	7	6	5	4	4	3	3
275	0.275	289	144	96	72	58	48	41	36	32	29	14	10	7	6	5	4	4	3	3
280	0.28	294	147	98	74	59	49	42	37	33	29	15	10	7	6	5	4	4	3	3
285	0.285	299	150	100	75	60	50	43	37	33	30	15	10	7	6	5	4	4	3	3
290	0.29	305	152	102	76	61	51	44	38	34	30	15	10	8	6	5	4	4	3	3
295	0.295	310	155	103	77	62	52	44	39	34	31	15	10	8	6	5	4	4	3	3
300	0.3	315	158	105	79	63	53	45	39	35	32	16	11	8	6	5	5	4	4	3

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Anexo B.3- Módulos de poliestireno de alto impacto (HIPS)

Tabla B.9- Superficie de Módulos de HIPS a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
10	0.01	14.88	7.44	4.96	3.72	2.98	2.48	2.13	1.86	1.65	1.49	0.74	0.50	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15
15	0.015	22.32	11.16	7.44	5.58	4.46	3.72	3.19	2.79	2.48	2.23	1.12	0.74	0.56	0.45	0.37	0.32	0.28	0.25	0.22
20	0.02	29.76	14.88	9.92	7.44	5.95	4.96	4.25	3.72	3.31	2.98	1.49	0.99	0.74	0.60	0.50	0.43	0.37	0.33	0.30
25	0.025	37.19	18.60	12.40	9.30	7.44	6.20	5.31	4.65	4.13	3.72	1.86	1.24	0.93	0.74	0.62	0.53	0.46	0.41	0.37
30	0.03	44.63	22.32	14.88	11.16	8.93	7.44	6.38	5.58	4.96	4.46	2.23	1.49	1.12	0.89	0.74	0.64	0.56	0.50	0.45
35	0.035	52.07	26.04	17.36	13.02	10.41	8.68	7.44	6.51	5.79	5.21	2.60	1.74	1.30	1.04	0.87	0.74	0.65	0.58	0.52
40	0.04	59.51	29.76	19.84	14.88	11.90	9.92	8.50	7.44	6.61	5.95	2.98	1.98	1.49	1.19	0.99	0.85	0.74	0.66	0.60
45	0.045	66.95	33.48	22.32	16.74	13.39	11.16	9.56	8.37	7.44	6.70	3.35	2.23	1.67	1.34	1.12	0.96	0.84	0.74	0.67
50	0.05	74.39	37.19	24.80	18.60	14.88	12.40	10.63	9.30	8.27	7.44	3.72	2.48	1.86	1.49	1.24	1.06	0.93	0.83	0.74
55	0.055	81.83	40.91	27.28	20.48	16.37	13.64	11.69	10.23	9.09	8.18	4.09	2.73	2.05	1.64	1.36	1.17	1.02	0.91	0.82
60	0.06	89.27	44.63	29.76	22.32	17.85	14.88	12.75	11.16	9.92	8.93	4.46	2.98	2.23	1.79	1.49	1.28	1.12	0.99	0.89
65	0.065	96.71	48.35	32.24	24.18	19.34	16.12	13.82	12.09	10.75	9.67	4.84	3.22	2.42	1.93	1.61	1.38	1.21	1.07	0.97
70	0.07	104.15	52.07	34.72	26.04	20.83	17.36	14.88	13.02	11.57	10.41	5.21	3.47	2.60	2.08	1.74	1.49	1.30	1.16	1.04
75	0.075	111.58	55.79	37.19	27.90	22.32	18.60	15.94	13.95	12.40	11.16	5.58	3.72	2.79	2.23	1.86	1.59	1.39	1.24	1.12
80	0.08	119.02	59.51	39.67	29.76	23.80	19.84	17.00	14.88	13.22	11.90	5.95	3.97	2.98	2.38	1.98	1.70	1.49	1.32	1.19
85	0.085	126.46	63.23	42.15	31.62	25.29	21.08	18.07	15.81	14.05	12.65	6.32	4.22	3.16	2.53	2.11	1.81	1.58	1.41	1.26
90	0.09	133.90	66.95	44.63	33.48	26.78	22.32	19.13	16.74	14.88	13.39	6.70	4.46	3.35	2.68	2.23	1.91	1.67	1.49	1.34
