

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ESTUDIOS DE SEDIMENTACION DE
Lodos secundarios de plantas de tratamiento
de aguas residuales municipales
del estado de Nuevo Leon

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA
VICTORIA ZARATE ROMANO
QUIMICO INDUSTRIAL

TM

Z6834

.C5

FIC

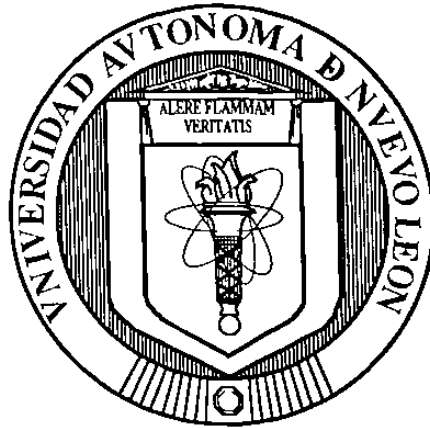
1995

Z37



1020112237

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**ESTUDIOS DE SEDIMENTACION DE
Lodos SECUNDARIOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
DEL ESTADO DE NUEVO LEON**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL**

P R E S E N T A

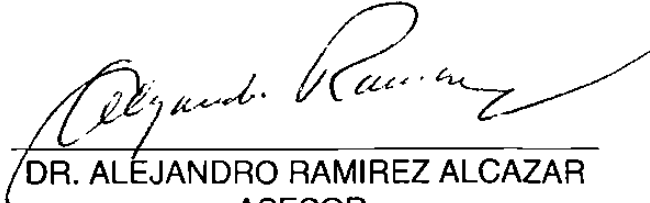
VICTORIA ZARATE ROMANO
QUIMICO INDUSTRIAL

MONTERREY, N.L.

JULIO DE 1995

**ESTUDIOS DE SEDIMENTACION DE LODOS SECUNDARIOS DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MUNICIPALES DEL ESTADO DE NUEVO LEON.**

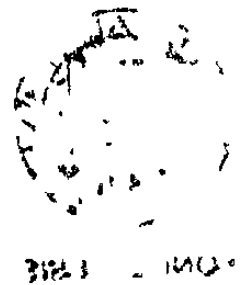
APROBACION DE TESIS

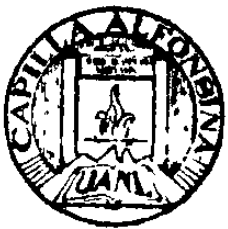


DR. ALEJANDRO RAMIREZ ALCAZAR
ASESOR.



ING. OZIEL CHAPA MARTINEZ.
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO





FONDO TESIS

Dedicatorias

A DIOS, por darme la vida, a mi familia y por tantas bendiciones que he recibido de él.

A LOS SERES QUE TANTO AMO

Mis Padres, el Pilar de mi formación profesional

Sr. Félix Zárate Zárate y Sra. Alicia Romano Morales

Por su amor y comprensión

Mis hermanos

Melitón, Héctor, Fredi, José Félix, Tere, Moy,

Por todos los momentos de alegría que me han dado

Con cariño...

A Mis Abuelitos

Francisca y Eustaquio

Amalia y Martín

A Mis tíos y primos

A Micaela

Laura Olivia

Edith

Alba Olaya

Por todos los momentos que hemos compartido

Con aprecio a mis amigos

Amanda Navarro Reyes

Diana Ivonne González Lozano

Griselda Gpe. Guerra García

Leticia Ivonne Lozano Rodríguez

Eliás Vázquez Godina

Familia Merlo Flores

Familia Quiroz Flores

Familia Sabinas Vázquez

Columba Ahuatzi Sastré

Gabriela Pérez García

Graciela Torres González

Ma Teresa Correa Lettieri

Familia Pantoja Pérez

Familia Palacios Santos

Por su estímulo, apoyo y confianza

A los Catedráticos y Excompañeros del Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, de quienes recibí apoyo y amistad sincera en el momento justo.

GRACIAS

Agradecimientos

Al Dr. Alejandro Ramírez Alcázar, una gran persona, asesor de mi tesis, por todo el apoyo y consejos recibidos durante la realización de la misma.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Humberto Maldonado García, Director general de la empresa "Ingeniería de Sistemas Sanitarios y Ambientales, S.A. de C.V., por haberme proporcionado los recursos materiales necesarios que hicieron posible la realización de éste trabajo.

Al Ing. Oziel Chapa Martínez y a la División de Estudios de Postgrado, por todo su apoyo y atenciones recibidas.

Al Ing. Benjamín Limón Rodríguez y al Departamento de Ingeniería Ambiental, por las facilidades que me dieron de tener acceso a sus instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico para la realización de mis estudios.

A los catedráticos de la División de estudios de Postgrado, quienes contribuyeron a mi formación profesional.

LQI. Martha Leticia Herrejón Figueroa

QBP. Nelly Santos García

Dr. Alejandro Ramírez Alcázar

Ing. Benito Muñoz Hernández

Dr. Febronio E. Chavarria Fernández

Ing. Horacio González Santos

Ing. Oziel Chapa Martínez

Lic. Ricardo Pedraza García

Ing. Ricardo Salgado Gutiérrez

Ing. Rogelio López Sono

Mi sincero agradecimiento

A la Ing. Ma Magdalena del Angel Sánchez

Al Sr. Félix López y su esposa, Martha G. Berlanga de la Rosa

Por el apoyo incondicional que me brindaron

Con especial agradecimiento a las siguientes empresas y personalidades, por haberme facilitado el acceso a sus instalaciones para la realización de éste estudio, así como por las atenciones recibidas.

Agua Industrial de Monterrey, S. de U; por medio del Ing. Héctor Julio Gómez Díaz, Director General.

Agua Industrial del Poniente, S.A. de C.V.; por medio del Ing. Salvador del Coss Z., Gerente General.

Club Campestre de Monterrey, A.C., por medio del Lic. Carlos Cuervo M., Director General y del Ing. Victor Manuel Ramírez Hernández, Superintendente de Mantenimiento.

Comisión Federal de Electricidad, Planta Termoeléctrica Monterrey, por medio del Ing. Raúl Valdéz Rodríguez, Jefe de Departamento Químico Regional y del Ing. Guillermo Feliciano Arévalo, jefe de Departamento Químico de la Planta Termoeléctrica Monterrey.

Celulosa y Derivados, S.A. de C.V., Planta Copropiedad; por medio del Ing. Antonio Zertuche Orozco, Gerente de Operaciones y del Ing. Daniel Hernández Villarreal, Superintendente de Planta de Tratamiento de Aguas.

Petróleos Mexicanos, Planta San Rafael, por medio del Ingeniero Félix Saunders J., Jefe del área de Planta Tratadora de Agua Negra.

Papelera Maldonado, S.A., por medio del Ing. José Luz Chapa, Jefe de Servicios Generales.

Planta de Tratamiento de Montemorelos, y empresa "Ingeniería de Sistemas Sanitarios y Ambientales, S.A. de C.V.", por medio del Ingeniero Humberto Maldonado García.

CONTENIDO

Resumen

	página
1. <i>Introducción</i>	2
1.1. Unidades de clarificación	4
2. <i>Antecedentes</i>	6
2.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	7
2.2 Proceso de lodos activados	8
2.2.1 Proceso convencional.....	9
2.2.2 Modificaciones del proceso convencional	11
2.2.3 Factores que influyen en el proceso de lodos activados.....	12
3. <i>Objetivo General</i>	26
3.1 Objetivos particulares.....	26
4. <i>Teoría de sedimentación</i>	28
4.1 Tipos de sedimentación.....	28
4.1.1 Sedimentación de partículas discretas y floculentas	29
4.1.2 Sedimentación de una suspensión de alta concentración.....	31
4.2 Clarificación y espesamiento.....	32
4.2.1 Clarificación.....	32
4.2.2 Espesamiento	33
4.3 Fundamentos de un tanque de sedimentación ideal	33

	página
5. Unidades de clarificación	38
5.1 Factores que intervienen en el diseño de las unidades de clarificación	38
5.1.1 Características de sedimentabilidad del lodo en el clarificador	39
5.1.2 Carga hidráulica superficial y carga superficial de sólidos	40
6. Procedimiento de estudio de sedimentación en columna y estimación de condiciones de trabajo	44
6.1 Estudios de sedimentación en columna	44
6.1.1 Análisis de la sedimentación zonal	46
6.1.2 Procedimiento del análisis de flujo de sólidos.....	47
6.1.2.1 Velocidad de sedimentación de las partículas (<i>clarificación</i>).....	47
6.1.2.2 Flujo de sólidos (<i>Espesado</i>).....	48
6.2 Estimación de las condiciones de trabajo	62
6.2.1 Equipo de sedimentación.....	62
6.2.1.1 Material auxiliar de laboratorio.....	65
6.2.2 Métodos	65
6.2.2.1 Procedimiento de pruebas experimentales.....	65
6.2.3 Plantas de tratamiento estudiadas	66
6.2.3.1 Ejemplo de obtención, de los parámetros de funcionamiento experimentales, de las plantas estudiadas	67
6.2.3.2 Características y parámetros de funcionamiento de las plantas de tratamiento durante su estudio	69

	página
7. Resultados y discusión de resultados	80
7.1 Correlación de datos correspondientes a la CHS en función de F/M y de CHS en función de TRS.....	84
7.2 Correlación de datos correspondientes a la CSS en función de F/M y de CSS en función de TRS.	87
7.3 Resultados de la CHS a partir de las relaciones obtenidas de las pruebas de columna.	90
7.4 Resultados de la CSS a partir de las relaciones obtenidas de las pruebas de columna.	90
7.5 Resultados de CHS y CSS de las condiciones reales y experimentales e información recomendada en la literatura	91
7.6 Discusión de resultados.....	103
7.6.1 Comparación entre datos experimentales (basados en un factor de seguridad) y valores recomendados en la literatura.....	103
7.7 Empleo de las gráficas obtenidas	105
8. Conclusiones	107
9. Recomendaciones	111
10. Referencias	115
Anexo I Tablas	118
Anexo II Figuras	152

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Parámetros típicos de diseño para diversas variaciones del proceso de lodos activados	13
Tabla 2.2 Intervalos comunes de temperatura para diversas bacterias	22
Tabla 5.1 Información típica para diseño de tanques clarificadores secundarios	42
Tabla 6.1 Datos de la altura de la interfase sólido-liquido en función del tiempo (planta Montemorelos)	49
Tabla 6.2 Datos de la velocidad inicial de sedimentación para cada prueba a la concentración dada de sólidos	55
Tabla 6.3 Datos de la carga hidráulica superficial para cada prueba, a la concentración dada de sólidos	56
Tabla 6.4 Datos correspondientes a la carga hidráulica superficial a la concentración deseada de sólidos (SSLM), del área de clarificación	58
Tabla 6.5 Datos de la velocidad de sedimentación para cada prueba a la concentración deseada de sólidos	60
Tabla 6.6 Datos correspondientes a la carga superficial de sólidos a la concentración deseada del lodo del fondo	62
Tabla 7.1 Datos experimentales correspondientes a la carga hidráulica superficial para las plantas de tratamiento estudiadas	81
Tabla 7.2 Datos experimentales correspondientes a la carga superficial de sólidos para las plantas de tratamiento estudiadas.....	82
Tabla 7.3 Resumen de los parámetros de funcionamiento de las plantas de tratamiento durante su estudio.	83
Tabla 7.4 Datos experimentales correspondientes a la CHS en función de F/M para ser comparados con las condiciones reales y datos de la literatura.....	94

	Página
Tabla 7.5 Datos experimentales correspondientes a la CHS en función de TRS para ser comparados con las condiciones reales y datos de la literatura	96
Tabla 7.6 Datos experimentales correspondientes a la CSS en función de F/M para ser comparados con las condiciones reales y datos de la literatura	98
Tabla 7.7 Datos experimentales correspondientes a la CSS en función de TRS para ser comparados con las condiciones reales y datos de la literatura	100
Tabla 7.8 Datos correspondientes a la concentración de SST del efluente del clarificador secundario y de las columnas de sedimentación para cada planta de tratamiento	102

INDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 2.1 Diagrama de flujo del proceso convencional de lodos activados	10
Fig. 4.1 Sedimentación de dos partículas que flocculan en un tanque de flujo horizontal	30
Fig. 4.2 Modelo del tanque de sedimentación ideal	34
Fig. 6.1 Curva de sedimentación de la interfase	51
Fig. 6.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto	57
Fig. 6.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto	59
Fig. 6.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad	61
Fig. 6.5 Dispositivo de pruebas de sedimentabilidad de columna	64
Fig. 7.1 CHS detectada en función de F/M, a la concentración deseada de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM).....	85
Fig. 7.2 CHS detectada en función de TRS, a la concentración deseada de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM)	86
Fig. 7.3 CSS detectada en función de F/M, a la concentración deseada de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM)	88
Fig. 7.4 CSS detectada en función de TRS, a la concentración deseada de SSLM	89

ANEXO 1 TABLAS

Tablas correspondientes a las figuras del anexo 2, obtenidas a partir de las pruebas de columna efectuadas para las plantas de tratamiento estudiadas.

	página
Plantas de tratamiento estudiadas	119
Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo (para diferentes concentraciones de de SSLM)	120
Tabla 1.2 Datos de la velocidad inicial de sedimentación para cada prueba a la concentración dada de sólidos	133
Tabla 1.3 Datos de la carga hidráulica superficial para cada prueba a la concentración dada de sólidos	137
Tabla 1.4 Datos correspondientes a la carga hidráulica superficial a la concentración deseada de sólidos (SSLM), del área de clarificación	141
Tabla 1.5 Datos de la velocidad de sedimentación para cada prueba a la a la concentración deseada de sólidos	144
Tabla 1.6 Datos correspondientes a la carga superficial de sólidos a la concentración deseada del lodo del fondo	148

ANEXO 2 FIGURAS

Figuras correspondientes a las tablas del anexo 1, obtenidas a partir de las pruebas de columna efectuadas en las plantas de tratamiento estudiadas

	Página
Plantas de tratamiento estudiadas.....	153
Fig. 2.1 Curva de sedimentación de la interfase.....	154
Fig. 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto	176
Fig. 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto.....	183
Fig. 2.1 Curva de flujo de sólidos por gravedad	190

INDICE ALFABETICO DE ABREVIATURAS

A	= Area
CHS	= Carga hidráulica superficial
CSS	= Carga superficial de sólidos
cm	= Centímetro
Co	= Concentración inicial
d	= Día
F/M	= Relación alimento-microorganismos
h	= Horas
g	= Gramos
Kg	= Kilogramos
L	= Litros
min	= Minutos
mg	= Miligramos
mL	= Mililitros
m ²	= Metro cuadrado
m ³	= Metro cúbico
So	= Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO ₅)
TRH	= Tiempo de detención hidráulico
TRS	= Tiempo de retención de sólidos, edad del lodo o tiempo de retención celular
Q	= Caudal afluente del agua cruda
Qr	= Caudal de recirculación de los lodos
Qw	= Caudal de la purga del lodo
V	= Volumen del tanque de aireación
X	= Concentración de los sólidos suspendidos totales del licor mixto (SSLM)
Xv	= Concentración de los sólidos suspendidos volátiles del licor mixto (SSVLM)
Xe	= Concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente del sedimentador secundario
Xe	= Concentración de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en el efluente del sedimentador secundario
Xr	= Concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) en la línea de retorno de lodos
Xr	= Concentración de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en la línea de retorno de lodos

RESUMEN

Para el dimensionamiento de las unidades de sedimentación secundaria, de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales que emplean el sistema de lodos activados, es común hacer uso de factores y criterios que se reportan en la literatura, derivados de estudios y experiencia obtenidos en otros lugares, con situaciones ambientales de calidad del agua diferentes a las nuestras. Esto puede traer consigo, un sobredimensionamiento de las mismas.

El propósito de éste trabajo, fué el obtener información de parámetros adecuados a las condiciones locales, para dimensionar los clarificadores finales de plantas de tratamiento por lodos activados de aguas residuales domésticas, en base al desarrollo de pruebas de sedimentación en columnas de los lodos activados de ocho plantas de tratamiento, ubicadas en el estado de Nuevo León y que actualmente se encuentran funcionando.

Los estudios de sedimentabilidad/espesamiento se efectuaron en cada planta de tratamiento, con un equipo a nivel laboratorio consistente en columnas de acrílico (de 6" de diámetro por 1.20 m. de alto), provistas de agitadores metálicos. Se obtuvieron los factores de diseño: carga hidráulica superficial (CHS) y carga superficial de sólidos (CSS) y se correlacionaron, con los parámetros de funcionamiento: relación alimento-microorganismos (F/M) y edad del lodo (TRS) para cada planta de tratamiento.

Con los resultados finales de las pruebas en columna se formaron 4 gráficas, que podrían emplearse para obtener parámetros de CHS y CSS para dimensionar clarificadores finales, de plantas de tratamiento de lodos activados.

Los valores obtenidos de CHS y CSS para las columnas de sedimentación, coincidieron con los valores más altos de los rangos recomendados en la literatura.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

Como consecuencia del crecimiento demográfico explosivo, la sobreexplotación de acuíferos va en aumento, y las fuentes de abastecimiento de agua relativamente limpia de las que se dispone, son cada vez más escasas, por ello hoy día se hace necesario el tratamiento de aguas residuales domésticas con fines de reutilización industrial y control de la contaminación. Esto implicará la disminución de cantidades de aguas negras vertidas a los cuerpos receptores (ríos, arroyos, mares), así como la liberación de mayor cantidad de agua potable para ser dotada a las poblaciones.

Para llevar a cabo el proyecto de las unidades de una planta de tratamiento de aguas residuales, es de gran importancia tomar en cuenta las condiciones climatológicas, topográficas y geográficas del lugar de ubicación futura de la misma, así como la utilización de factores apropiados a la localidad, que aseguren la capacidad deseada y el funcionamiento correcto del sistema.

El área de estudio del presente trabajo corresponde principalmente a la ciudad de Monterrey, N.L., y su área metropolitana, la cual está situada en una zona semidesértica, con lluvias escasas soportando largos períodos secos y clima bastante extremo, que varía de 6 grados centígrados en invierno a un máximo de 42 en verano; la industria de ésta zona ha reutilizado las aguas residuales desde 1955 (empleando el proceso de lodos activados). A la fecha cuenta con once plantas de tratamiento propiedad de la iniciativa privada y paraestatales, éstas tratan aproximadamente un 15% de los 8000 L/s que se generan, y tienen una capacidad instalada de 2800 L/seg, beneficiándose con ello 3'118,500 habitantes, siendo que para el año 2000 la población esperada será de 5.4 millones de habitantes, será necesario un suministro del orden de

los 21 m³/seg. por consiguiente, la cantidad agua residual por tratar será mayor (27).

De no ser tratado el caudal de agua de desecho generado, traería como consecuencia el uso de otras fuentes de abastecimiento, perjudicando severamente a la población.

A la fecha, se encuentran en proyecto tres sistemas de tratamiento con una capacidad instalada de 8000 L/seg, para tratar el agua residual generada en el área metropolitana de la ciudad.

En cuanto a las cabeceras municipales, existen 17 plantas de tratamiento, las cuales tratan un gasto aproximado de 650 L/s (27).

Es recomendable para la industria y para la comunidad descargar su vertido de aguas residuales (en el primer caso, previo tratamiento), directamente a una planta de tratamiento municipal, donde se puede eliminar parte de la contaminación orgánica presente. Debe además tenerse en cuenta que una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, proyectada y dirigida correctamente, puede recibir una gran variedad de residuos industriales, por ello, el diseño debe ser estudiado con sumo cuidado.