95	0.095	141.34	70.67	47.11	35.33	28.27	23.56	20.19	17.67	15.70	14.13	7.07	4.71	3.53	2.83	2.36	2.02	1.77	1.57	1.41
100	0.1	148.78	74.39	49.59	37.19	29.76	24.80	21.25	18.60	16.53	14.88	7.44	4.96	3.72	2.98	2.48	2.13	1.86	1.65	1.49
105	0.105	156.22	78.11	52.07	39.05	31.24	26.04	22.32	19.53	17.36	15.62	7.81	5.21	3.91	3.12	2.60	2.23	1.95	1.74	1.56
110	0.11	163.66	81.83	54.55	40.91	32.73	27.28	23.38	20.46	18.18	16.37	8.18	5.46	4.09	3.27	2.73	2.34	2.05	1.82	1.64
115	0.115	171.10	85.55	57.03	42.77	34.22	28.52	24.44	21.39	19.01	17.11	8.55	5.70	4.28	3.42	2.85	2.44	2.14	1.90	1.71
120	0.12	178.53	89.27	59.51	44.63	35.71	29.76	25.50	22.32	19.84	17.85	8.93	5.95	4.46	3.57	2.98	2.55	2.23	1.98	1.79
125	0.125	185.97	92.99	61.99	46.49	37.19	31.00	26.57	23.25	20.66	18.60	9.30	6.20	4.65	3.72	3.10	2.66	2.32	2.07	1.86
130	0.13	193.41	96.71	64.47	48.35	38.68	32.24	27.63	24.18	21.49	19.34	9.67	6.45	4.84	3.87	3.22	2.76	2.42	2.15	1.93
135	0.135	200.85	100.43	66.95	50.21	40.17	33.48	28.69	25.11	22.32	20.09	10.04	6.70	5.02	4.02	3.35	2.87	2.51	2.23	2.01
140	0.14	208.29	104.15	69.43	52.07	41.66	34.72	29.76	26.04	23.14	20.83	10.41	6.94	5.21	4.17	3.47	2.98	2.60	2.31	2.08
145	0.145	215.73	107.86	71.91	53.93	43.15	35.95	30.82	26.97	23.97	21.57	10.79	7.19	5.39	4.31	3.60	3.08	2.70	2.40	2.16
150	0.15	223.17	111.58	74.39	55.79	44.63	37.19	31.88	27.90	24.80	22.32	11.16	7.44	5.58	4.46	3.72	3.19	2.79	2.48	2.23

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.10- Superficie de Módulos de HIPS a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	SUPERFICIE (m ²)																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	223.17	111.58	74.39	55.79	44.63	37.19	31.88	27.90	24.80	22.32	11.16	7.44	5.58	4.46	3.72	3.19	2.79	2.48	2.23
155	0.155	230.61	115.30	76.87	57.65	46.12	38.43	32.94	28.83	25.62	23.06	11.53	7.69	5.77	4.61	3.84	3.29	2.88	2.56	2.31
160	0.16	238.05	119.02	79.35	59.51	47.61	39.67	34.01	29.76	26.45	23.80	11.90	7.93	5.95	4.76	3.97	3.40	2.98	2.64	2.38
165	0.165	245.48	122.74	81.83	61.37	49.10	40.91	35.07	30.69	27.28	24.55	12.27	8.18	6.14	4.91	4.09	3.51	3.07	2.73	2.45
170	0.17	252.92	126.46	84.31	63.23	50.58	42.15	36.13	31.62	28.10	25.29	12.65	8.43	6.32	5.06	4.22	3.61	3.16	2.81	2.53
175	0.175	260.36	130.18	86.79	65.09	52.07	43.39	37.19	32.55	28.93	26.04	13.02	8.68	6.51	5.21	4.34	3.72	3.25	2.89	2.60
180	0.18	267.80	133.90	89.27	66.95	53.56	44.63	38.26	33.48	29.76	26.78	13.39	8.93	6.70	5.36	4.46	3.83	3.35	2.98	2.68