El tratamiento de todas las aguas residuales de la comunidad así como su reutilización, permitirá lograr un control total de las corrientes naturales y cuerpos de agua, permitiendo utilizar su capacidad con la mayor ventaja para el público en general. Con la reutilización del agua residual tratada para fines industriales, se preve que se incremente el abastecimiento de agua potable para uso doméstico, al liberar volúmenes importantes de agua blanca o de primer uso.

A partir del estudio de diversas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales del estado de Nuevo León, que actualmente se encuentran funcionando y que emplean el sistema de lodos activados, el objetivo en este caso fué el obtener información de diseño a nivel laboratorio, referente a la Carga Hidráulica Superficial (CHS) y a la Carga Superficial de Sólidos (CSS),

adecuada a las condiciones locales para dimensionar los clarificadores finales, de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, así mismo, hacer una comparación de los resultados obtenidos con la información de funcionamiento real de cada sistema, además con algunos datos bibliográficos reportados y sugeridos de estudios efectuados en otros lugares.

1.1 UNIDADES DE CLARIFICACION

Los sedimentadores secundarios o clarificadores, forman parte de las unidades básicas de un sistema biológico de lodos activados por su función en la remoción del material suspendido. El número de variables que es deseable y necesario incluir en un estudio de eficiencia de remoción de sólidos, es grande, requiriendo un largo programa experimental, sin embargo, no todas las variables que podrían influir en la investigación pueden ser controladas o en algunos casos, medidas.

Algunas evidencias de investigaciones hechas, indican que las relaciones concernientes a la eficiencia de la clarificación son complejas, por ello, es importante la identificación de aquellos factores como variables operacionales del proceso de lodos activados (L.A), debido al papel que desempeñan en el diseño y operación de las plantas.

Los sedimentadores finales, son probablemente las unidades más costosas y efectivas en una planta de tratamiento de aguas negras, normalmente el dimensionamiento de éstas se basa en dos parámetros hidráulicos, CHS y CSS (21,30).

Los tanques clarificadores pueden ser circulares, rectangulares o cuadrados, los cuales deberán realizar dos funciones: a) Separar los sólidos suspendidos del licor mixto del agua residual tratada dando lugar a un efluente clarificado y 2) Espesar el lodo de retorno. Ambas funciones deben de tomarse en cuenta para que el proyecto de las instalaciones de sedimentación secundaria sea correcto.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

En cuanto a la determinación de la capacidad de un sedimentador secundario, se han hecho diversos estudios (29); Bryant (1972), desarrolló un modelo dinámico de los procesos de lodos activados incluyendo la separación sólido líquido en ambos clarificadores, primario y secundario. Busby (1973), Stenstrom (1976), Keinath (1977), Hill (1985) y Vitasovic's (1986), han hecho esfuerzos significativos para improvisar nuestro entendimiento acerca de las dinámicas de los procesos de espesamiento, haciendo uso de la teoría de flujo de sólidos en un sedimentador unidimensional, basándose en la suposición de que los sólidos son distribuidos instantánea y uniformemente en capas, a través de la sección transversal del clarificador. P. Flanz (5), llevó a cabo un estudio de sedimentación secundaria en tanques a escala completa, la temperatura y turbulencia fueron encontrados como causantes de efectos en la clarificación del efluente, en base a la concentración de SSLM; este investigador recomienda que los sedimentadores secundarios, sean diseñados en base a la concentración de SSLM y a la carga hidráulica superficial. Un estudio hecho por Rex Chainbelt Inc. (5), demostró que la cantidad de sólidos del efluente disminuye, al incrementar la concentración de SSLM. Tuntoolaves (5) y colaboradores, usaron una planta piloto provista de agua residual sintética, para investigar el efecto de la concentración de SSLM, el flujo de aire y la recirculación en la eficiencia de remoción en el sedimentador final.

La investigación hecha por Chapman D., 1983 (5), reafirmó algunas de las suposiciones de los autores mencionados anteriormente, se enfoca principalmente a la naturaleza física de la clarificación, demostró que las características de asentamiento de los flóculos en el sedimentador, son determinantes principales de la eficiencia del sedimentador, por lo tanto, los factores que influyen las propiedades de sedimentación y de clarificación de

los flóculos, deben también de ser consideradas en el diseño y en la operación de las plantas.

Existe cierta discrepancia, entre diversos estudios sobre la eficiencia de remoción de sólidos, lo cual puede atribuirse, al tamaño y al funcionamiento de las unidades del sistema de Lodos Activados y a la composición del agua residual influente.

El presente estudio se enfoca principalmente a dos de los factores a tener en cuenta, en el diseño de los tanques de sedimentación secundarios: 1) Características de sedimentabilidad del lodo, 2) Cargas de superficie y de sólidos (parámetros de diseño).

Las pruebas experimentales correspondientes al presente trabajo, se llevaron a cabo en siete plantas ubicadas en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey y una perteneciente a la cabecera municipal de Montemorelos, en el estado de Nuevo León. La selección de las mismas para su estudio se llevó a cabo, considerando conveniente contemplar diversas variantes del proceso de lodos activados, así como en base al flujo promedio actual al cual se encuentran operando, considerándose prioritarios los valores de flujo mayores que son tratados por dicho proceso.

2.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo de diversas formas, dependiendo del tipo de contaminantes presentes; para el caso de las aguas de desecho domésticas, el tratamiento biológico se dirige a la eliminación de materia orgánica biodegradable y de sólidos en suspensión, lo cual puede lograrse con los sistemas, ya sea de "*película fija*" o de "*cultivo en suspensión*". El primer caso se emplea para caudales de pequeñas comunidades y el segundo, es común para caudales de grandes ciudades (21).

En los procesos de película fija, los microorganismos responsables de la

conversión de materia orgánica en gases y tejido celular, se encuentran fijos a un medio inerte. En los procesos de cultivo en suspensión, los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido; ejemplo de este último es el proceso de lodos activados.

En el proceso de lodos activados, los tanques o depósitos en los que se llevan a cabo las reacciones químicas y biológicas son llamados reactores. Según las características de flujo hidráulico, los reactores se clasifican en: 1) reactor de flujo discontinuo o de flujo en pistón, 2) de flujo continuo o de mezcla completa y 3) de flujo arbitrario, éste último se caracteriza porque el grado de mezcla está comprendido entre el flujo en pistón y el de mezcla completa (21). En este estudio solo se tendrán en cuenta los dos primeros.

En el reactor de flujo en pistón, las partículas del fluido pasan a través del tanque y son descargadas en el mismo orden que entran. Este tipo de flujo se produce en tanques alargados o rectangulares, en los que no existe dispersión longitudinal y las partículas conservan su identidad.

La mezcla completa tiene lugar cuando las partículas que entran al tanque son inmediatamente dispersadas por todo el recinto, y salen del tanque en relación a su proporción de su población estadística. La mezcla completa se lleva a cabo en tanques redondos o cuadrados, si el contenido de aquellos está uniforme y continuamente distribuido.

2.2 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de tratamiento de lodos activados desarrollado en Inglaterra por Andern y Lockett, 1914 (21), es usado extensamente para tratar agua residual doméstica e industrial, En este proceso el agua residual (residuo orgánico), se estabiliza biológicamente en un tanque de aeración bajo condiciones aerobias; el ambiente aerobio se consigue mediante la aeración por medio de difusores de aire con sistemas mecánicos.

En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica del afluente, así también, es importante que formen un flóculo adecuado para que la separación de sólidos biológicos en la unidad de sedimentación se vea favorecida. La versión original del sistema (proceso convencional) se ha modificado continuamente, sin embargo, todas las variantes están basadas en los mismos principios, más adelante se hace mención de algunas de ellas.

2.2.1 Proceso convencional

El proceso convencional de lodos activados, consta de un tanque de aeración o reactor biológico con "flujo hidráulico tipo pistón", un tanque de sedimentación o clarificador final y una línea de recirculación del lodo.

El agua residual (residuo orgánico), se introduce en el reactor en el cual se mantiene un cultivo aerobio en suspensión (células de retorno), éste último lleva a cabo la conversión de materia orgánica soluble a biomasa; tras un período de aeración, el licor mixto (mezcla de agua tratada con las células nuevas y las envejecidas), se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada; parte de la biomasa es purgada del sistema y una gran fracción es retornada al reactor biológico, para mantener la proporción apropiada de substrato-biomasa en el mismo.

La operación efectiva del proceso requiere que la biomasa sea removida del líquido en el sedimentador secundario (21, 27, 29, 12), mediante la sedimentación por gravedad, la fig. 2.1, muestra un diagrama esquemático de este proceso.

En un modelo de flujo en pistón con recirculación celular, todas las partículas que entran en el reactor permanecen en él el mismo tiempo. Algunas partículas pueden pasar varias veces a través del reactor a causa de la recirculación, pero mientras están en el tanque, pasan todas el mismo período

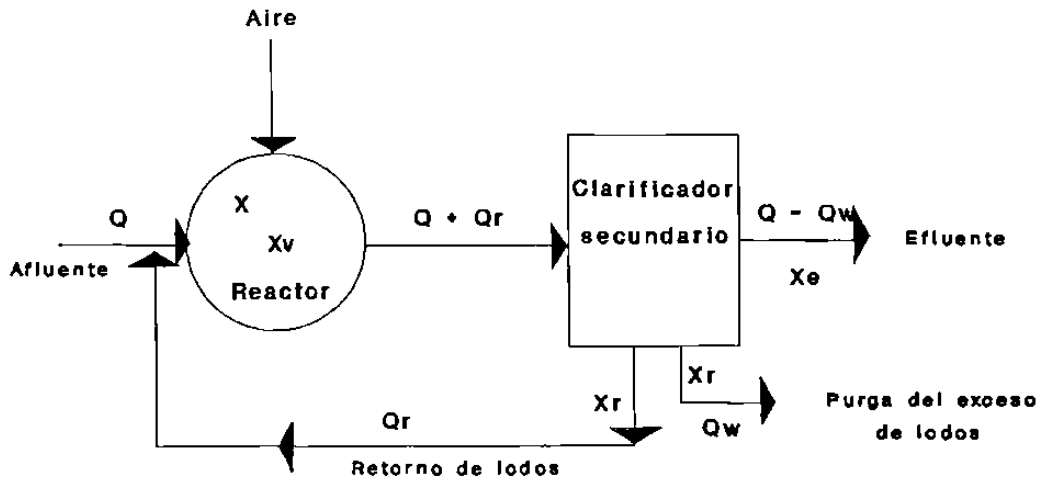


Fig. 2.1 Diagrama de flujo del proceso convencional de lodos activados

donde:

Q = Caudal de afluente del agua cruda

Q_r = Caudal de recirculación de los lodos

Q_w = Caudal de la purga de lodo (caudal del líquido que contiene las células biológicas)

X = Concentración de los sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM), en el tanque de aeración

X_v = Concentración de los sólidos suspendidos volátiles del licor mixto en el tanque de aeración (SSVLM)

X_r = Concentración del lodo espesado (concentración de microorganismos en la línea de retorno de lodos)

X_e = Concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de sedimentación

2.2.2 Modificaciones del proceso convencional

Algunas modificaciones del sistema convencional de lodos activados han sido desarrolladas, con el objeto de poder ser adaptadas a diversos problemas relativos al tratamiento biológico de las aguas residuales. A continuación, se hará una breve referencia de las modalidades de interés para este estudio (21). Más adelante, en la tabla 2.1 se indican los parámetros de diseño del proceso para cada versión.

1. Mezcla completa

En el proceso de mezcla completa, el agua residual sedimentada afluyente y el lodo de retorno, se introducen en diversos puntos del tanque de aeración a lo largo de un canal central. El licor mixto es aireado conforme pasa desde el canal central, a los canales de salida situados a ambos lados del tanque de aeración. El efluente de éste es recogido y sedimentado en el clarificador final. El licor mixto, al ir atravesando el tanque de aeración desde la entrada hasta el canal efluente, está completamente mezclado por medio de aeración mecánica o difusores de aire.

2. Aeración extendida

Este proceso funciona en la fase de respiración endógena, es decir, que la concentración de alimento disponible para los microorganismos, se haya en un mínimo, por lo tanto, el sistema necesita una carga orgánica relativamente baja y un largo periodo de aeración. Por ello, solo suele aplicarse a pequeñas plantas de tratamiento, inferiores a una capacidad de 4000 m³/día.

3. Zanjas de oxidación

Este proceso de aeración extendida consta de un canal anular en el que se coloca un rotor de aireación, consistente en un cepillo Kessener modificado en un sentido transversal al canal, para proporcionar la circulación del agua y la aeración. El agua residual que entra en el canal es aireada por el rotor y circula a una velocidad de 0.3 a 0.6 m/s aproximadamente.

4. Aeración de alta carga

En este proceso, las altas concentraciones de SSLM están combinadas con elevadas cargas volumétricas. Esta combinación resulta en altas concentraciones de la relación alimento-microorganismos (F/M) y prolongados tiempos de retención celular (TRS), y con tiempos de detención hidráulica (TRH) de 0.5 a 2 horas.

5. Aeración Modificada.

La aeración modificada, a diferencia del proceso de aeración convencional, emplea tiempos de aereación cortos, generalmente de 1.5 a 3 horas y una relación de elevada de alimento-microorganismos . La concentración de sólidos suspendidos del licor mixto es relativamente baja, mientras que la carga orgánica es alta. Este proceso es característico de producir, malas condiciones de sedimentación del lodo y de altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente.

2.2.3 Factores que influyen en el proceso de lodos activados

Los procesos de tratamiento biológico involucran un número de ecuaciones empíricas de diseño, parámetros y criterios de operación que han venido a ser de uso común. Bibliografía (4, 13, 21) y estudios recientes de diversos autores, tales como Shroeder E., 1977 (27); Tuntoolavest (31); Anderson, 1981; Tomilinson y Chambers, 1985; Echeverría, 1992, coinciden en diversas suposiciones y sugerencias, considerando que los parámetros y factores más importantes en el diseño y operación de las plantas de tratamiento de lodos activados son: 1) Criterios de carga (la relación alimento-microorganismos y el tiempo de retención de sólidos) ; 2) transferencia y necesidad de oxígeno, 3) sólidos suspendidos del licor mixto; 4) sólidos suspendidos volátiles del licor mixto; 5) recirculación y purga del lodo; 6) separación de las fases sólido-líquido, de los cuales se hace referencia más adelante.

Entre otras consideraciones de funcionamiento, es importante tener en cuenta además: 7) los factores ambientales (el pH y la temperatura), 8) el índice volumétrico de lodos, 9) el índice de densidad de lodos.

Valores de los parámetros comúnmente utilizados, se encuentran indicados en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Parámetros típicos de diseño para diversas variaciones del proceso de lodos activados (Metcalf-Eddy, 1985), (21)

Modificación del proceso	Régimen del flujo	TRS días	F/M 1/día Kg DBO ₅ / Kg SSLM	SSLM, mg/L	TRH horas
Convencional	Flujo en pistón	5-15	0.2-0.4	1500-3000	4-8
Aeración graduada	Flujo en pistón	5-15	0.2-0.4	1500-3000	4-8
Reactor de mezcla completa	Mezcla completa	5-15	0.2-0.6	3000-6000	3-5
Aeración modificada	Flujo en pistón	0.2-0.5	1.5-5	200-500	1.5-3
Aeración escalonada	Flujo en pistón	5-15	0.2-0.4	2000-3500	3-5
Contacto y estabilización	Flujo en pistón	5-15	0.2-0.6	1000-4000 ¹ 4000-10000 ²	0.5-1 3-6
Aeración extendida	Mezcla completa	20-30	0.05-0.15	3000-6000	18-36
Proceso Kraus	Flujo en pistón	5-15	0.3-0.8	2000-3000	4-8
Aeración de alta carga	Mezcla completa	5-10	0.4-1.5	4000-10000	0.5-2
Sistemas de oxígeno puro	Mezcla completa	8-20	0.25-1	6000-8000	1-3

1 Unidad de contacto

2 Unidad de estabilización

1) Criterios de carga

1. relación alimento-microorganismos (F/M)

Este parámetro se utiliza para expresar, la carga total de materia orgánica en el sistema biológico, y representa la relación de los Kg de DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), que entran al tanque de aireación por día y por los Kg de SSVLM en el tanque de aireación, se refiere a la cantidad de alimento necesaria para la biomasa por cada día. Los valores comunes para la relación F/M citados en la bibliografía existente (21), varían de 0.2-0.5 1/día. Un valor alto de este parámetro refleja una carga alta del sistema y viceversa. La relación alimento-microorganismos (21) está dada por la ec. 2.1.

$$F/M = (S_o \cdot Q)/(V \cdot X_v) \dots\dots\dots(2.1)$$

donde:

S_o = Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del agua a tratar, g/m³.

Q = Caudal del agua residual a tratar, m³/día.

V = Volumen del tanque de aeración, m³.

X_v = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración, g/m³.

2. tiempo de retención hidráulica y de sólidos

El tiempo de retención puede basarse, en el caudal del agua residual (tiempo de detención hidráulica o del agua), sin tener en cuenta la recirculación, o en el caudal del licor mixto que incluye la recirculación (tiempo de retención de sólidos o del licor mixto).

Mezcla completa sin recirculación

En la práctica, el tiempo de residencia hidráulica (TRH), es un importante parámetro debido a que el volumen constante del tanque es asegurado con pequeños cambios en su valor; se ha comprobado que afecta fuertemente la concentración celular de los procesos de lodos activados. Los valores de TRH en el tanque de aeración, tradicionalmente usados en el tratamiento del agua residual municipal se sitúan entre 4 a 8 horas. Valores de este parámetro, del orden de 0.2 días, han sido usados en algunas plantas de tratamiento de los E.U. y se ha visto, que producen aceptables concentraciones de SSLM de 1500 a 5000 mg/L (31).

En el reactor de mezcla completa (mezcla completa sin recirculación), la mezcla es total suponiendo que no hay microorganismos en el flujo de entrada; en éste, el tiempo de residencia hidráulica (para el reactor), puede calcularse como se indica (21) en la ec. 2.2:

$$TRH = V/Q \dots\dots\dots (2.2)$$

La edad del lodo o tiempo de retención de sólidos (TRS), Puede considerarse como una medida del tiempo promedio de retención del los microorganismos en el sistema. En el caso de un proceso de mezcla completa sin recirculación, una característica importante, es aquella en la que el TRS en el sistema es el mismo que el del reactor. Para este caso, el tiempo promedio de retención celular o de sólidos se define como:

$$TRS = VX_v/QX_v \dots\dots\dots (2.3)$$

donde:

X_v = concentración de la masa de microorganismos en el reactor ó sólidos suspendidos volátiles en el reactor (SSVLM), g/m³.

Simplificando tenemos que: TRS = TRH

Este tipo de operación, es característica de algunos de los procesos modificados de lodos activados.

Mezcla completa con recirculación celular

Por otra parte, cuando se trata de un sistema de mezcla completa con recirculación celular, el contenido del reactor se encuentra en condiciones de mezcla completa y, se supone que no hay microorganismos en el agua residual afluente. El sistema contiene un dispositivo sedimentador en el que las células se depositan y a continuación, son introducidas nuevamente al reactor. Debido a la presencia de la unidad de sedimentación, deben ser consideradas las siguientes hipótesis (21):

1. La suposición de que, la estabilización del agua residual por los microorganismos solamente tiene lugar en el reactor, conduce a un modelo conservador, ya que en algunos sistemas puede haber estabilización del residuo en la unidad de sedimentación.
2. El volumen utilizado al calcular el tiempo medio de retención celular para el sistema, incluye solamente el volumen del reactor.

Se supone que el tanque de sedimentación, sirve como depósito del que los sólidos son retornados, para mantener el nivel dado de los mismos en el tanque de aeración, de aquí que, para los casos en los que ambas hipótesis no se cumplen, el modelo se modifica.

El tiempo de detención hidráulica para el sistema (TRHs), en este caso se define como:

$$TRHs = \frac{V + Vc}{Q} \dots\dots\dots(2.4)$$

donde:

Vc = volumen del tanque de sedimentación ó del clarificador secundario, m³

El tiempo de detención hidráulica para el reactor, se define como:

$$TRH = V/Q \dots\dots\dots(2.5)$$

El TRS, se basa en el hecho de que, para controlar la tasa de crecimiento de los microorganismos y, por lo tanto, el grado de estabilización del agua residual, deberá purgarse diariamente un cierto porcentaje de la masa celular existente en el sistema.

En el sistema de mezcla completa con recirculación, cuando la eliminación de las células se efectúa desde el reactor, el tiempo de retención celular se define como:

$$TRS = VX_v / Q_w X_v + (Q - Q_w) X_e \dots\dots\dots (2.6)$$

donde:

X_e = concentración de microorganismos en el efluente del sedimentador,
SSV, g/m³

Q_w = caudal de la purga del lodo, (en este caso del reactor) m³/día.

En la práctica de la operación de tratamiento biológico del agua residual, la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV), se toma como una aproximación de la concentración de microorganismos, para X_v , X_r , X_e .

En un sistema con una unidad de sedimentación que funciona adecuadamente, la cantidad de células en el efluente es muy pequeña, y la ecuación anterior puede simplificarse; suponiendo que la cantidad de células en el efluente es muy pequeña, se tiene que:

$$TRS = V/Q_w \dots\dots\dots (2.7)$$

En la mayoría de los procesos de tratamiento biológicos, la purga de células se realiza extrayéndolas de la línea de recirculación del lodo.

En el supuesto de que toda la conversión de la carga orgánica, tiene lugar en el tanque de aeración y cuando se trata de retornar el lodo sedimentado espesado, del clarificador final al tanque de aeración y/o purgarlo del sistema, la edad del lodo o tiempo de retención celular puede determinarse (21) como se indica en la ec. 2.8:

$$TRS = VX_v / Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e \dots\dots\dots (2.8)$$

donde:

Q_w = caudal de la purga desde la conducción de retorno de lodos, m^3/d

X_r = concentración de microorganismos en la conducción de retorno de lodos, SSV, g/m^3

Suponiendo que la cantidad de células en el efluente es relativamente pequeña, la ecuación anterior se simplifica:

$$TRS = (V \cdot X_v) / (Q_w \cdot X_r) \dots\dots\dots (2.9)$$

El TRS es importante por que representa aproximadamente, el tiempo medio de contacto del agua residual con el lodo, debido a que el lodo de retorno pasa a través del tanque más de una vez.

El efectuar la purga desde la línea de retorno, supone el conocimiento previo de la concentración de microorganismos en el reactor y del lodo de retorno. En un sistema de mezcla completa con recirculación, al igual que en un sistema sin recirculación, existe un tiempo mínimo medio de retención celular, por debajo del cual no puede haber estabilización del residuo, y su valor específico está en función de la concentración del residuo y de los parámetros, que caracterizan la cinética del proceso biológico.

Muchos de los procesos de lodos activados son diseñados, para operar en el rango de 3 a 10 días (27, 30), una razón es que éstos valores están en un ámbito que proporciona efluentes de concentraciones orgánicas satisfactorias, e

insensibilidad para cambios moderados en los parámetros de operación. En base a estudios de laboratorio y datos reales de funcionamiento, de varias y diferentes plantas de tratamiento en los E.U., se ha comprobado que el empleo de valores del TRS de 6 a 15 días, dan como resultado un efluente estable y de alta calidad, así como un lodo con muy buenas características de sedimentabilidad (21). Para el caso de los sistemas de tratamiento de aeración extendida, el valor de la edad del lodo fluctúa entre 20 a 30 días, ver tabla anterior 2.1.

Teóricamente, a valores bajos de TRS es conveniente una reducción en el flujo promedio de aire, debido a que se requiere abastecer menos oxígeno, de esta manera se mantiene un proceso estable. Con un incremento del TRS, una larga fracción de la masa celular llega a morir; eventualmente los flóculos comienzan a romperse, los sólidos orgánicos se pierden en el efluente y el proceso viene a ser inestable. Sin embargo, estudios bibliográficos sugieren que, es preferible mantener un TRS constante durante todo el año, considerado como óptimo (31). En la realidad, la concentración de SSLM incrementa con el incremento del TRS.

2) Transferencia y necesidad de oxígeno

Los requerimientos de oxígeno incrementan con el aumento de la carga influente. El oxígeno teóricamente necesario puede determinarse conociendo la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días) del agua residual y la cantidad, de organismos purgados del sistema diariamente. Se ha estimado que cada mg de sólidos arrastrados en el efluente incrementa la DBO₅ del mismo, hasta cerca de 0.6 mg (5). Una vez que se estima la eficiencia de la transferencia de oxígeno, se podrá determinar la cantidad real de aire que se necesita. El suministro de aire deberá ser suficiente, para mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aeración de 1 a 2 mg/l.

3) Sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM)

El valor de SSLM, es una medida muy importante la cual indica la cantidad de lodo en un tanque de aeración (licor mixto).

Los reportes en la literatura, muestran que hay una proporción directa entre la concentración de SSLM y la formación y rompimiento del floc. Así, los cambios en la concentración de SSLM, pueden teóricamente ya sea mejorar o deteriorar directamente el funcionamiento del sedimentador final, dependiendo del comportamiento del floc. Tanto la formación como el rompimiento de los flóculos, ocurren al mismo tiempo en el ambiente turbulento del tanque de aeración; los resultados argumentan sin embargo, que las altas concentraciones de SSLM, podrían causar una mayor cantidad de partículas dispersas en el sedimentador secundario y por lo tanto, un incremento en la concentración de sólidos suspendidos en el efluente.

Tuntoolavest (1983), en su estudio supone el concepto de que, el funcionamiento de la clarificación del sedimentador final es dependiente, de la cantidad de partículas dispersas que entran; que lodo activado bien preparado, podría ser capaz de sedimentar rápidamente en un sedimentador común, pero los flóculos mal preparados no pueden sedimentar aún en un sedimentador perfecto. Por lo tanto, la masa de las partículas dispersas puede cambiar al cambiar la concentración de SSLM.

4) Sólidos suspendidos volátiles del licor mixto (SSVLM)

El parámetro más frecuentemente utilizado como medida de los sólidos biológicos, es el de los sólidos suspendidos volátiles de la unidad de tratamiento. La fracción volátil del total de sólidos en suspensión se usa como una aproximación de la masa biológica activa, ya que la fracción volátil se considera proporcional, a la actividad de la masa microbiana en cuestión; sin embargo, no es completamente satisfactorio a causa de la variabilidad de la materia volátil presente en el residuo, que no está relacionada con la materia celular activa.

5) Recirculación y purga del lodo activado

El lodo sedimentado en el clarificador final, debe extraerse para ser retornado al reactor biológico tan pronto como se forme, la finalidad es mantener una concentración suficiente de lodo activado en el tanque de aeración, de modo que pueda obtenerse el grado requerido de tratamiento en el tiempo deseado (21). El efecto del reciclo es de especial interés; un cambio en la concentración de sólidos del agua cruda, puede causar pequeños cambios en los sólidos totales contenidos en cada ciclo, por ejemplo, un incremento en el reciclo promedio del lodo, causa que mejore la clarificación siempre que el nivel de turbulencia sea bajo (31,12).

Una forma de calcular el flujo de retorno de los lodos activados es la siguiente:

$$Q_r = Q X / X_r - X \dots\dots\dots (2.10)$$

donde:

X = concentración de los sólidos suspendidos totales del licor mixto (SSLM), g/m^3 .

X_r = concentración de los sólidos suspendidos totales en el flujo de retorno del lodo, g/m^3

Es importante conocer la cantidad de lodo producido diariamente, ya que ello afectará al diseño de las instalaciones de eliminación y manipulación del lodo. Para mantener un nivel constante de SSLM y un TRS promedio en el sistema, es preciso eliminar cierta cantidad del lodo activado. Esto puede lograrse mejor y con mayor precisión, purgando el líquido concentrado directamente del tanque de aireación o de la tubería efluente de dicho tanque, cuando la concentración de sólidos sea uniforme. El licor mixto purgado puede a continuación evacuarse a un espesador de lodos (21).

6) Separación de las fases sólido-líquido.

La separación de las fases sólido-líquido (por medio de la sedimentación), es uno de los factores fundamentales a tener en cuenta en el diseño de un proceso de lodos activados; las instalaciones utilizadas para separar los sólidos biológicos del agua residual tratada es quizá, el aspecto más importante en el dimensionamiento, ya que el costo y la operación de los sistemas de tratamiento están profundamente influenciados por el funcionamiento el sedimentador final (5, 23, 29).

7) Factores ambientales

La temperatura y el pH son los factores ambientales más importantes, ambos juegan un papel vital en la vida y muerte de las bacterias.

1. temperatura

Se ha comprobado, que la velocidad de reacción para los microorganismos aumenta con la temperatura, doblándose cada 10 grados centígrados hasta alcanzar la temperatura límite. No obstante, en la práctica, el proceso convencional de lodos activados no se ve afectado por la misma (21). Según el grado de temperatura en el que se desarrollan las bacterias, se clasifican como se indica en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Intervalos comunes de temperatura para diversas bacterias (Metcalf-Eddy, 1985), (21).

Temperatura (°C)		
Tipo	Intervalo	óptimo
Criófilas	-2 a 30	12 a 18
Mesófilas	20 a 45	25 a 40
Termófilas	45 a 75	55 a 65

2. pH

La concentración del ión hidrógeno es un importante parámetro de calidad, tanto de las aguas naturales como residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa del ión hidrógeno, es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

El pH de una solución es así, un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría de ellos no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o menores de 4. Por lo general el pH óptimo para su crecimiento se encuentra entre 6.5 y 7.5 unidades.

9) Índice volumétrico de lodos (IVL)

El IVL puede considerarse como una variable de medición práctica para estimar las características de sedimentación del lodo. Las Variaciones de éste parámetro en el rango de 75-125 mL/g no da lugar a alteraciones significativas en los procesos biológicos. (7, 13, 23). Un IVL de 100 mL/g o menor, indica que el lodo tiene buena sedimentabilidad. Sin embargo, y debido a que el valor del índice que es característico de una buena sedimentación del lodo, varía según la concentración de los sólidos en el licor mixto, los valores observados en una planta determinada no deben de compararse con los valores de la bibliografía, a menos que se tenga entendido que las condiciones de funcionamiento son semejantes (16, 21).

El índice volumétrico del lodo se define como se indica en la ec. 2.11 .

$$IVL = \frac{\text{Lodo sedimentado después de 30 min (ml/L) (1000 mg/g)} \dots \dots (2.11)}{SSLM \text{ (mg/L)}}$$

10) Índice de densidad de lodos (IDL)

El IDL es el recíproco del IVL . La velocidad a la cual sedimentan los sólidos del lodo activado en el clarificador secundario, depende de las características de sedimentabilidad del lodo, estas características pueden determinarse calculando el IDL como se indica en la ec. 2.12.

$$\text{IDL} = \frac{\text{SSLM (mg/L)}}{\text{Lodo sedimentado después de 30 min (ml/L) (1000 mg/g)}} \dots(2.12)$$

Un lodo con un IDL de 1.5 g/mL, es un lodo denso que sedimenta rápidamente. Un IDL menor de 1 indica que se trata de un lodo ligero que sedimenta lentamente. El valor promedio de este término es de 1 g/mL.

CAPITULO 3

OBJETIVOS

3. OBJETIVO GENERAL

Obtener información correspondiente a los parámetros de diseño: Carga Hidráulica Superficial (CHS) y Carga Superficial de Sólidos (CSS), para dimensionar los clarificadores finales de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel local, que se pretenda funcionen mediante el sistema de Lodos Activados, a partir del estudio de ocho plantas de tratamiento del estado de Nuevo León que se encuentran funcionando y que emplean dicho proceso.

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar los efectos de los parámetros de diseño y variables de operación que influyen en el funcionamiento de los clarificadores finales.
- Correlacionar los resultados de análisis de "flujo de sólidos", obtenidos de las pruebas experimentales de sedimentación en columna, con los parámetros de control F:M (relación alimento-microorganismos) y del TRS (edad del lodo) de las plantas de tratamiento en estudio.
- Comparar los resultados correspondientes a la CHS y CSS, obtenidos a partir de las pruebas experimentales en las columnas de sedimentación, con aquellos que se generaron tomando en cuenta las condiciones de funcionamiento real de cada una de las plantas de tratamiento durante su estudio, así como con los valores bibliográficos recomendados para esos parámetros.

CAPITULO 4

TEORIA DE SEDIMENTACION

4. TEORIA DE SEDIMENTACION

Muchas de las impurezas del agua residual están presentes como partículas suspendidas, las cuales son transportadas en el caudal y pueden ser eliminadas por sedimentación; la sedimentación es la separación de las partículas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad, es una de las operaciones unitarias más utilizadas e importantes en el tratamiento de las aguas residuales; éstas partículas sedimentan cuando las fuerzas debidas a la gravedad y viscosidad actúan sobre el material suspendido (21).

4.1 TIPOS DE SEDIMENTACION

En base a la concentración y tendencia a la interacción de las partículas pueden darse cuatro tipos de sedimentación: a) discreta, b) floculenta, c) retardada o zonal y d) por compresión (14, 18, 20, 21, 29, 30).

a) La sedimentación discreta se caracteriza debido que, las partículas mantienen su individualidad y no cambian de tamaño o densidad durante su descenso, sedimentan con poca o ninguna interacción entre ellas; están asociadas con la remoción de arena y partículas de basura.

b) En la sedimentación floculenta, las partículas se aglomeran con un consecuente cambio en la gravedad específica y sedimentan a mayor velocidad. Este tipo de sedimentación describe la sedimentación de materiales orgánicos e inorgánicos presentes, por ejemplo la sedimentación primaria de aguas residuales domésticas.

c) En la sedimentación zonal, la suspensión floculada sedimenta como una masa unitaria presentando una interfase distinta durante su descenso, describe la sedimentación de los lodos activados biológicos y los lodos químicos concentrados.

d) La sedimentación por compresión tiene lugar, por el peso de las partículas que se van añadiendo constantemente a la estructura, y está asociada con la sedimentación de lodos activados biológicos.

4.1.1 Sedimentación de partículas discretas y floculentas

En la sedimentación es necesario diferenciar entre partículas discretas, las cuales no cambian de tamaño, forma o masa, al descender en el líquido y floculentas, las cuales se aglomeran durante la sedimentación cambiando de tamaño y forma, por lo tanto no tienen características constantes.

El comportamiento de las partículas discretas en el clarificador ha sido rigurosamente estudiado por Camp, 1945 (29). Investigaciones hechas por Li y Ganczarczyk, 1987 (29), muestran que la velocidad de sedimentación de las partículas floculadas de lodo activado está en función del diámetro transversal de las mismas. Ossenbrug y Mc Intire; Patry G. y Takacs, 1992 (25) también han estudiado ampliamente el comportamiento de las partículas floculadas, teóricamente argumentan que la velocidad de sedimentación de éstas es independiente de la concentración, sin embargo, no es así para las condiciones prácticas.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas, la sedimentación floculenta ocurre cuando la velocidad de sedimentación se eleva, debido al contacto entre las partículas. El efecto de la floculación sobre la velocidad de sedimentación es más pronunciado cerca del fondo del tanque, por lo tanto, la fracción removida de partículas floculentas estará en función del tiempo de retención, de la carga superficial y de la profundidad. Por otra parte, la remoción de partículas discretas depende únicamente de la carga hidráulica superficial o

carga superficial, esto se debe a que tanto el tamaño de partículas como la velocidad de sedimentación, aparentemente no presentan cambio durante su descenso; lo anterior se muestra esquemáticamente en la fig. 4.1.

Profundidad del tanque

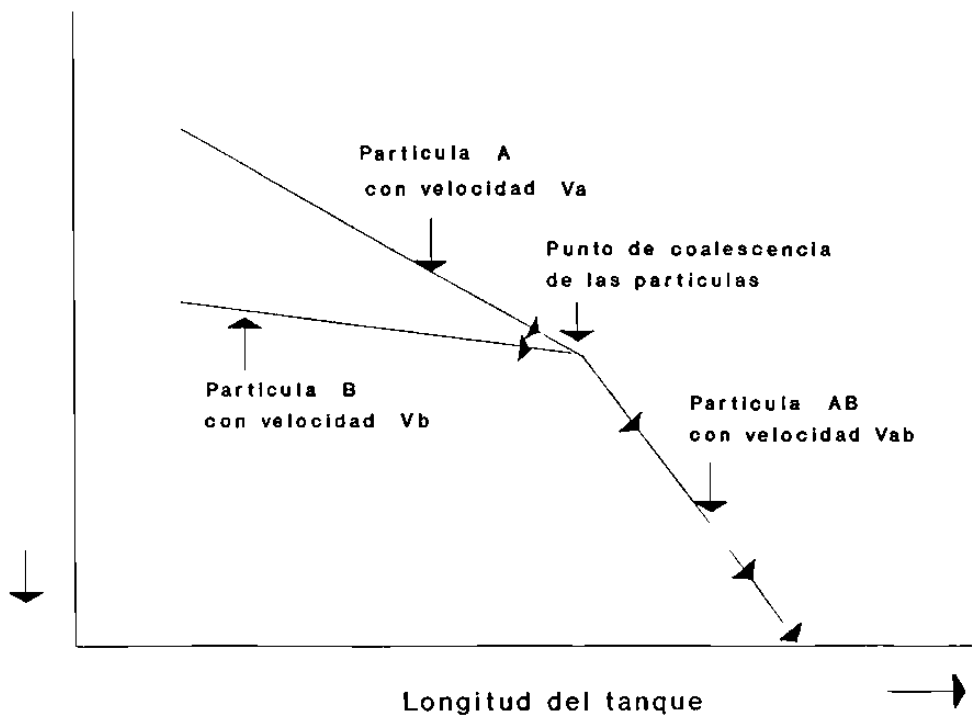


Fig. 4.1 Sedimentación de dos partículas que flocculan en un tanque de flujo horizontal

La mayoría de los sedimentadores se construyen para la separación de partículas aglomerables. Este fenómeno es mucho más complejo que el anterior por cuanto la velocidad de asentamiento, V_s , de los coágulos no es constante sino creciente con el tiempo, ya que éstos aumentan de tamaño con la profundidad. Por lo tanto, la eficiencia es función no solo de la carga superficial, sino también del período de detención. Por ésta razón, no se han

podido desarrollar ecuaciones matemáticas que describan ésta operación en forma aceptable y por consiguiente, se recurre a ensayos experimentales (6).

4.1.2 Sedimentación de una suspensión de alta concentración

Cuando una suspensión de alta concentración de sólidos suspendidos sedimenta, se suscitan los siguientes efectos (13,14), los cuales han sido observados durante ensayos en columnas de sedimentación:

- Las partículas se depositan colectivamente como una capa a una velocidad uniforme, manteniendo la misma posición relativa entre ellas y mostrándose una interfase distinta entre el lodo y el sobrenadante clarificado, esto es, se produce un volumen de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación zonal. La interfase desciende con una velocidad constante por cierto tiempo, las partículas dispersas relativamente ligeras que permanecen en esa región, se depositan como partículas floculadas.
- Una zona de transición se presenta, cuando la velocidad de descenso disminuye apreciablemente debido al incremento de la concentración de los sólidos.
- Cuando la capa elevada de sólidos que sedimentan alcanza la interfase, ocurre una compresión (compresión zonal) de la capa de partículas. Las partículas de esta región forman aparentemente una estructura en la que existe un contacto físico entre las mismas. Cuando se forma la capa de compresión, las regiones que contienen concentraciones de sólidos cada vez menores que las halladas en la región de compresión, se van desplazando hacia la parte superior de la columna de sedimentación.