185	0.185	275.24	137.62	91.75	68.81	55.05	45.87	39.32	34.41	30.58	27.52	13.76	9.17	6.88	5.50	4.59	3.93	3.44	3.06	2.75
190	0.19	282.68	141.34	94.23	70.67	56.54	47.11	40.38	35.33	31.41	28.27	14.13	9.42	7.07	5.65	4.71	4.04	3.53	3.14	2.83
195	0.195	290.12	145.06	96.71	72.53	58.02	48.35	41.45	36.26	32.24	29.01	14.51	9.67	7.25	5.80	4.84	4.14	3.63	3.22	2.90
200	0.2	297.56	148.78	99.19	74.39	59.51	49.59	42.51	37.19	33.06	29.76	14.88	9.92	7.44	5.95	4.96	4.25	3.72	3.31	2.98
205	0.205	305.00	152.50	101.67	76.25	61.00	50.83	43.57	38.12	33.89	30.50	15.25	10.17	7.62	6.10	5.08	4.36	3.81	3.39	3.05
210	0.21	312.44	156.22	104.15	78.11	62.49	52.07	44.63	39.05	34.72	31.24	15.62	10.41	7.81	6.25	5.21	4.46	3.91	3.47	3.12
215	0.215	319.87	159.94	106.62	79.97	63.97	53.31	45.70	39.98	35.54	31.99	15.99	10.66	8.00	6.40	5.33	4.57	4.00	3.55	3.20
220	0.22	327.31	163.66	109.10	81.83	65.46	54.55	46.76	40.91	36.37	32.73	16.37	10.91	8.18	6.55	5.46	4.68	4.09	3.64	3.27
225	0.225	334.75	167.38	111.58	83.69	66.95	55.79	47.82	41.84	37.19	33.48	16.74	11.16	8.37	6.70	5.58	4.78	4.18	3.72	3.35
230	0.23	342.19	171.10	114.06	85.55	68.44	57.03	48.88	42.77	38.02	34.22	17.11	11.41	8.55	6.84	5.70	4.89	4.28	3.80	3.42
235	0.235	349.63	174.81	116.54	87.41	69.93	58.27	49.95	43.70	38.85	34.98	17.48	11.65	8.74	6.99	5.83	4.99	4.37	3.88	3.50
240	0.24	357.07	178.53	119.02	89.27	71.41	59.51	51.01	44.63	39.67	35.71	17.85	11.90	8.93	7.14	6.08	5.10	4.46	3.97	3.57
245	0.245	364.51	182.25	121.50	91.13	72.90	60.75	52.07	45.56	40.50	36.45	18.23	12.15	9.11	7.29	6.20	5.21	4.56	4.05	3.65
250	0.25	371.95	185.97	123.98	92.99	74.39	61.99	53.14	46.49	41.33	37.19	18.60	12.40	9.30	7.44	6.40	5.31	4.65	4.13	3.72
255	0.255	379.39	189.69	126.46	94.85	75.88	63.23	54.20	47.42	42.15	37.94	18.97	12.65	9.48	7.59	6.52	5.42	4.74	4.22	3.79
260	0.26	386.82	193.41	128.94	96.71	77.36	64.47	55.26	48.35	42.98	38.68	19.34	12.89	9.67	7.74	6.65	5.53	4.84	4.30	3.87
265	0.265	394.26	197.13	131.42	98.57	78.85	65.71	56.32	49.28	43.81	39.43	19.71	13.14	9.86	7.89	6.77	5.63	4.93	4.38	3.94
270	0.27	401.70	200.85	133.90	100.43	80.34	66.95	57.39	50.21	44.63	40.17	20.09	13.39	10.04	8.03	6.90	5.74	5.02	4.46	4.02
275	0.275	409.14	204.57	136.38	102.29	81.83	68.19	58.45	51.14	45.46	40.91	20.46	13.64	10.23	8.18	7.04	5.84	5.11	4.55	4.09
280	0.28	416.58	208.29	138.86	104.15	83.32	69.43	59.51	52.07	46.29	41.66	20.83	13.89	10.41	8.33	7.19	5.95	5.21	4.63	4.17