4.2 CLARIFICACION Y ESPESAMIENTO

En los sedimentadores, el espesamiento ocurre en el fondo de tanque, mientras que la clarificación en la parte superior (zona de sedimentación libre), en la cual una suspensión uniforme de partículas en descenso produce un flujo clarificado. Los sólidos de la zona de clarificación pasan a la zona de espesamiento; como la concentración de los sólidos se incrementa, la velocidad de su descenso disminuye mientras que la velocidad del líquido incrementa. Todos los sólidos exhibirán una fuerza de resistencia a la compresión, aún cuando se encuentren en suspensión y no esten en contacto.

Es importante hacer mención de los principios básicos que diferencian la clarificación del espesamiento (2, 12).

4.2.1 Clarificación.

La clarificación es la separación de partículas sólidas y líquidas por su movimiento relativo, prescindiendo del cambio de concentración en el volumen que los contiene, esto es, el movimiento de las partículas es relativo al líquido pero no relativo una con otra..

La fuerza de arrastre del líquido a una velocidad relativa, depende de la forma y tamaño de las partículas, de la estructura del floc y de la concentración de sólidos.

En una buena operación de sedimentación, la concentración de sólidos en las capas descendentes del clarificador incrementan con la profundidad, debido a las fuerzas dinámicas que actúan en las partículas floculadas. Roth y Pinow, 1981 (29), en su estudio de distribución de tamaño de partículas, encontraron que las partículas floculadas en el efluente de clarificadores secundarios de plantas que funcionan mediante lodos activados, siguen una distribución logarítmica normal. Un estudio similar también fue realizado por Patry y Takacs, 1991, cuyos resultados muestran que el incremento en el flujo

superficial promedio y en el diámetro de las partículas resulta en grandes cantidades de sólidos.

4.2.2 Espesamiento.

El espesamiento es el incremento en la concentración de sólidos suspendidos, en el cual el movimiento de las partículas es relativo una con otra y no hay distorsión significativa de las partículas individuales, en la operación de asentamiento por gravedad. El espesamiento por gravedad es caracterizado por un fenómeno denominado de sedimentación retardada o zonal.

Según Dick y Ewing, las fuerzas de interacción física entre las partículas, que son apreciablemente fuertes en la región de sedimentación por compresión, disminuyen progresivamente con la altura (8,14). Pruebas de sedimentación por cargas fueron llevadas a cabo por Bharagova y Rajagopal (3), de las cuales se deriva que el comportamiento de la sedimentación en las zonas de transición y compresión, depende de la concentración inicial de los sólidos suspendidos y de la naturaleza de los materiales suspendidos presentes.

4.3 FUNDAMENTOS DE UN TANQUE DE SEDIMENTACION IDEAL

Los sedimentadores de flujo horizontal son comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales. La sedimentación con flujo horizontal se efectúa en tanques rectangulares o circulares, en los cuales la masa líquida se traslada de un punto a otro con una velocidad V_0 , mientras las partículas caen con una velocidad V_s (6).

Cuatro zonas pueden considerarse en una unidad de sedimentación:

1) zona de entrada, 2) zona de sedimentación, 3) zona de salida, 4) zona de lodos, las cuales se esquematizan en la fig. 4.2

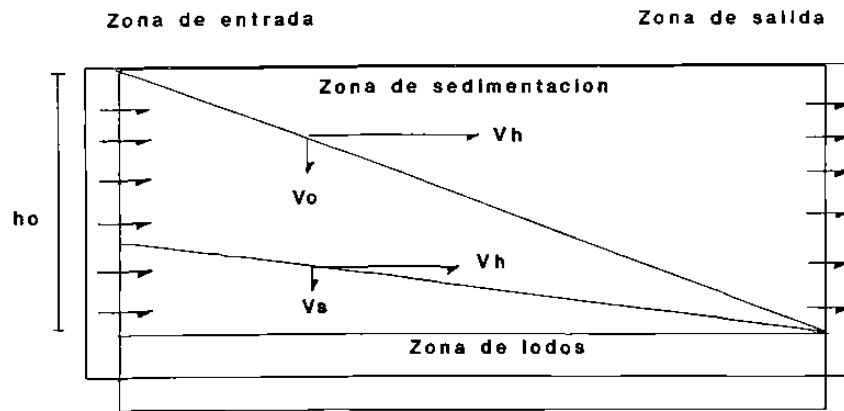


Fig. 4.2 Modelo del tanque de sedimentación ideal

- 1) En la zona de entrada el caudal afluyente junto con el material suspendido en él, se dispersan a través de la sección transversal en ángulo recto a la dirección del flujo.
- 2) En la zona de sedimentación, las partículas suspendidas se depositan por acción de la gravedad independientemente unas de otras. Al acercarse las partículas a la zona de lodos, éstas se apoyan unas con otras, formando mallas que se van compactando y la velocidad de sedimentación se reduce en forma considerable.
- 3) La zona de salida es aquella en la cual se recolecta la suspensión clarificada, descargando posteriormente en conducto del efluente. El tipo de estructura de salida determina en buena parte, la mayor o menor proporción de partículas que pueden ser resuspendidas en el flujo.
- 4) En la zona de lodos se recolectan los sólidos sedimentados bajo la zona de sedimentación. Los lodos se depositan de manera desuniforme en el fondo del sedimentador.

Cuando en la zona de sedimentación se presenta una reducción apreciable en la velocidad de asentamiento, recibe el nombre de sedimentación autointerferida. En la zona de sedimentación de los sedimentadores horizontales, casi no se presentan condiciones de sedimentación autointerferida. Debido a lo anterior, Hazen, 1904, y Camp, 1946 (21), introdujeron el concepto de "Tanque Ideal". El tanque ideal, como lo define Camp, es el "el decantador hipotético", en el cual la sedimentación se realiza en la misma forma que en un recipiente de igual profundidad conteniendo un líquido en reposo.

Esta definición se basa en las siguientes suposiciones:

- 1) La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos de la zona de sedimentación del tanque.
- 2) Al principio de la zona de entrada, la distribución de partículas de diversos tamaños es la misma en todos los puntos de la sección vertical.
- 3) Una vez que la partícula ha llegado a la zona de lodos queda removida.
- 4) Para un flujo dado, la remoción de las partículas suspendidas está en función de la CHS y es independiente de la profundidad.
- 5) La concentración de partículas suspendidas para cualquier sección transversal, aumenta con la profundidad de sedimentación y disminuye a medida que se acerca a la zona de salida.

En los clarificadores, la masa líquida se dirige de un extremo a otro con movimiento uniforme y velocidad constante V_0 , mientras que las partículas caen con una velocidad V_s .

En un tanque de sedimentación ideal, éstas zonas están perfectamente delimitadas.

Para una partícula con velocidad V_s que llega a la zona de sedimentación, el tiempo en el cual llega al fondo del tanque, es igual al tiempo teórico de retención, como se muestra en la ec 4.1 .

$$t_o = V_c/Q \dots\dots\dots(4.1)$$

donde:

V_c = volumen del clarificador

Q = caudal de diseño

Como el volumen es igual al área superficial A , multiplicada por la profundidad h , del tanque tenemos:

$$t_o = Ah/Q = h/QA = h/V_s$$

$$V_s = h/t_o = h/Ah/Q = Q/A$$

$$V_s = Q/A \dots\dots\dots (4.2)$$

A la relación Q/A se le conoce como "velocidad de derrame" del tanque sedimentador y es correspondiente, a la velocidad de las partículas que son completamente removidas de la masa de agua durante su trayecto a través del clarificador. Esto supone utilizar un tanque de gran área y poca profundidad, pues de la ec. 4.2 se deduce, que la eficiencia de la sedimentación sea función más bien del area que de la profundidad.

CAPITULO 5

UNIDADES DE CLARIFICACION

5. UNIDADES DE CLARIFICACION

La misión del tanque de sedimentación del lodo activado es separar los sólidos del lodo del licor mixto (21). Se trata del último paso en la consecución de un efluente bien clarificado, estable, de bajo contenido en DBO y sólidos suspendidos y como tal, representa un punto crítico en la operación de un proceso de tratamiento de lodos activados. La presencia de un gran volumen de sólidos floculentos en el licor mixto, exige prestar una atención especial al diseño de los tanques de sedimentación del lodo activado. Estos sólidos tienden a formar una capa del lodo en el fondo del tanque, cuyo espesor variará según las circunstancias. Dicha capa puede ocupar toda la profundidad del tanque y rebosar por los vertederos en momentos de caudales punta, si la capacidad del retorno de lodo fuese inadecuada.

En la mayoría de los modelos de clarificación actuales reportados en la literatura, que están basados en un análisis estadístico de datos de plantas a escala completa, se incluyen diversos parámetros tales como flujo promedio afluente, SSLM, TRS, TRH y flujo promedio de aeración.

5.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE LAS UNIDADES DE CLARIFICACION

Diversos estudios acerca de las características hidráulicas para el diseño de tanques de sedimentación, han sido evaluados y utilizados desde 1927, sin embargo, tales investigaciones no proporcionan información clara acerca de la distribución del flujo dentro del clarificador (30). En general, tratándose de aguas residuales domésticas, y/o combinadas con aguas residuales industriales, el funcionamiento de los tanques de sedimentación depende principalmente de los siguientes factores:

características del agua residual, tiempo de retención, profundidad del tanque, área del tanque y velocidad de salida, temperatura, tamaño de las partículas, pretratamiento, variaciones en el caudal, longitud del depósito, diseño de la entrada y salida, velocidad de sedimentación de las partículas (CHS), densidad de las partículas, eliminación de lodos (por sedimentación).

5.1.1 Características de sedimentabilidad del lodo en el clarificador

Debe prestarse especial atención, a la selección de una profundidad que proporcione el volumen necesario para las instalaciones de sedimentación secundarias. Los factores los cuales influyen las propiedades de sedimentación y clarificación del floc, deben ser consideradas también en el diseño y operación de las plantas.

En general, el área necesaria para la *clarificación* debe basarse en la carga superficial, equivalente de la partícula más pequeña que vaya a eliminarse del líquido clarificado, en las zonas superiores del tanque de sedimentación. A menudo, la velocidad de sedimentación que se adopta en el proyecto a efecto de la clarificación, es la velocidad de sedimentación de la interfase deducida de ensayos de columna, con lodos de concentraciones similares a la cual opera la planta. Esta velocidad es generalmente mucho mayor que la necesaria, para eliminar las partículas ligeras que normalmente se encuentran en el efluente de las plantas de lodos activados; si se quiere eliminar las partículas ligeras, debe preverse un volumen adecuado en la zona de clarificación del tanque (21).

El área necesaria para el *espesamiento* del licor mixto, depende del "flujo límite de sólidos" que puede transportarse hasta el fondo del tanque de sedimentación. Aunque este flujo varía con las características del lodo deben llevarse a cabo los ensayos mencionados, para determinar la relación entre la concentración del lodo y la velocidad de sedimentación.

Los sólidos del lodo activado tienen un peso específico tan próximo al del agua, que el incremento de densidad y viscosidad del agua en época de

invierno, afectan adversamente las propiedades de sedimentabilidad del lodo. Estas propiedades pueden en ocasiones llegar a variar debido a: 1) los cambios en cantidad y en peso específico de los sólidos suspendidos, que atraviesan los tanques de sedimentación, 2) al carácter y cantidad de residuos industriales contenidos en el agua residual y, 3) a la composición microbiana del flóculo.

Algunos sólidos son llevados a la superficie debido a que no tuvieron tiempo de sedimentar mientras el flujo superficial se dirige al exterior. Una concentración muy alta en el flujo del fondo puede ser causa de sobrecarga, aún cuando la capacidad de clarificación no sea excedida.

Por las razones antes expuestas, los criterios de diseño deben ser conservadores para prever, que no se produzcan pérdidas intermitentes de sólidos del lodo en el efluente.

5.1.2 Carga hidráulica superficial y carga superficial de sólidos

La capacidad de un sedimentador secundario para la clarificación y espesamiento de los sólidos, puede determinarse en la actualidad a partir de información correspondiente a la carga hidráulica superficial (CHS) y carga superficial de sólidos (CSS).

Por lo regular, las instalaciones de sedimentación suelen proyectarse sin haber efectuado ensayos de sedimentación, recurriendo al uso de cargas de superficie y de sólidos reportados en la bibliografía existente. La tabla 5.1 muestra la información típica de diseño correspondiente para dimensionar los sedimentadores secundarios (21).

La *carga de superficie*, es equivalente a una velocidad de flujo ascendente, se expresa en m^3 de agua residual por m^2 de superficie del tanque y por día. El caudal del lodo de retorno es extraído por el fondo del tanque y no contribuye a dicha velocidad del flujo, ec. 5.1.

$$CHS = Q/A \dots\dots\dots (5.1)$$

donde:

Q = caudal de entrada al clarificador, m³/día

A = área del clarificador, m²

La *carga de sólidos* representa un valor característico de la suspensión y puede calcularse dividiendo, el total de sólidos aplicados en el área superficial del tanque y el tiempo. Se expresa en Kg por m² y por día ó bien, en Kg por m² y por hora ec. 5.2.

$$CSS = \frac{(Q + Q_r) (X)}{A} \dots\dots\dots (5.2)$$

donde:

Q_r = caudal de recirculación de los lodos, m³/día

X = concentración de sólidos suspendidos totales en el tanque de aeración (SSLM), g/m³

Cuando la concentración de sólidos del licor mixto, aumenta por arriba de 2000 mg/L, la superficie necesaria del tanque puede depender de las propiedades del lodo en la sedimentación zonal y de la carga de sólidos, en vez de la carga de superficie. Se ha observado que en un tanque de sedimentación de un área superficial determinada, la calidad del efluente empeorará, si la carga de sólidos se incrementa más allá del valor característico de la suspensión (21,5).

La relación entre la carga de sólidos y la carga de superficie, basados en el caudal del licor mixto, muestran en base a estudios realizados, que para una carga constante de sólidos, la carga superficial debe reducirse cuando aumente la concentración de SSLM (21).

Tabla 5.1 Información típica para diseño de tanques clarificadores secundarios (Metcalf-Eddy, 1985), (21)¹

Tipo de tratamiento	CHS* m ³ /m ² día		CSS** Kg/m ² h		Profundidad metros
	Flujo Promedio	Flujo Pico	Flujo Promedio	Flujo Pico	
Sedimentación enseguida de lodos activados (aire) excluyendo aereación extendida.	16-32	40-48	3.0-6.0	9.0	3.5-5
Sedimentación enseguida de aereación extendida	8-16	24-32	1.0-5.0	7.0	3.5-5

¹ La información contenida en ésta tabla no debe emplearse para diseño, a menos que no estén disponibles los datos de pruebas de sedimentación en columnas o datos de campo, específicos para el agua por tratar.

* En cuanto a la carga hidráulica superficial: para el cálculo del área, se deben tomar los datos de flujo de entrada al tanque, sin considerar el gasto de retorno de lodos (no emplear el gasto del licor mixto).

** Las cargas superficiales de sólidos, generalmente están gobernadas por las características de sedimentabilidad del lodo, en operaciones de tiempo de frío. Para el cálculo del área, se debe tomar en cuenta, además del flujo de entrada al tanque, el gasto de retorno de los lodos.

CAPITULO 6

PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO

DE SEDIMENTACION EN COLUMNA

Y ESTIMACION

DE CONDICIONES DE TRABAJO

6. PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO DE SEDIMENTACION EN COLUMNA Y ESTIMACION DE CONDICIONES DE TRABAJO.

6.1 ESTUDIOS DE SEDIMENTACION EN COLUMNA

Cuando se tienen aguas residuales municipales para ser tratadas por el proceso de lodos activados, la bibliografía recomienda llevar a cabo estudios previos de sedimentación en columna, para evaluar las características de sedimentabilidad del licor mixto, en las cuales la sedimentación zonal y por compresión juegan un papel primordial, así como para obtener parámetros de diseño del sedimentador, ya que existen casos en que las variables de proceso tales como SSLM y TRS, quedan fuera del intervalo conocido y experimentado, cuando se utilizan factores cuyas condiciones de funcionamiento no corresponden a las requeridas. (21, 30, 14, 18).

El procedimiento de ensayos modelado por Camp, 1946 (10), se basa en registro de las alturas de sedimentación de la interfase del lodo a diferentes tiempos, ésta técnica se ha renovado continuamente por estudios más recientes, que sugieren que el equipo de pruebas requerido refleje las condiciones del flujo en el tanque a escala completa.

Un método desarrollado por Coe y Clevenger, Yoshioka y Cols, Dick y Young (21), que se basa en el análisis del flujo de masa de los sólidos en el tanque de sedimentación, requiere ensayos de sedimentación en columna; así, el flujo de sólidos debido a la sedimentación por gravedad, está dado como el producto de la concentración de sólidos (SSLM), y la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas (V_s), ec. 6.1.

$$SFG = C_i \cdot V_i / (1000 \text{ g/kg}) \dots\dots\dots (6.1)$$

donde:

SFG = Flujo de sólidos debido a la gravedad, Kg/m² . h.

C_i = Concentración de sólidos en el punto de que se trate, g/m³.

V_i = Velocidad de sedimentación de sólidos con concentración C_i, m/h

Diversos modelos han sido sugeridos para describir la velocidad de sedimentación del licor mixto, el más utilizado es el propuesto por Talmadge y Fitch (15), en el cual se hace uso de la curva de sedimentación correspondiente a la altura de la interfase vs el tiempo. Uno de los modelos más ampliamente aceptados es el modelo de Vesilind, 1968 (29), ec. 6.2, el cual es de aplicación solamente para condiciones de sedimentación zonal, fue usado por Hill y Vitasovic's (1968) con buenos resultados.

$$V_i = V_o e^{-x} \dots\dots\dots (6.2)$$

donde:

V_o = Velocidad de sedimentación máxima, m/h

e = parámetro del modelo.

Estos estudios son importantes de tomarse en cuenta en el diseño de los sedimentadores, debido a que en algunos casos las variables del proceso, tales como la concentración de sólidos suspendidos totales del licor mixto (SSLM), la edad del lodo o tiempo de retención de sólidos (TRS), la relación alimento-microorganismos (F/M) y el tiempo de residencia hidráulico (TRH), quedan fuera del intervalo conocido y experimentado (21).

Dick y Ewin, Vesilind y Dick, Scott (11) y otros investigadores, aprueban que las pruebas de sedimentación y espesamiento en el laboratorio podrían ser

conducidas en columnas, con suficiente profundidad y amplitud (90 cm de altura y 11.4 cm de diámetro), provistas de agitación suave en el rango de 4-6 rev/h, para determinar aproximadamente las características de funcionamiento obtenidas en espesadores a escala completa (16,19).

Morris J. y colaboradores, 1989 (22) realizaron ensayos de sedimentación por cargas en columnas de sedimentación de acrílico, utilizando diversas concentraciones de lodo activado, las pruebas fueron realizadas por un período de 2-4 días en cada una de las tres plantas de tratamiento, que se estudiaron en condiciones estables de funcionamiento.

6.1.1 Análisis de la sedimentación zonal

La información requerida para el desarrollo de criterios básicos de diseño, para un tanque de sedimentación secundario en un sistema de lodos activados, puede ser obtenida de un análisis de sedimentación por cargas, como se describe a continuación (1, 14, 15, 19).

1. Una cantidad determinada de licor mixto del reactor biológico, es vertida a la columna graduada. Deben ser estudiadas diversas concentraciones de sólidos

Cada columna de prueba debe estar provista de agitación lenta, simulando la acción de barrido en el prototipo (a escala completa). La velocidad de barrido puede ser mantenida a aproximadamente 5 rev./h.

2. Los sólidos de cada prueba deben mezclarse suavemente para obtener homogeneidad y permitir que sedimenten bajo condiciones normales.

3. La interfase se formará y su posición (altura) con respecto al tiempo de sedimentación, es registrada. Usualmente toma de 20 a 45 minutos del asentamiento a la compresión.

4. Las condiciones de la curva de sedimentación para cada concentración de SSLM, pueden ser analizadas usando la aproximación de Talmadge y Fitch y

así obtener, la velocidad de sedimentación correspondiente a cada concentración.(14).

5. Para cada concentración el flujo de sólidos es calculado, como el producto de la concentración de sólidos y la correspondiente velocidad de sedimentación, método de Coe y Clevenger et. al. (21). El uso de la curva de flujo de sólidos es necesaria para obtener el flujo límite, a la concentración deseada del caudal del lodo del fondo (19).

6.1.2 Procedimiento gráfico del análisis de flujo de sólidos

El procedimiento gráfico del flujo de sólidos debido a la gravedad, en función de la concentración de sólidos, se muestra a continuación con un ejemplo, a partir de las pruebas de sedimentación correspondientes a la planta del municipio de Montemorelos, de la cual se hace mención en el punto 6.2.3 de éste capítulo.

6.1.2.1 Velocidad de sedimentación de las partículas

6.1.2.1.1 Obtener las velocidades de sedimentación zonal deducidas de cada ensayo de sedimentación en las columnas, con suspensiones de diferentes concentraciones.

1) a partir de los datos de la tabla 6.1, graficar la altura de la interfase en la columna en función del tiempo para diferentes concentraciones de sólidos como se muestra en las figs. 6.1. (1 a 4).

2) la porción de la línea recta de la curva resultante es usada para determinar la velocidad de sedimentación para cada concentración. Los datos de la velocidad obtenidos de este ejemplo, se muestran en la tabla 6.2.

Velocidad de sedimentación (V_s) = altura/tiempo

6.1.2.1.2 Obtener los datos de la velocidad de sedimentación zonal en $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (CHS), (los obtenidos en éste caso se muestran en la tabla 6.3) y, graficar con respecto a la concentración correspondiente de sólidos suspendidos para cada prueba, como se muestra en la figura 6.2.

6.1.2.1.3 Obtener los valores correspondientes de la CHS, a partir de la figura 6.2, interpolando las concentraciones deseadas de sólidos suspendidos del licor mixto, en éste caso (y para todas las plantas estudiadas), para valores de 1000, 2000, 3000 y 4000 g/m^3 , como se muestra en la tabla 6.4.

6.1.2.2 Flujo de sólidos

6.1.2.2.1 Graficar el logaritmo de las velocidades de sedimentación zonal obtenidas en m/h (tabla 6.2 ó 6.3), con respecto al logaritmo de la concentración correspondiente de sólidos suspendidos para cada prueba. De aquí resulta la curva mostrada en la fig. 6.3.

1) Utilizando los datos de la curva de la fig. 6.3, obtener los datos necesarios (en este caso mostrados en la tabla 6.5), para desarrollar la curva de flujo de sólidos, utilizando la ec. 6.1.

$$\text{SFG} = C_i \cdot V_i / (1000 \text{ g/kg})$$

C_i = Concentración de sólidos, g/m^3 .

V_i = Velocidad de sedimentación de sólidos, m/h

6.1.2.2.3. Graficar el valor calculado del flujo de sólidos respecto a la concentración correspondiente.

1) Representar los valores del flujo de sólidos obtenidos, respecto a la concentración, fig. 6.4.

6.1.2.2.4 Obtener los valores correspondientes del flujo de sólidos (CSS) de la fig 6.4, trazando tangentes a la curva para las concentraciones del lodo del fondo deseadas, en este caso (y para todas las plantas estudiadas) para valores de 4000; 6000; 8000; y $10,000 \text{ g/m}^3$. como se indica en la tabla 6.6.

Tabla 6.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo.
Planta de tratamiento: Montemorelos

Altura de la interfase sólido-líquido (cm), a la concentración C_0 (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo, minutos	$C_0 = 2085$ mg/L	$C_0 = 4070$ mg/L	$C_0 = 4770$ mg/L	$C_0 = 5280$ mg/L
12/ago/93	0	90	90	90	90
	1	89.8	90	90	90
	2	89.5	90	90	90
	3	89	89.8	89.8	90
	5	80	89.5	89.2	89.8
	10	65	85	87	89.3
	15	40	82	86	88
	20	30	69	78.3	86
	30	23	47	58.5	66.2
	45	18	37	42.2	51
	60	15	30	34.2	42.5
	90	9.5	21.4	26.5	32.5
120	8.5	17.5	22	27	
fecha	Tiempo	$C_0 = 3690$	$C_0 = 5185$	$C_0 = 6135$	$C_0 = 7635$
16/ago/93 1er muestreo	1	90	90	90	90
	2	89.7	89.8	90	90
	3	89.3	89.8	90	90
	5	5	89.3	90	90
	10	84	87	89.3	89.6
	15	73	86	87.7	88
	20	64	81.2	84.7	87
	30	50	68	72	86
	45	36.5	50.5	50.7	77.6
	60	27.5	39	42.5	66
	90	19	32	35.5	45.9
	120	15.8	20.7	25.7	35.7

Datos correspondientes a la (s) figura (s) 6.1

continúa

Tabla 6.1 continuación

Planta de tratamiento Montemorelos

Altura de la interfase sólido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 3635 mg/L	Co = 5495 mg/L	Co = 6555 mg/L	Co = 7015 mg/L
16/ago/93 2do muestreo	0	90	90	90	90
	1	88.7	90	90	90
	2	88.3	90	90	90
	3	88	90	90	90
	5	86	89.5	89.8	90
	10	80	89	89	89.5
	15	67.3	87.5	88.6	89
	20	49.3	82	86	86.7
	30	37.5	66.2	75.6	78.3
	45	28.5	49.3	54	57.3
	60	23.5	38.5	44.3	51
	90	15.2	28	33.5	36
120	14	23	27.2	3	
Fecha	Tiempo	Co = 3635	Co = 5495	Co = 6555	Co = 7015
8/dic/93	0			9	9
	1			9	10
	2	89	90	90	90
	3	88	90	90	90
	5	80	88.7	90	90
	10	67	86	89	89.3
	15	55	73	87.7	88
	20	4	61.5	82	87
	30	24	48	64	83.5
	45	17.5	37.5	46	67.5
	60	14.4	3	37	51.5
	90	1	23	28	35.3
	120	10	19.5	21.8	29.5

MONTEMORELOS

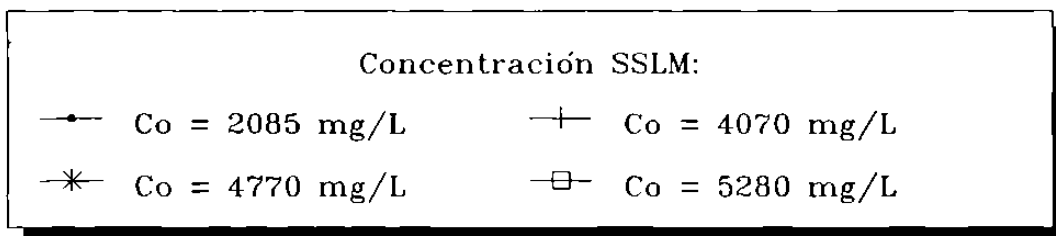
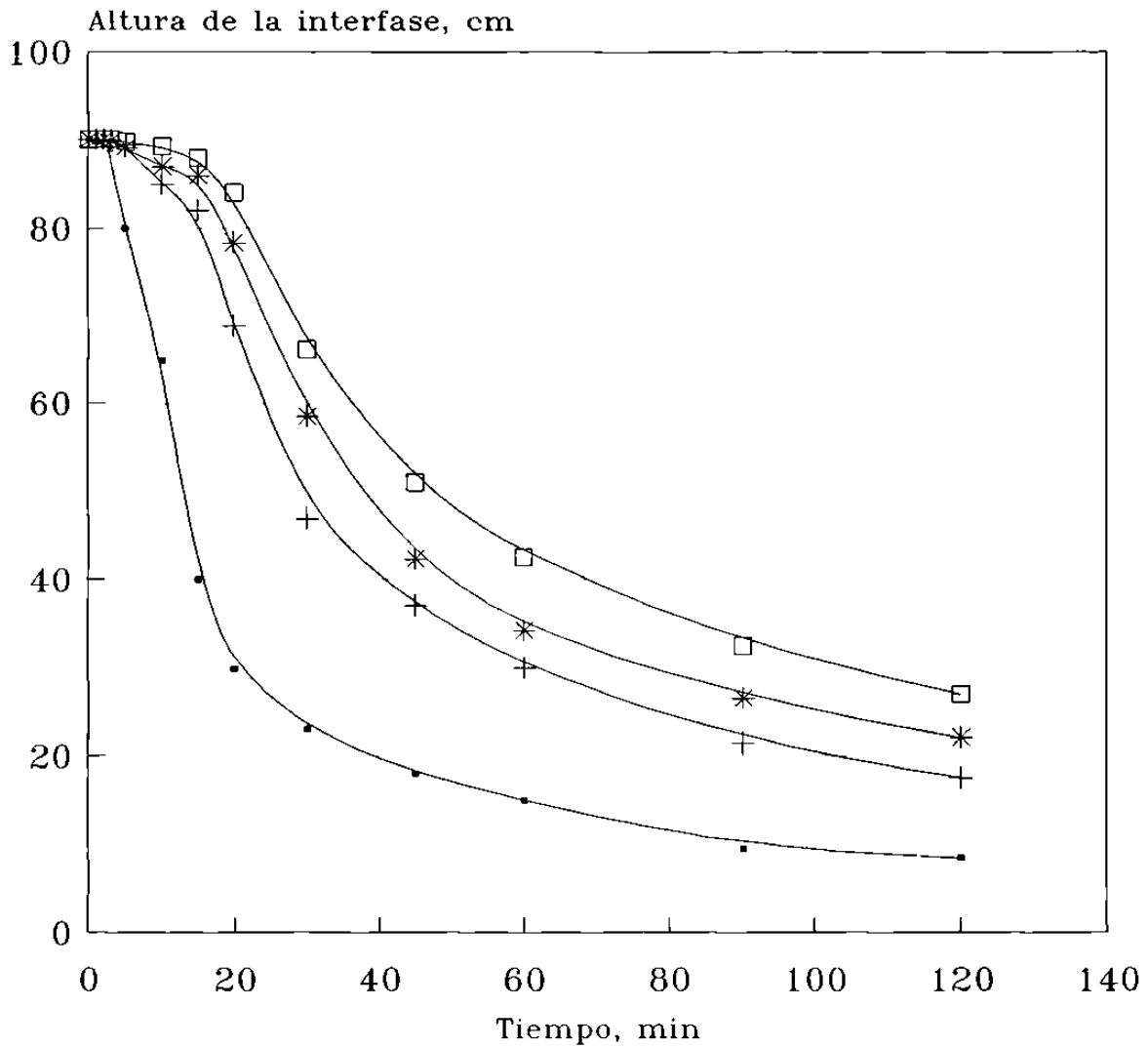
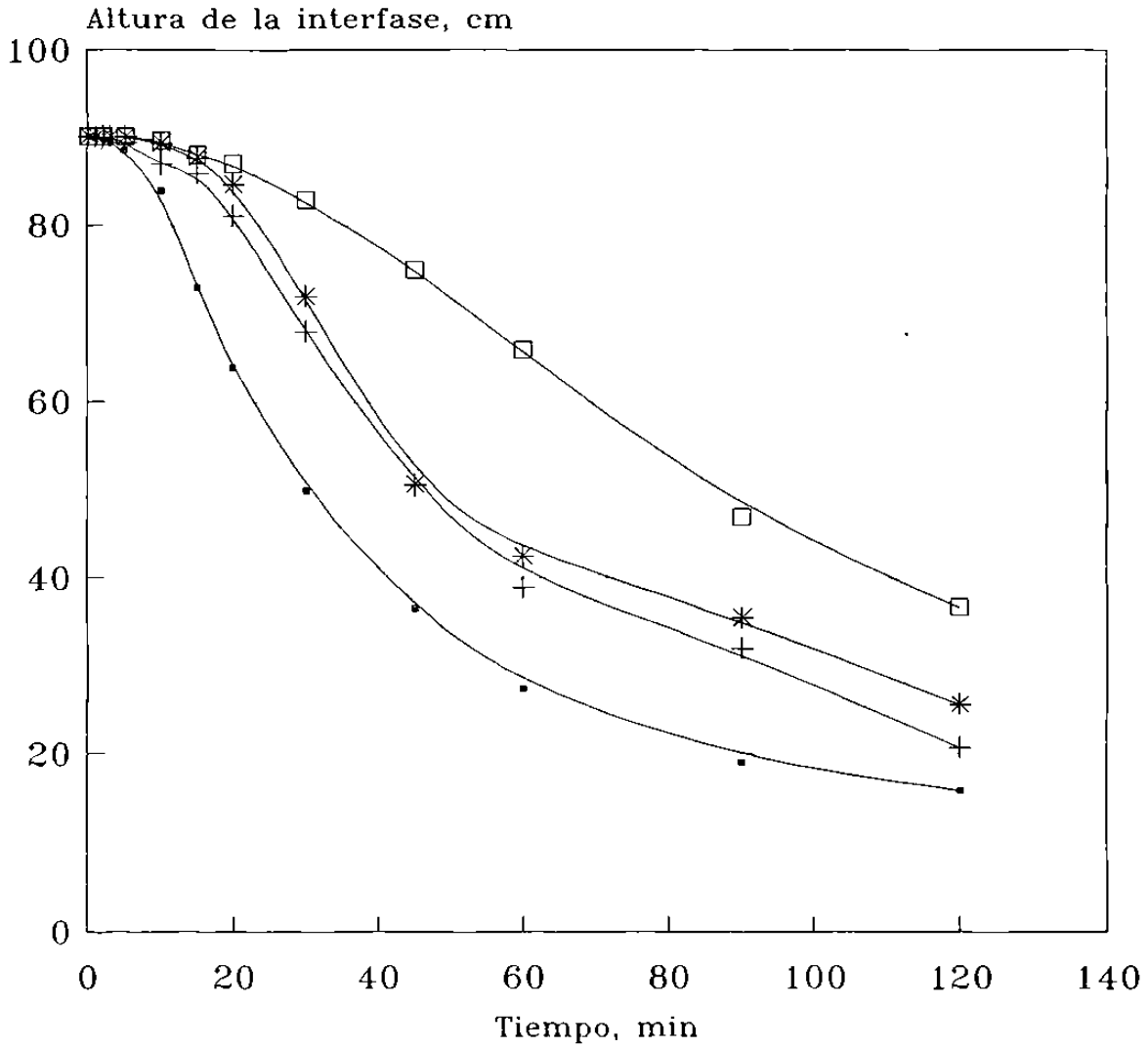


Fig. 6.1 (1) Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 6.1 Correspondiente a la Tabla 6.2

102112237

MONTEMORELOS

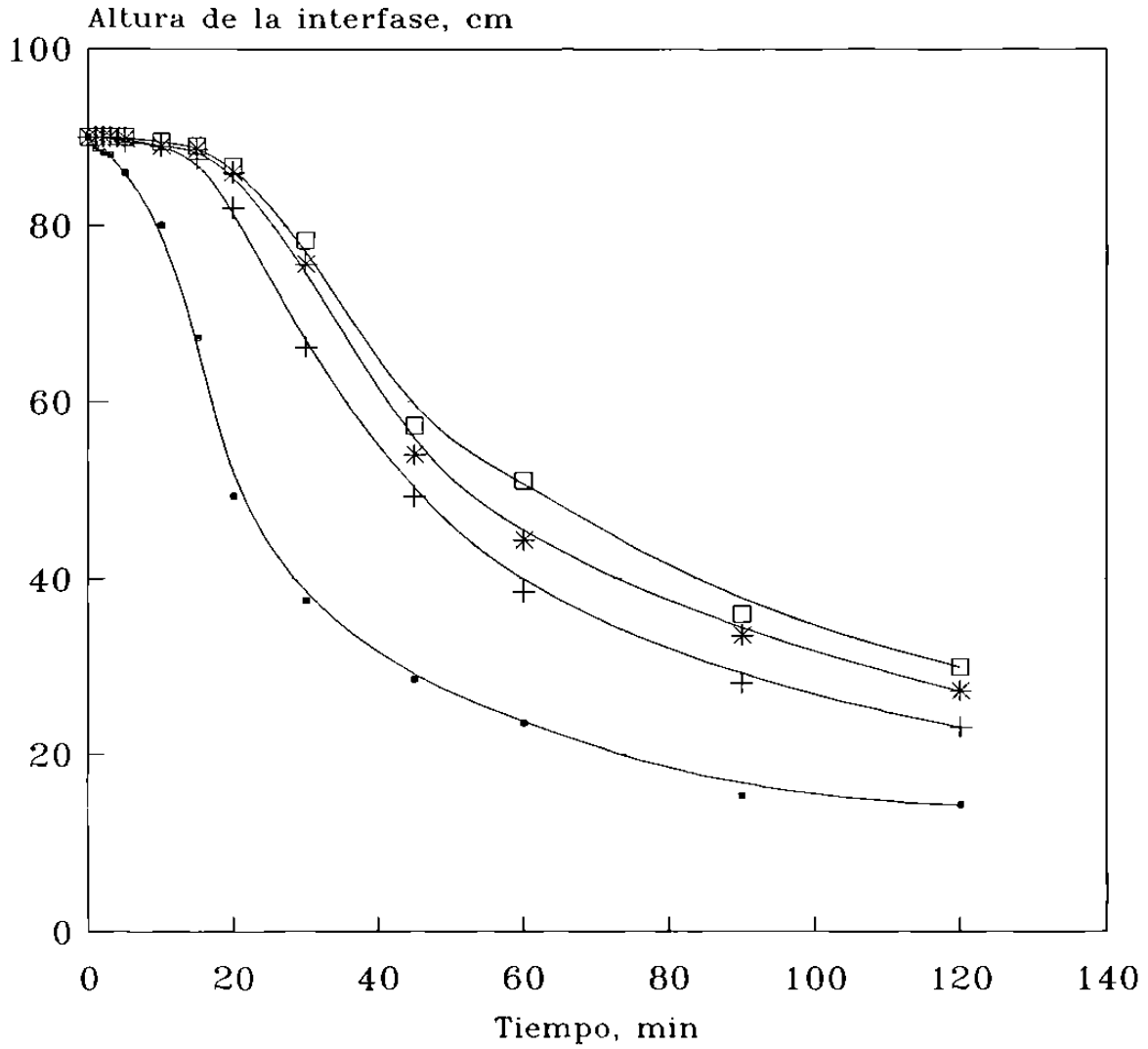


Concentración SSLM:	
—●— Co = 3690 mg/L	—+— Co = 5185 mg/L
—*— Co = 6135 mg/L	—□— Co = 7635 mg/L

Fig. 6.1 (2) Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: tabla 6.1 Correspondiente a la Tabla 6.2