285	0.285	424.02	212.01	141.34	106.00	84.80	70.67	60.57	53.00	47.11	42.40	21.20	14.13	10.60	8.48	7.34	6.06	5.30	4.71	4.24
290	0.29	431.46	215.73	143.82	107.86	86.29	71.91	61.64	53.93	47.94	43.15	21.57	14.38	10.79	8.63	7.49	6.16	5.39	4.79	4.31
295	0.295	438.90	219.45	146.30	109.72	87.78	73.15	62.70	54.86	48.77	43.89	21.94	14.63	10.97	8.78	7.64	6.27	5.49	4.88	4.39
300	0.3	446.34	223.17	148.78	111.58	89.27	74.39	63.76	55.79	49.59	44.63	22.32	14.88	11.16	8.93	7.79	6.38	5.58	4.96	4.46

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.11- Número de Módulos de HIPS a instalar para caudales menores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m ³ /sg)	NUMERO DE MODULOS																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
10	0.01	13	6	4	3	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0.015	19	10	6	5	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	
20	0.02	26	13	9	6	5	4	4	3	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	
25	0.025	32	16	11	8	6	5	5	4	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0	
30	0.03	39	19	13	10	8	6	6	5	4	4	2	1	1	1	1	0	0	0	
35	0.035	45	23	15	11	9	8	6	6	5	5	2	2	1	1	1	1	1	0	
40	0.04	52	26	17	13	10	9	7	6	6	5	3	2	1	1	1	1	1	1	
45	0.045	58	29	19	14	12	10	8	7	6	6	3	2	1	1	1	1	1	1	
50	0.05	64	32	21	16	13	11	9	8	7	6	3	2	2	1	1	1	1	1	
55	0.055	71	35	24	18	14	12	10	9	8	7	4	2	2	1	1	1	1	1	
60	0.06	77	39	28	19	15	13	11	10	9	8	4	3	2	2	1	1	1	1	
65	0.065	84	42	28	21	17	14	12	10	9	8	4	3	2	2	1	1	1	1	
70	0.07	90	45	30	23	18	15	13	11	10	9	5	3	2	2	2	1	1	1	
75	0.075	97	48	32	24	19	16	14	12	11	10	5	3	2	2	2	1	1	1	
80	0.08	103	52	34	26	21	17	15	13	11	10	5	3	3	2	2	1	1	1	
85	0.085	110	55	37	27	22	18	16	14	12	11	5	4	3	2	2	2	1	1	
90	0.09	116	58	39	29	23	19	17	14	13	12	6	4	3	2	2	2	1	1	
95	0.095	122	61	41	31	24	20	17	15	14	12	6	4	3	2	2	2	2	1	
100	0.1	129	64	43	32	26	21	18	16	14	13	6	4	3	3	2	2	2	1	
105	0.105	135	68	45	34	27	23	19	17	15	14	7	5	3	3	2	2	2	1	
110	0.11	142	71	47	35	28	24	20	18	16	14	7	5	4	3	2	2	2	1	
115	0.115	148	74	49	37	30	25	21	19	16	15	7	5	4	3	2	2	2	1	
120	0.12	155	77	52	39	31	26	22	19	17	15	8	5	4	3	3	2	2	2	
125	0.125	161	81	54	40	32	27	23	20	18	16	8	5	4	3	3	2	2	2	
130	0.13	167	84	56	42	33	28	24	21	19	17	8	6	4	3	3	2	2	2	
135	0.135	174	87	58	43	35	29	25	22	19	17	9	6	4	3	3	2	2	2	
140	0.14	180	90	60	45	36	30	26	23	20	18	9	6	5	4	3	3	2	2	
145	0.145	187	93	62	47	37	31	27	23	21	19	9	6	5	4	3	3	2	2	
150	0.15	193	97	64	48	39	32	28	24	21	19	10	6	5	4	3	3	2	2	

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.