MONTEMORELOS

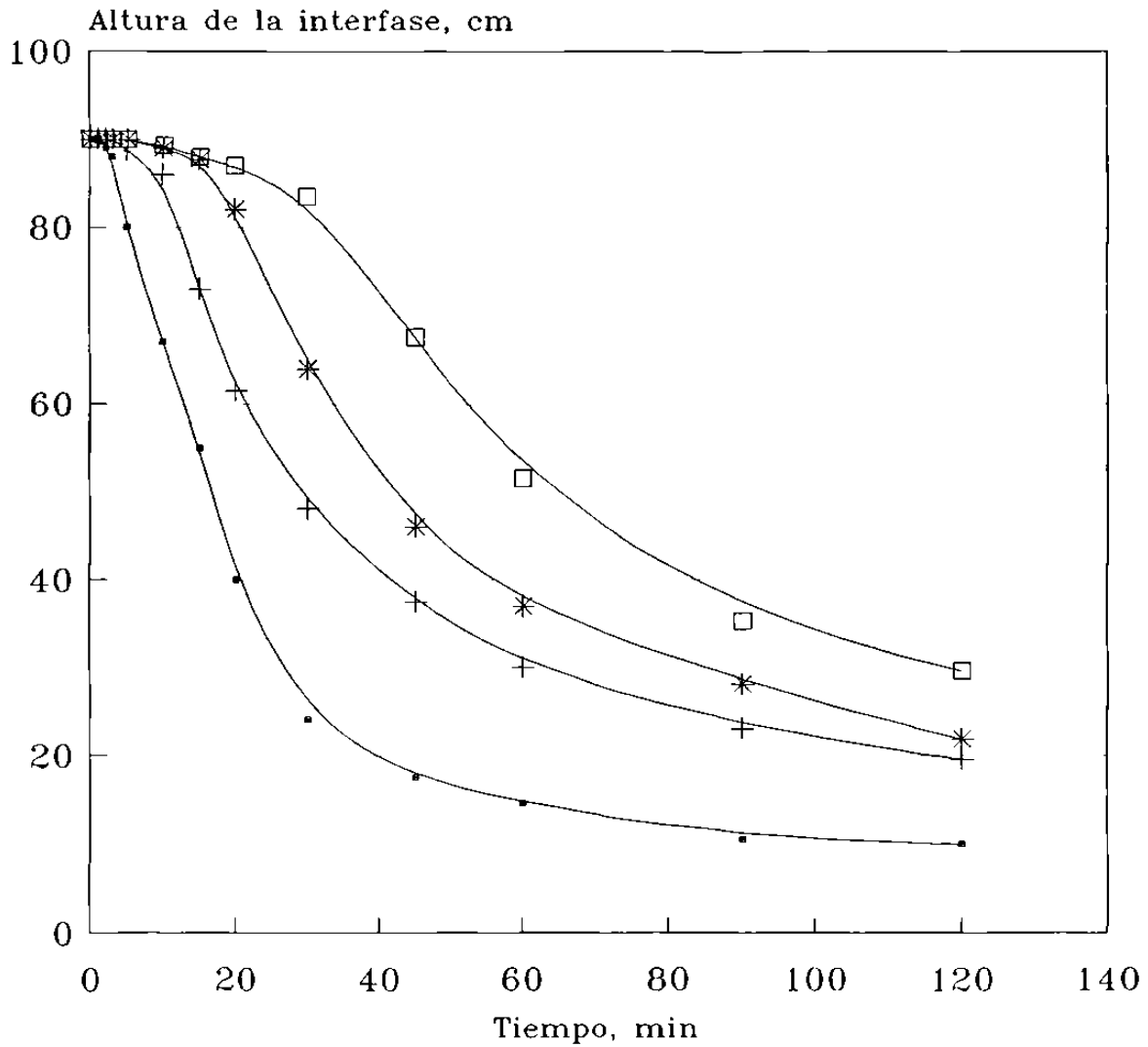


Concentración SSLM	
—●— Co = 3635 mg/L	—+— Co = 5495 mg/L
—*— Co = 6555 mg/L	—□— Co = 7015 mg/L

Fig. 6.1 (3) Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: tabla 6.1 Correspondiente a la Tabla 6.2

MONTEMORELOS



Concentración SSLM:			
—●—	Co = 3690 mg/L	—+—	Co = 8168 mg/L
—*—	Co = 8586 mg/L	—□—	Co = 11860 mg/L

Fig. 6.1 (4) Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: tabla 6.1 Correspondiente a la tabla 6.2

Tabla 6.2 Datos de la velocidad inicial de sedimentación para cada prueba, a la concentración dada de sólidos .

SST (mg/L)	Velocidad de sedimentación zonal en cm/min y (m/h)							
	12/ago/93		16/ago/93 ¹		16/ago/93 ²		8/dic/93	
2085	3.9	(2.34)	-	-	-	-	-	-
4070	2.33	(1.39)	-	-	-	-	-	-
4770	1.93	(1.16)	-	-	-	-	-	-
5280	1.55	(0.93)	-	-	-	-	-	-
3690	-	-	1.78	(1.07)	-	-	-	-
5185	-	-	1.35	(0.81)	-	-	-	-
6135	-	-	1.3	(0.78)	-	-	-	-
7635	-	-	0.55	(0.3)	-	-	-	-
3635	-	-	-	-	2.9	(1.74)	-	-
5495	-	-	-	-	1.42	(0.85)	-	-
6555	-	-	-	-	1.3	(0.78)	-	-
7015	-	-	-	-	1.23	(0.74)	-	-
3690	-	-	-	-	-	-	2.7	(1.62)
8165	-	-	-	-	-	-	2.3	(1.38)
8585	-	-	-	-	-	-	1.55	(0.93)

¹ Primer muestreo

² Segundo muestreo

Fuente: Figs. 6.1. Datos correspondientes a la tabla 6.3

Tabla 6.3 Datos de la carga hidráulica superficial (CHS) para cada prueba, a la concentración dada de sólidos .

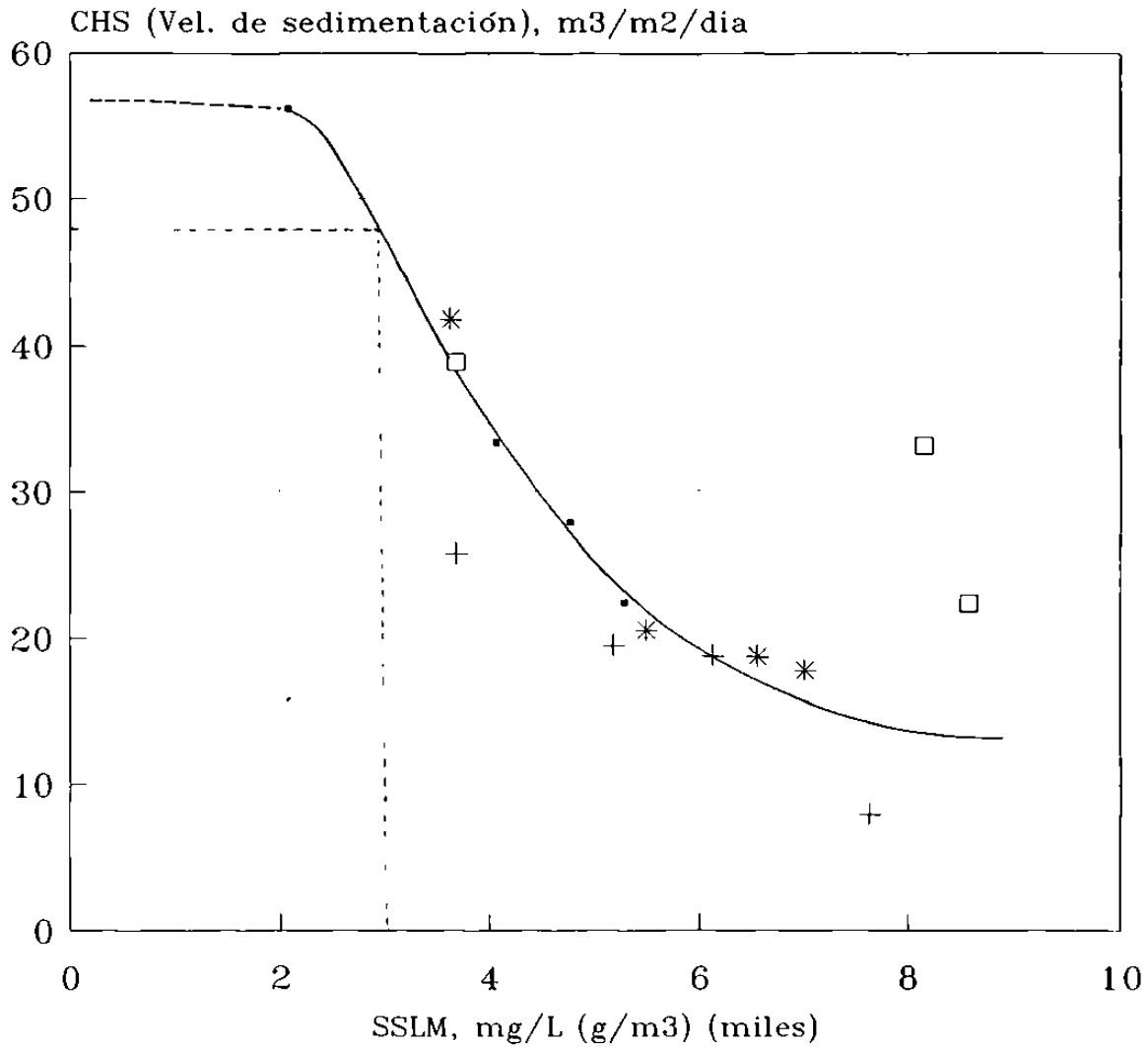
SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	**CHS (m ³ /m ² /día)
2085	(2.34)	56.16
4070	(1.39)	33.36
4770	(1.16)	27.84
5280	(0.93)	22.32
3690	(1.07)	25.68
5185	(0.81)	19.44
6135	(0.78)	18.72
7635	(0.33)	7.92
3635	(1.74)	41.76
5495	(0.85)	20.4
6555	(0.78)	18.72
7015	(0.74)	17.76
3690	(1.62)	38.88
8165	(1.38)	33.12
8585	(0.93)	22.32

*Vel sed. = Velocidad de sedimentación

Fuente: Tabla 6 2. Datos correspondientes a las figuras 6.2, 6.3

** CHS = Vel sed (m/h) x 24 (h/día)

MONTEMORELOS



Fecha de muestreo:	
▪ 12/ago/93	+ 16/ago/93 *
* 16/ago/93 **	□ 8/dic/93

Fig. 6.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos.

* 1er muestreo ** 2do muestreo

Fuente: Tabla 6.3

Correspondiente a la tabla 6.4

Tabla 6.4 Datos correspondientes a la carga hidráulica superficial a la concentración deseada de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM), del área de clarificación.

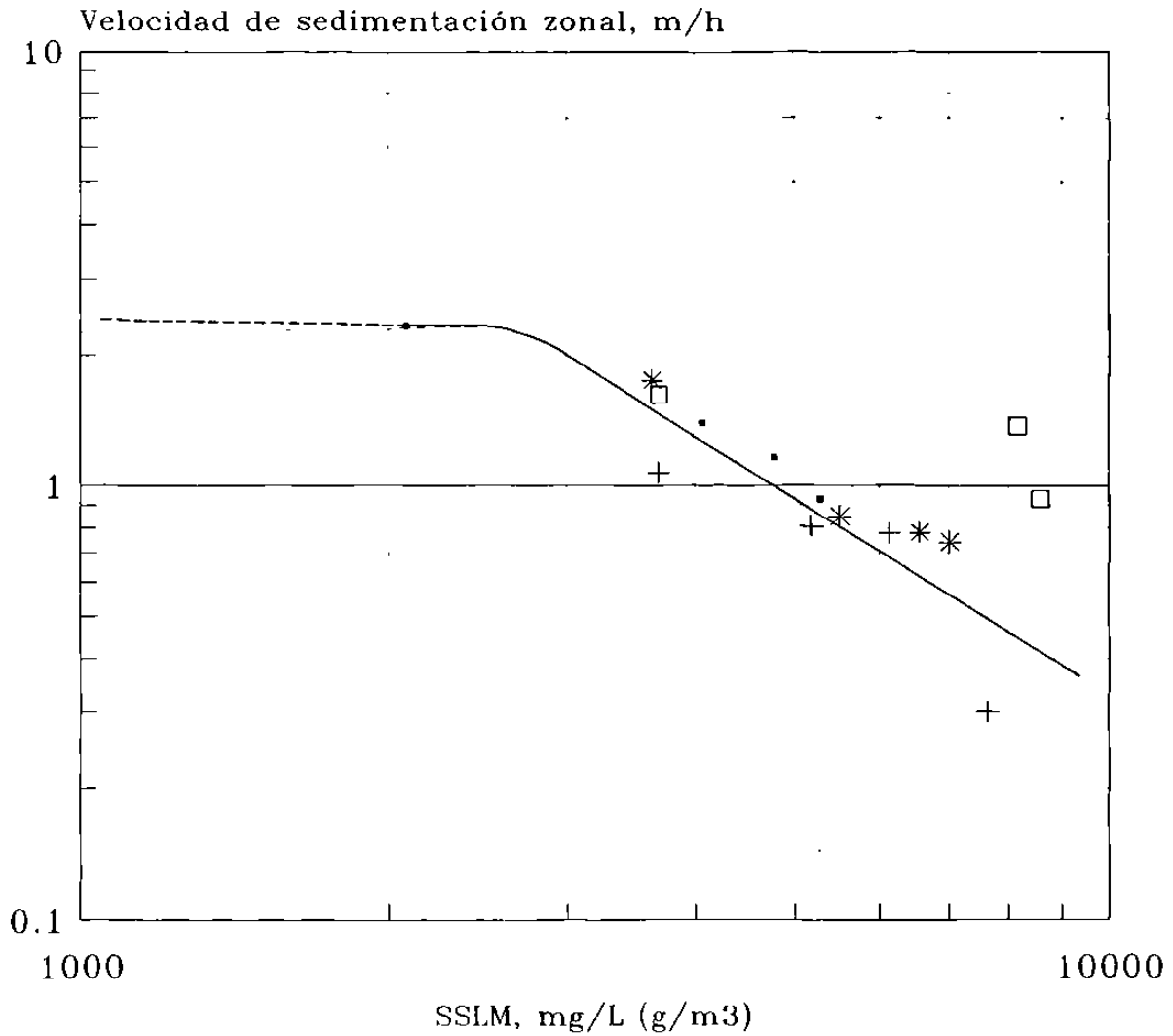
SSLM (g/m ³)	CHS (m ³ /m ² /d)
1000	57*
2000	56
3000	48
4000	35

*Valor aproximado, debido a la baja concentración de SSLM (ver fig. 6.2)

Fuente: Figura 6.2

NOTA: Estos datos forman parte de la tabla 7.1 del capítulo 7.

MONTEMORELOS



Fecha de muestreo:	
▪ 12/ago/93	+ 16/ago/93 *
* 16/ago/93 **	□ 8/dic/93

Fig. 6.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos suspendidos.

* 1er muestreo ** 2do muestreo

Fuente: tabla 6 3

Correspondiente a la tabla 6 5

Tabla 6.5 Datos de la velocidad de sedimentación para cada prueba a la concentración deseada de sólidos .

SSLM mg/L	Vel. sed ¹ . m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² / h
1000	2.45	2.45
1500	2.44	3.66
2000	2.35	4.7
2500	2.30	5.75
3000	2.0	6
3500	1.60	5.6
4000	1.30	5.2
4500	1.10	4.95
5000	0.90	4.5
5500	0.78	4.29
6000	0.70	4.2
6500	0.62	4.03

¹Vel. sed. = Velocidad de sedimentación. Los datos obtenidos son el resultado de interpolar en la curva de la fig. 6.3, la concentración dada de SSLM.

Fuente: Figura 6.3 Datos correspondientes a la figura 6.4

$$SFG^* = C_i \cdot V_i / (1000)$$

(g/m³) (m/h)/(g/kg)

* Flujo de sólidos debido a la gravedad

MONTEMORELOS

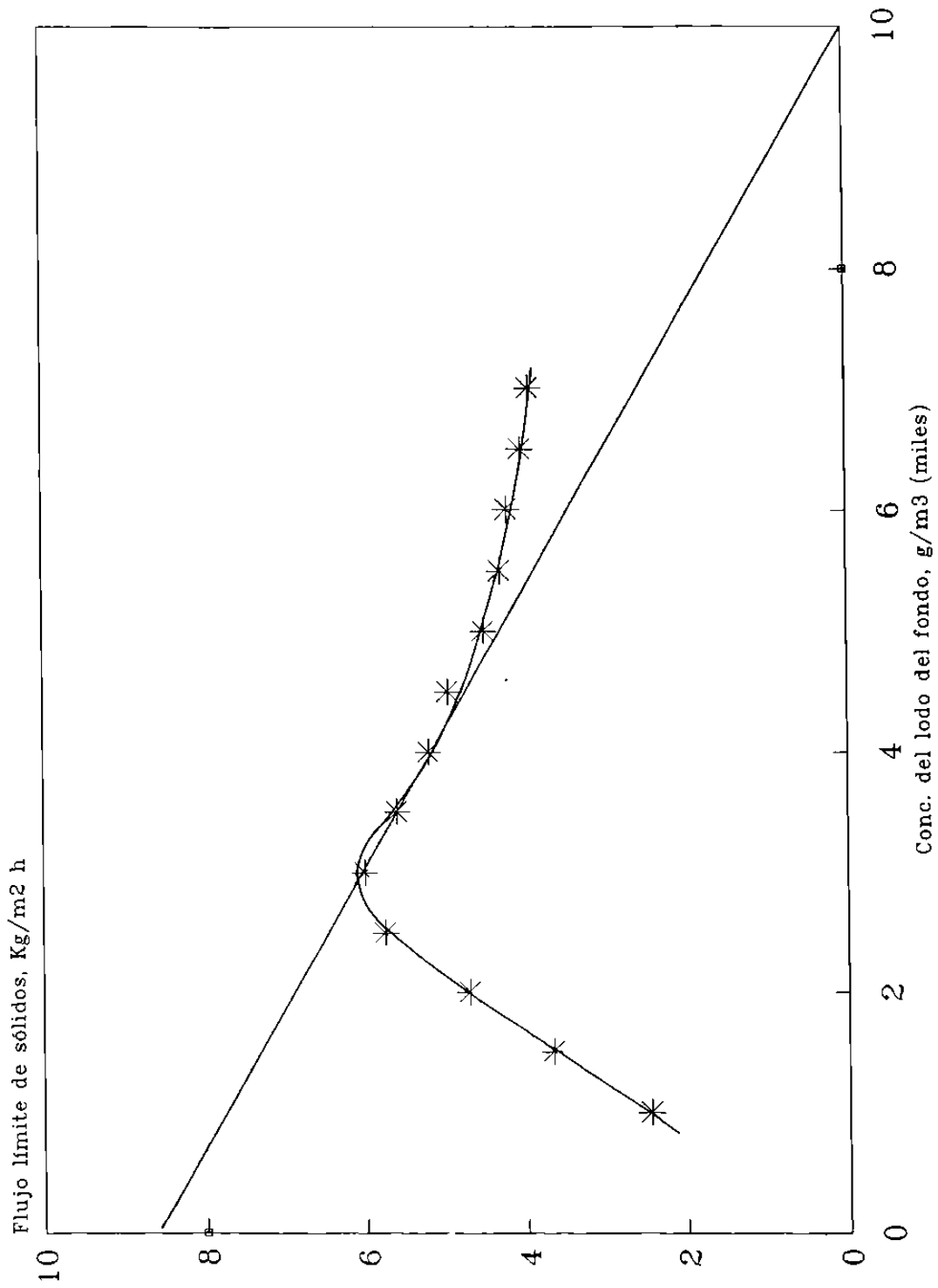


Fig. 6.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

Fuente: tabla 6.5 Correspondiente a la tabla 6.6

Tabla 6.6 Datos correspondientes a la carga superficial de sólidos a la concentración deseada del lodo del fondo .