Tabla B.12- Número de Módulos de HIPS a instalar para caudales mayores a 150 (lts/sg)

Q (l/sg)	Q (m3/sg)	NUMERO DE MODULOS																		
		Velocidad de sedimentación (m/sg)																		
		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
150	0.15	193	97	64	48	39	32	28	24	21	19	10	6	5	4	3	3	2	2	2
155	0.155	200	100	67	50	40	33	29	25	22	20	10	7	5	4	3	3	2	2	2
160	0.16	206	103	69	52	41	34	29	26	23	21	10	7	5	4	3	3	3	2	2
165	0.165	213	106	71	53	43	35	30	27	24	21	11	7	5	4	4	3	3	2	2
170	0.17	219	110	73	55	44	37	31	27	24	22	11	7	5	4	4	3	3	2	2
175	0.175	225	113	75	56	45	38	32	28	25	23	11	8	6	5	4	3	3	3	2
180	0.18	232	116	77	58	46	39	33	29	26	23	12	8	6	5	4	3	3	3	2
185	0.185	238	119	79	60	48	40	34	30	26	24	12	8	6	5	4	3	3	3	2
190	0.19	245	122	82	61	49	41	35	31	27	24	12	8	6	5	4	3	3	3	2
195	0.195	251	126	84	63	50	42	36	31	28	25	13	8	6	5	4	4	3	3	3
200	0.2	258	129	88	64	52	43	37	32	29	26	13	9	6	5	4	4	3	3	3
205	0.205	264	132	88	66	53	44	38	33	29	26	13	9	7	5	4	4	3	3	3
210	0.21	271	135	90	68	54	45	39	34	30	27	14	9	7	5	5	4	3	3	3
215	0.215	277	139	92	69	55	46	40	35	31	28	14	9	7	6	5	4	3	3	3
220	0.22	283	142	94	71	57	47	40	35	31	28	14	9	7	6	5	4	4	3	3
225	0.225	290	145	97	72	58	48	41	36	32	29	14	10	7	6	5	4	4	3	3
230	0.23	296	148	99	74	59	49	42	37	33	30	15	10	7	6	5	4	4	3	3
235	0.235	303	151	101	76	61	50	43	38	34	30	15	10	8	6	5	4	4	3	3
240	0.24	309	155	103	77	62	52	44	39	34	31	15	10	8	6	5	4	4	3	3
245	0.245	316	158	105	79	63	53	45	39	35	32	16	11	8	6	5	5	4	4	3
250	0.25	322	161	107	81	64	54	46	40	36	32	16	11	8	6	5	5	4	4	3
255	0.255	329	164	110	82	66	55	47	41	37	33	16	11	8	7	5	5	4	4	3
260	0.26	335	167	112	84	67	56	48	42	37	33	17	11	8	7	6	5	4	4	3
265	0.265	341	171	114	85	68	57	49	43	38	34	17	11	9	7	6	5	4	4	3
270	0.27	348	174	116	87	70	58	50	43	39	35	17	12	9	7	6	5	4	4	3
275	0.275	354	177	118	89	71	59	51	44	39	35	18	12	9	7	6	5	4	4	4
280	0.28	361	180	120	90	72	60	52	45	40	36	18	12	9	7	6	5	5	4	4
285	0.285	367	184	122	92	73	61	52	46	41	37	18	12	9	7	6	5	5	4	4
290	0.29	374	187	125	93	75	62	53	47	42	37	19	12	9	7	6	5	5	4	4
295	0.295	380	190	127	95	76	63	54	48	42	38	19	13	10	8	6	5	5	4	4
300	0.3	387	193	129	97	77	64	55	48	43	39	19	13	10	8	6	6	5	4	4

Fuente: Elaboración propia, a partir de los parámetros y características de los módulos definidas en el capítulo V.