Conc. lodo del fondo, SST (g/m^3)	4000	6000	8000	10000
CSS ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}$)	21.5*	13*	9.8	8.7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de sólidos (SST) del lodo del fondo.

Fuente: Figura 6.4

NOTA: Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7.

6.2 ESTIMACION DE CONDICIONES DE TRABAJO

Las pruebas de sedimentación "batch" (por cargas) correspondientes a este estudio, se efectuaron utilizando muestras de licor mixto de los reactores biológicos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en referencia.

6.2.1 Equipo de sedimentación

Se llevó a cabo la instalación de un dispositivo de pruebas a nivel laboratorio, el cual consta de tres columnas de sedimentación en material de acrílico transparente, cuyas dimensiones son: diámetro interior, 14.6 cm; espesor, 3 mm; y altura 1.20 m. La base que sostiene a las columnas está hecha de madera, y su dimensión es de 1.35 m de altura, 1.22 m de largo y 0.30 m de ancho.

Cada columna está provista de un agitador de varillas, metálico, tridimensional, los cuales son impulsados y controlados al mismo tiempo a 4 rph, mediante

un equipo eléctrico que consta de las siguientes partes: 1) motor *Dayton* "Rigth Angle AC/DC Gearmotors". Mod. 2Z798B THRU 2Z803B; 2) reductor de velocidad de flecha paralela. Mod. 2Z819A eléctrico ; 3) Reductor de velocidad (Electronic Motor Speed Controls). Mod. 4x796D. El dispositivo referido se muestra en la fig. 6.4.

El material requerido y utilizado para la adaptación adecuada del equipo eléctrico es el siguiente: 1) Cadena #40 RLR Chain -10Ft; 2) Conector para cadena #40 Conn Link-PKG 5; 3) Coples L050 HUB 1/2; 4) Arañas L050 SOX Spider; 5) Chumaceras BB Pillow Block 1/2; 6) Diente de rueda de cadena 4014 x 1/2 Sprocket.

El fondo de las columnas fue obstruido colocando una base de 3/4 de pulg. de del mismo material , cada una de estas bases fue perforada en el centro (1 cm de profundidad x 1.2 cm. de diámetro) antes de ser colocadas, esto fue hecho con el objeto de impedir el movimiento aleatorio y brusco de los agitadores, a los cuales se adaptó una pequeña varilla que queda semi-insertada a los orificios de las bases, y con ello el giro del agitador es controlado. Para facilitar las lecturas correspondientes de las pruebas, en la pared exterior de cada columna se colocó en sentido vertical una cinta métrica metálica del tamaño de aquella.

La altura útil de las columnas de sedimentación fue considerada conveniente de 0.9 m, teniendo por lo tanto un volumen de 15 L de licor mixto en cada prueba.

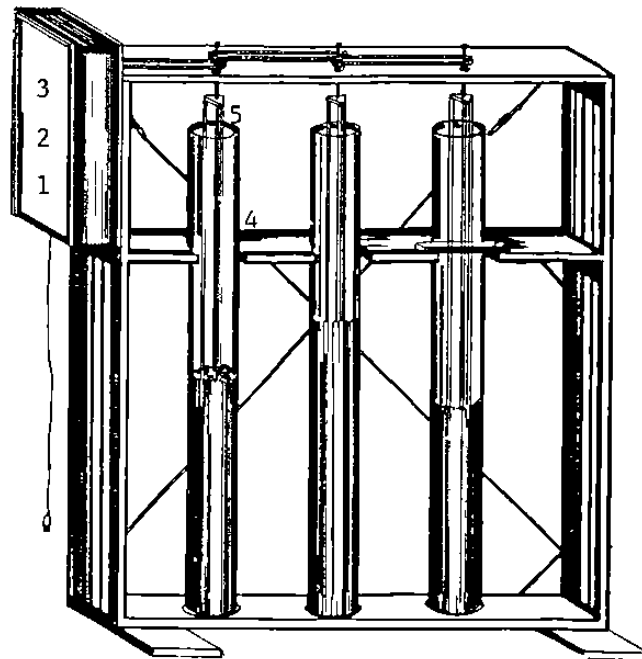


Fig. 6.5 Dispositivo para pruebas de sedimentabilidad de columna

1. Controlador de velocidad
2. Motorreductor
3. Reductor de velocidad
4. Columna de acrílico
5. Agitador metálico

6.2.1.1 Material auxiliar de laboratorio

A continuación se menciona la relación de material auxiliar de laboratorio que fue indispensable para la realización de la etapa experimental: 1) Probeta de 1L, 2) cronómetro, 3) termómetro de mercurio (de campo), 5) equipo de laboratorio adecuado para la determinación de SST , SSV y DBO, en base a lo indicado en los Métodos Estándar para la realización de análisis de aguas residuales (16).

6.2.2 Métodos

6.2.2.1 Procedimiento de pruebas experimentales

Las muestras de licor mixto correspondientes para cada planta, fueron tomadas en un punto cercano a la salida del reactor, antes de pasar al clarificador final, posteriormente fueron espesadas por períodos medios de 15, 30, 45 y 60 minutos para obtener varias muestras de lodo de concentraciones diferentes, de cada una de ellas se determinó posteriormente la concentración de Sólidos suspendidos totales(SST).

Una vez espesadas cada una de las muestras, se efectuaron las pruebas de sedimentación en base al procedimiento de análisis de flujo de sólidos, mencionado en la sección 6.1.1; así mismo, se realizaron las curvas correspondientes al análisis de flujo de sólidos.

Por otra parte, se tomaron también muestras para efectuar los análisis de la DBO5 del afluente (agua cruda), SST de retorno y/o purga de lodos, SST del efluente del clarificador secundario y SST del sobrenadante de la columna de sedimentación (correspondiente a la muestra de licor mixto espesado).

6.2.3 Plantas de tratamiento estudiadas

1. Club Campestre de Monterrey, A.C.
2. Agua Industrial del Poniente, S.A. de C.V.
3. Agua Industrial de Monterrey, S. de U.
4. PEMEX Planta San Rafael
5. Montemorelos
6. Comisión Federal de Electricidad. Planta Termoeléctrica Monterrey
7. Celulosa Y Derivados, S. A de C. V. Planta Copropiedad
8. Papelera Maldonado, S.A.

Nota: Nomenclatura a utilizar en ésta sección:

V = volumen del reactor

A = área del clarificador final

Q = caudal afluente del agua cruda (durante el estudio)

Q_r = caudal de recirculación del lodo

Q_w = caudal de la purga de lodos

X = sólidos suspendidos totales del licor mixto (SSLM)

X_v = sólidos suspendidos volátiles del licor mixto (SSVLM)

X_r = sólidos suspendidos totales del retorno de lodos

X_e = sólidos suspendidos totales del efluente

S_o = demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

IVL = índice de volumétrico de lodos

F/M = relación alimento-microorganismos

TRS = edad del lodo ó tiempo de retención celular

TRH = tiempo de residencia hidráulico

CHS = carga hidráulica superficial

CSS = carga superficial de sólidos

6.2.3.1 Ejemplo de obtención de los parámetros de funcionamiento de las plantas de tratamiento durante su estudio (datos de campo).

La determinación de los factores de funcionamiento F/M, TRH, TRS, CHS, CSS; se efectuó en base a las ecs. 2.1, 2.5, 2.9, 5.1, 5.2 respectivamente . A continuación se indica un ejemplo (para la planta del municipio de Montemorelos).

Datos* :

$$V = 6,226 \text{ m}^3$$

$$A = 482 \text{ m}^2$$

$$Q = 6,048 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 4,838 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 93.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 3,275 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 2,575 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 7,400 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 50 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 235 \text{ mg/L (DBO}_5\text{)}$$

$$IVL = 100 \text{ ml/g}$$

Parámetros calculados:

$$F/M = 0.09 \text{ l/día}$$

$$TRH = 24 \text{ h}$$

$$TRS = 29.5 \text{ días}$$

$$CHS = 12.54 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$CSS = 3.08 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

Utilizando la ec. 2.1 tenemos:

$$F/M = (S_o \cdot Q) / (V \cdot X_v)$$

* Para todos los casos estudiados, la información correspondiente a V, A, Q, Q_w, fue proporcionada por personal de cada una de las plantas de tratamiento en referencia.

donde:

$$S_o = 235 \text{ mg/L}$$

$$Q = 6048 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V = 6226 \text{ m}^3$$

$$X_v = 2,570 \text{ mg/L}$$

$$F/M = (235) (6048) / (6226) (2,570) \\ (\text{mg/L})(\text{m}^3/\text{día}) / (\text{m}^3)(\text{mg/L})$$

$$\underline{F/M = 0.09 \text{ 1/día}}$$

con la ec. 2.5 tenemos:

$$TRH = V/Q$$

$$TRH = 6226 / 6048 \\ \text{m}^3/(\text{m}^3/\text{día}) = 1 \text{ día}$$

$$\underline{TRH = 24 \text{ hr}}$$

Con la ec. 2.9 * :

$$TRS = (V \cdot X) / (Q_w \cdot X_r)$$

$$TRS = (6226)(3275) / (93.5)(7400) \\ \text{m}^3(\text{mg/L}) / (\text{m}^3/\text{día})(\text{mg/L})$$

$$\underline{TRS = 29.5 \text{ días}}$$

Con la ec. 5.1 tenemos:

$$CHS = Q/A$$

* Para la ec. 2.9, pueden ser utilizados los valores de los sólidos suspendidos totales (X , X_r), en vez de los sólidos suspendidos volátiles (X_v , X_r), como se observa en este caso.

$$\begin{aligned} \text{CHS} &= 6048 / 482 \\ & \text{(m}^3\text{/día)/m}^2 \\ \underline{\text{CHS}} &= \underline{12.54 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/día}} \end{aligned}$$

Utilizando la ec. 5.2 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{CSS} &= \frac{(Q + Q_r)(X)}{A(1000)(24)} \\ & \frac{\text{(m}^3\text{/día) (g/m}^3\text{)}}{\text{m}^2\text{(g/Kg)(h/día)}} \\ \underline{\text{CSS}} &= \underline{3.08 \text{ Kg/m}^2\text{/h}} \end{aligned}$$

6.2.3.2 Características y parámetros de funcionamiento de las plantas de tratamiento durante su estudio.

La información que a continuación se expone puede ser relacionada o comparada con los datos encontrados en la literatura, los cuales se indican en la tabla 2.1.

1. Club Campestre de Monterrey, A.C.

Esta planta, ubicada en la Colonia del Valle, en el municipio de San Pedro, N.L., fue instalada para tratar parte del agua residual doméstica generada en dicha comunidad. En teoría funciona mediante el sistema de lodos activados con la variante de zanjas de oxidación con aeración extendida, sin embargo los datos correspondientes durante su estudio, indican que se trata de un proceso completamente mezclado de carga media (de acuerdo a los datos que a continuación se indican y a la tabla 2.1 del capítulo 2). El sistema biológico consta de una zanja de oxidación, en la cual se lleva a cabo la conversión de

materia orgánica y un clarificador secundario cilíndrico con fondo cónico, el retorno de lodos se realiza desde el sedimentador hacia la zanja o reactor biológico; la aireación de éste último se lleva a cabo mediante 2 a 4 cepillos Magna. La purga de los lodos se realiza desde el reactor.

El agua presentó una temperatura media de 26°C durante su estudio (junio/1993). Las pruebas se efectuaron funcionando la planta en condiciones normales, es importante tomar en cuenta que previamente a los días de pruebas se presentaron lluvias relativamente abundantes, sin embargo, se consideró conveniente comenzar a muestrear cinco días después, ello para evitar en lo más posible obtener datos erróneos.

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$V = 3,800 \text{ m}^3$
 $A = 346 \text{ m}^2$
 $Q = 4,320 \text{ m}^3/\text{día}$
 $Q_r = 28.8 \text{ m}^3/\text{día}$
 $Q_w = \text{---}^*$
 $X = 905 \text{ mg/L}$
 $X_v = 700 \text{ mg/L}$
 $X_r = 6070 \text{ mg/L}$
 $X_e = 80 \text{ mg/L}$
 $S_o = 220 \text{ mg/L (DBO}_5)$
 $IVL = 220 \text{ ml/g}$
 $F/M = 0.35 \text{ 1/día}$
 $TRH = 21 \text{ hr}$
 $TRS = \text{---}^*$
 $CHS = 12.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$
 $CSS = 0.55 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$

* Datos omitidos, debido a la purga de los lodos esporádica y no constante (durante el estudio).

2. Agua Industrial del Poniente, S.A. de C.V.

La procedencia del agua que ésta planta trata es de las comunidades de Santa Catarina, N.L., lugar de ubicación de la planta, y de la colonia López Mateos, funciona mediante el proceso completamente mezclado de lodos activados considerándose como una planta de carga media. El sistema biológico consta de dos reactores rectangulares, provistos de aireadores mecánicos y un clarificador final circular, el retorno de lodos se realiza desde el clarificador hacia los reactores; la purga de los lodos se lleva a cabo desde la línea de retorno.

El agua, durante el estudio (junio/1993), presentó una temperatura media de 27 °C. Dos días previos al estudio, se presentaron lluvias escasas por un período aproximado de diez horas, de aquí que se considera que no hay efectos significativos en los resultados. Las pruebas de sedimentación se efectuaron, a partir de muestras compuestas, de ambos reactores.

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 2,150 \times 2 = 4300 \text{ m}^3$$

$$A = 490.6 \text{ m}^2$$

$$Q = 4320 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 2590 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 260 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 1220 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 965 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 3255 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 20 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 335 \text{ mg/L (DBO}_5)$$

$$I_{VL} = 105 \text{ ml/g}$$

$$F/M = 0.34 \text{ 1/día}$$

$$TRH = 24 \text{ hr}$$

$$TRS = 6 \text{ días}$$

$$CHS = 8.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$CSS = 0.71 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

3. Agua Industrial de Monterrey, S. de U.

Esta planta de tratamiento se encuentra ubicada en el municipio de San Nicolás de los Garza, N.L., recibe agua de los colectores generales de Monterrey para ser tratada mediante el proceso de lodos activados con mezcla completa, se considera como una planta de carga media. El sistema biológico consta de dos reactores rectangulares provistos de aireadores mecánicos, dos clarificadores finales y una unidad de retorno de lodos en la cual se reúnen los caudales de ambos sedimentadores para ser recirculados hacia los reactores; la purga de los lodos se realiza desde los sedimentadores secundarios.

La temperatura media del agua durante el estudio (julio/1993) fue de 30.5°C. Las pruebas correspondientes se efectuaron a partir de muestras compuestas preparadas con el licor mixto de ambos reactores, se procedió de la misma manera para el caso de las muestras de los clarificadores finales para la determinación de los SST del efluente .

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 2800 \times 2 = 5600 \text{ m}^3$$

$$A = 411.7 \times 2 = 823 \text{ m}^2$$

$$Q = 15,120 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 6048 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 120 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 2065 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 1655 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 7275 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 35 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 225 \text{ mg/L (DBO}_5)$$

$$IVL = 171 \text{ ml/g}$$

$$F/M = 0.36 \text{ l/día}$$

$$TRH = 8.8 \text{ hr}$$

$$TRS = 13 \text{ días}$$

$$CHS = 18.37 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$CSS = 2.2 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

4. PEMEX Planta San Rafael

La procedencia del agua cruda, tratada por la Planta Pemex ubicada en San Rafael, en el municipio de Apodaca, N.L., se menciona a continuación:

- Agua cruda de boca toma la Silla a toma Guadalupe
- Agua cruda de boca toma Gpe. a planta tratadora de aguas negras.

La planta Pemex San Rafael funciona mediante el proceso de mezcla completa de lodos activados, es considerada como una planta de carga media. El sistema biológico consta de 3 reactores rectangulares de los cuales normalmente funcionan dos teniendo uno de reserva, tres sedimentadores secundarios de los cuales funcionan dos, y tres líneas de retorno respectivamente que recirculan el lodo desde el clarificador final hacia el reactor y en las cuales se encuentran conectadas las correspondientes líneas para la purga de los lodos.

La temperatura media del agua, encontrada durante las pruebas fue de 26°C (julio/1993). Los experimentos correspondientes se efectuaron a partir de muestras compuestas preparadas con el licor mixto de ambos reactores, se procedió de la misma manera para el caso de las muestras de los clarificadores finales, para la determinación de los SST del efluente.

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 13,500 \times 2 = 27,000\text{m}^3$$

$$A = 1256 \times 2 = 2512 \text{ m}^2$$

$$Q = 47,520 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 6,910 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 1,035 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 2,315 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 1,920 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 7,720 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 20 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 235 \text{ mg/L (DBO}_5\text{)}$$

$$IVL = 350$$

$$\begin{aligned}F/M &= 0.21 \text{ l/día} \\TRH &= 13.6 \text{ hr} \\TRS &= 7.8 \text{ días} \\CHS &= 18.9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día} \\CSS &= 2.09 \text{ Kg/m}^2/\text{h}\end{aligned}$$

5. Montemorelos

Esta planta trata el agua residual doméstica de la cabecera del municipio del mismo nombre, el sistema de tratamiento mediante el cual funciona es el de lodos activados con aereación extendida. El sistema biológico consta de dos tanques aireadores para proceso completamente mezclado, conectados en serie, provistos cada uno de un aireador superficial flotante; existe un solo clarificador final y una línea de retorno de lodos, que va desde éste último hacia la entrada del influente a los reactores. La purga del exceso de lodos espesados se realiza desde la línea de retorno.

La temperatura media del agua, encontrada durante las pruebas en el mes de agosto (de 1993) fue de 27°C y de 25°C en el mes de diciembre (de 1993).

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$\begin{aligned}V &= 6,226 \text{ m}^3 \\A &= 482 \text{ m}^2 \\Q &= 6,048 \text{ m}^3/\text{día} \\Q_r &= 4,838 \text{ m}^3/\text{día} \\Q_w &= 93.5 \text{ m}^3/\text{día} \\X &= 3,275 \text{ mg/L} \\X_v &= 2,575 \text{ mg/L} \\X_r &= 7,400 \text{ mg/L} \\X_e &= 50 \text{ mg/L} \\S_o &= 235 \text{ mg/L (DBO}_5\text{)}\end{aligned}$$

$$IVL = 100 \text{ ml/g}$$

$$F/M = 0.09 \text{ 1/día}$$

$$TRH = 24 \text{ hr}$$

$$TRS = 29.5 \text{ días}$$

$$CHS = 12.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ /día}$$

$$CSS = 3.08 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

6. C. F. E. Termoeléctrica Monterrey

La planta Termoeléctrica Monterrey, recibe agua residual doméstica de las colonias Providencia, Nogalar y Mezquital, para ser tratadas mediante el sistema convencional de flujo pistón de lodos activados. El presente estudio mostró condiciones de funcionamiento de aeración modificada, debido al elevado valor de F/M encontrado (la comparación se efectuó de acuerdo a los datos dados abajo y a la tabla 2.1 del capítulo 2).

La planta consta de dos módulos de tratamiento biológico, trabajando independientemente. Debido a condiciones de estabilidad en cuanto a su funcionamiento (durante el estudio), se consideró conveniente estudiar el módulo No. 2, cuyo sistema de tratamiento biológico consta de tres reactores rectangulares (la aeración se efectúa por medio de difusores de aire); un clarificador final y una línea de retorno que va desde el clarificador hacia la entrada al primer reactor. La purga de los lodos se realiza desde la línea de retorno.

La temperatura media del agua durante las pruebas (agosto/1993) fue encontrada de 30 °C. Para el módulo No. 2 se tiene:

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 1,768 \times 3 = 5,304 \text{ m}^3$$

$$A = 442 \text{ m}^2$$

$$Q = 30,240 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\begin{aligned}Q_r &= 8,815 \text{ m}^3/\text{día} \\Q_w &= 165 \text{ m}^3/\text{día} \\X &= 470 \text{ mg/L} \\X_v &= 345 \text{ mg/L} \\X_r &= 2,085 \text{ mg/L} \\X_e &= 20 \text{ mg/L} \\S_o &= 120 \text{ mg/L (DBO}_5\text{)} \\IVL &= 106 \text{ ml/g} \\F/M &= 1.9 \text{ l/día} \\TRH &= 4.2 \text{ hr} \\TRS &= 7 \text{ días} \\CHS &= 68.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día} \\CSS &= 1.73 \text{ Kg/m}^2/\text{h}\end{aligned}$$

7. Celulosa y derivados, S.A. de C.V. Planta Copropiedad

La planta Copropiedad recibe agua residual municipal proveniente de la colonia Fuentes del Valle, en Monterrey, N.L. Funciona mediante el sistema de lodos activados completamente mezclado, es considerada de alta carga. El sistema de tratamiento biológico consta de dos reactores biológicos rectangulares provistos de aireadores mecánicos, dos clarificadores finales y una línea de retorno que va desde éstos últimos hacia la entrada a los reactores. La purga de los lodos se realiza desde los sedimentadores secundarios.

La temperatura media del agua durante las pruebas fue de 30 °C (septiembre/1993). Las pruebas correspondientes se efectuaron a partir de muestras compuestas preparadas con el licor mixto de ambos reactores, se procedió de la misma manera para el caso de las muestras de los clarificadores finales para la determinación de los SST del efluente.

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 1,000 \times 2 = 2000 \text{ m}^3$$

$$A = 94 \times 2 = 188 \text{ m}^2$$

$$Q = 7,344 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 2,480 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 300 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 250 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 225 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 990 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 15 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 125 \text{ mg/L (DBO}_5)$$

$$IVL = 440 \text{ ml/g}$$

$$F/M = 2 \text{ l/día}$$

$$TRH = 6.5 \text{ hr}$$

$$TRS = 1.7 \text{ días}$$

$$CHS = 39 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$CSS = 0.54 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

8. Papelera Maldonado, S.A. de C.V.

Esta planta, ubicada en San Nicolás de los Garza, N.L., emplea el sistema convencional de flujo pistón de lodos activados, recibe agua proveniente del colector oriente de la ciudad de Monterrey "La cloaca". El sistema de tratamiento biológico consta, de un reactor biológico de forma rectangular provisto de difusores de aire, un clarificador secundario y una línea de recirculación, que retorna el lodo desde el clarificador hacia el tanque de aireación. La temperatura media del agua durante el estudio (septiembre/1993), fue de 30°C.

Datos generales y parámetros de funcionamiento:

$$V = 1120 \text{ m}^3$$

$$A = 44.3 \text{ m}^2$$

$$Q = 3,456 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_r = 2,986 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 60 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 2,060 \text{ mg/L}$$

$$X_v = 1,715 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 5,770 \text{ mg/L}$$

$$X_e = 50 \text{ mg/L}$$

$$S_o = 390 \text{ mg/L (DBO}_5)$$

$$IVL = 35 \text{ ml/g}$$

$$F/M = 0.75 \text{ 1/día}$$

$$TRH = 7.5 \text{ hr}$$

$$TRS = 6.5 \text{ días}$$

$$CHS = 78 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$CSS = 12.48 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$$

CAPITULO 7
RESULTADOS
Y DISCUSION DE RESULTADOS

7. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las pruebas de sedimentación en columna para trazar las gráficas de cada planta de tratamiento, se muestran en los anexos 1 y 2. En el primero, se encuentran las tablas con los datos obtenidos para el análisis de flujo de sólidos y en el anexo 2, se presentan las gráficas correspondientes a dicho análisis, el cual se llevó a cabo para cada una de las plantas de tratamiento estudiadas en base, al método de Coe y Clevenger et. al., indicado en la Sección 6.1.2.

Es importante considerar que diversos factores no previstos influyen en las características de sedimentación de los lodos, uno de estos factores que fue notado en algunos casos durante el presente estudio, fue la presencia y crecimiento de organismos filamentosos, ello puede afectar de manera significativa el contenido de sólidos suspendidos en el efluente, así como la concentración de sólidos en el área de espesamiento, evitando que haya una sedimentación aceptable. Tomando en cuenta este factor, las pruebas experimentales fueron realizadas durante los periodos en los cuales, se consideró que el efecto voluminoso de los lodos no afectaría los resultados pretendidos.

Después de haber llevado a cabo el procedimiento del análisis de flujo de sólidos, mencionado en la sección 6.1.2 y una vez obtenidos, los valores de la velocidad de sedimentación zonal y del flujo límite de sólidos, correspondientes a la CHS y CSS para cada una de las plantas de tratamiento estudiadas, éstos fueron correlacionados con los parámetros de funcionamiento F/M y TRS*, dando como resultado cuatro gráficas que contienen la

* F/M y TRS fueron calculados para las condiciones reales de operación para cada planta de tratamiento, cuya determinación se muestra en la sección 6.2.3.1

información objetivo de este trabajo, de las cuales se hará referencia más adelante.

La información indicada en las tablas 7.1 y 7.2, corresponde a la CHS (carga hidráulica superficial) y CSS (carga superficial de sólidos) respectivamente, para cada planta de tratamiento y a diversas concentraciones de sólidos. Los datos de los parámetros F/M y TRS para cada una de las plantas se encuentran resumidos en la tabla 7.3.

Tabla 7.1 Datos experimentales (obtenidos de las columnas de sedimentación) correspondientes a la carga hidráulica superficial para cada una de las plantas de tratamiento estudiadas.

Planta	CHS ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$) a la concentración dada de sólidos (g/m^3)			
	1000	2000	3000	4000
1. Club Camp. Mty	106	72	60	-
2. Agua Ind. Pte.	75	74	52.5	36
3. Agua Ind. Mty	64	63	36.5	21.5
4. PEMEX	50	49	41	25
5. Montemorelos*	57	56	48	35
6. C. F. E..	155	66	30	18
7. CYDSA	54	10	-	-
8. Papelera Mald.	40	38	19	11

Fuente: Figuras 2.2, anexo 2

Datos correspondientes a las figuras 7.1 y 7.2

*La fuente de datos para éste caso es la figura 6.2 y/o tabla 6.4 (del ejemplo expuesto en el capítulo 6, para la planta de Montemorelos)

Tabla 7.2 Datos experimentales correspondientes a la carga superficial de sólidos para cada una de las plantas de tratamiento estudiadas.

Planta	CSS ($\text{kg/m}^2 \text{ h}$) a la Conc. dada del lodo del fondo (g/m^3)			
	4 000	6 000	8 000	10 000
1. Club Camp. Mty	11.7	9.5	8.8	8.15
2. Agua Ind. Pte.	28	18	13.5	11.2
3. Agua Ind. Mty	18	11	7.6	5.9
4. PEMEX	20	11	7.5	6
5. Montemorelos**	21.5	13	9.8	8.7
6. C. F. E.	4.5	4.2	3.95	3.8
7. C. Y. D. S. A	2.2	1.65	1.35	1.2
8. Papelera Mald.	7.8	5.25	4.1	3.4

Fuente: Figuras 2.4, anexo 2.

Datos correspondientes a las figuras 7.3 y 7.4

**La fuente de datos para éste caso es la figura 6.4 y/o tabla 6.6 (del ejemplo expuesto en el capítulo 6, para la planta de Montemorelos)

Tabla 7.3 Resumen de los parámetros de funcionamiento para cada planta de tratamiento. Datos obtenidos durante el estudio de cada una de ellas.

Planta	F/M* 1/día	TRS* días	Régimen hidráulico	Variante de L.A.
1. Club Camp. Mty	0.35	-	CM	CI
2. Agua Ind. Pte.	0.34	6.	CM	CI
3. Agua Ind. Mty	0.36	13.	CM	CI
4. PEMEX	0.21	7.8	CM	CI
5. Montemorelos	0.09	29.5	CM	AE
6. C. F. E.	1.9	7.	FP	AM
7. C. Y. D. S. A	2.	1.7	CM	AC
8. Papclera Mald.	0.75	6.5	FP	AC

* Datos de campo (obtenidos como se indica en la sección 6.2.3.1)

Para relacionar todos los datos correspondientes del estudio, con la información contenida en las tablas 7.1, 7.2 y 7.3, se graficaron los valores de CHS (m^3/m^2 día) y CSS (Kg/m^2 h) vs los parámetros F/M (1/día) y TRS (días) para cada una de las plantas de tratamiento, figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, en las siguientes relaciones respectivamente:

7.1) CHS vs F/M; 7.2) CHS vs TRS; 7.3) CSS vs F/M; 7.4) CSS vs TRS.

7.1 CORRELACION DE DATOS CORRESPONDIENTES, A LA CHS EN FUNCION DE F/M Y DE CHS EN FUNCION DE TRS

Las curvas de la fig. 7.1 corresponden a la CHS (clarificación) en función de F/M. Cada curva está referida a una concentración dada de sólidos (SSLM). La ubicación de los datos muestra que para el área de clarificación, conforme se tenga una concentración más elevada de SSLM se requiere una CHS menor.

Así mismo, se observa un valor "óptimo" de F/M para la clarificación cuyo rango oscila entre 0.25 y 0.8/día; a un mayor o menor valor de F/M la sedimentación requerirá emplear un menor valor de CHS. Por lo que respecta a las variantes de lodos activados completamente mezclados, la planta de aeración extendida y aquellas de carga intermedia, son las que presentan mejores características de sedimentación, en comparación con las plantas que trabajan con una alta carga (elevada relación de F/M).

La fig. 7.2, muestra la correlación de la CHS (clarificación) en función de TRS. Las curvas indican que se encontraron valores óptimos de TRS para la clarificación, de 4 a 12 días. Un mayor o menor valor de TRS requiere una CHS menor; se observa además que se presenta una tendencia a condiciones más desfavorables de sedimentación, mientras menor sea el valor de TRS. Al igual que en la fig. 7.1, entre mayor sea la concentración de sólidos (SSLM) en el área de clarificación, se requiere una menor CHS, esto es, un área mayor en el clarificador final.

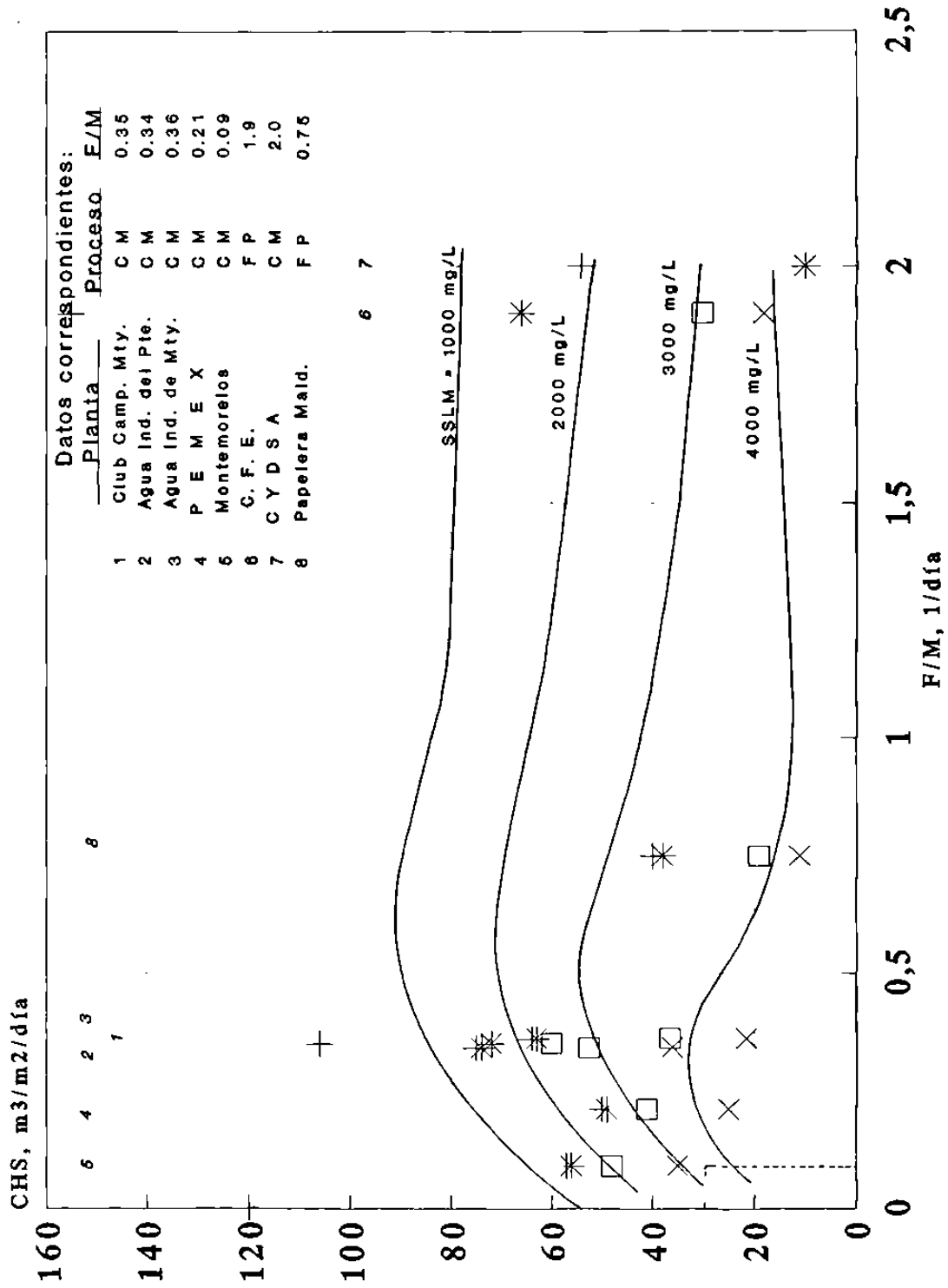


Fig 7.1 CHS detectada en función de F/M, a la concentración deseada de SSLM.

Fuente: Tablas 7.1, 7.3

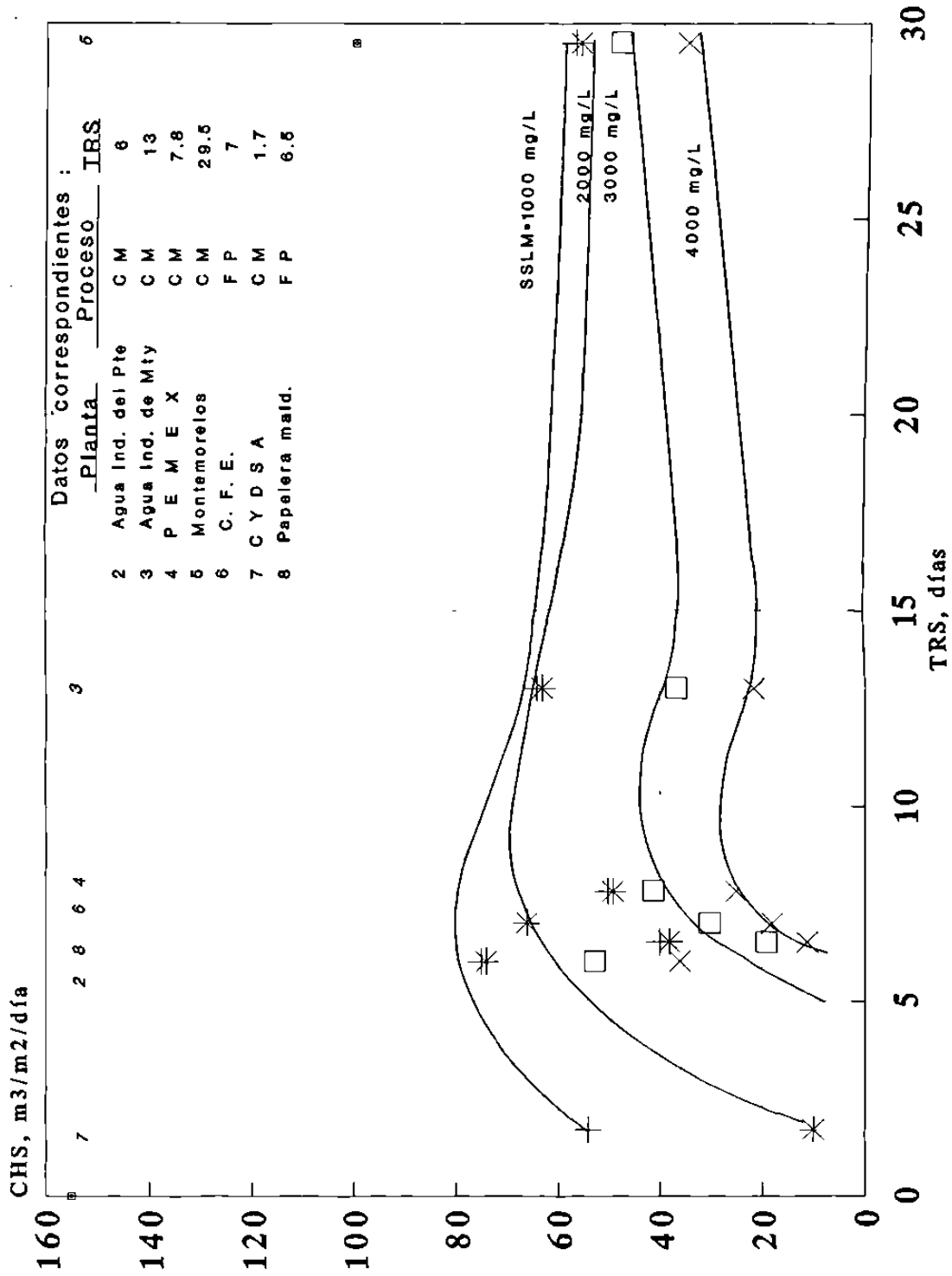


Fig 7.2 CHS detectada en función de TRS a la concentración deseada de SSLM.

Fuente: Tablas 71, 73

7.2 CORRELACION DE DATOS CORRESPONDIENTES, A LA CSS EN FUNCION DE F/M Y CSS EN FUNCION DE TRS

La fig. 7.3 indica la correlación entre la CSS (flujo o carga de sólidos para espesado) y la relación F/M. Teóricamente, para el caso de valores muy bajos o elevados de la relación F/M, la sedimentabilidad es desfavorable. Obsérvese que entre mayor concentración de SST (en este caso SSLM), se tenga en el área de espesamiento, la CSS aceptable para diseño será menor (se requiere un área mayor para espesamiento).

Es importante notar que la operación de las plantas de lodos activados es distinta en dos casos; las plantas de mezcla completa presentan similitud entre ellas, en cuanto a valores aceptables de CSS y difieren al respecto, en comparación con las plantas de flujo pistón. Cada variante de F/M del proceso, presenta características propias; las plantas de régimen completamente mezclado de carga intermedia, así como la de aereación extendida, presentaron mejores características de espesamiento, en comparación con las plantas que funcionan con una alta carga.

El rango de valores óptimos de la relación F/M encontrado es de 0.1 a 0.7/día.

La fig. 7.4 muestra la relación entre la CSS (carga de sólidos para espesado) y el TRS. Obsérvese que para valores muy bajos de la edad del lodo, el espesamiento se dificulta. En teoría, los valores altos del TRS causan también un espesamiento desfavorable; sin embargo, no fué así en el caso de la planta de régimen de mezcla completa que presentó el valor más alto de TRS ; En la figura, es notorio el diferente comportamiento del espesamiento encontrado en las plantas de flujo pistón en comparación con las de mezcla completa. Los valores óptimos encontrados del TRS para espesamiento están en el rango de 4 a 11 días.

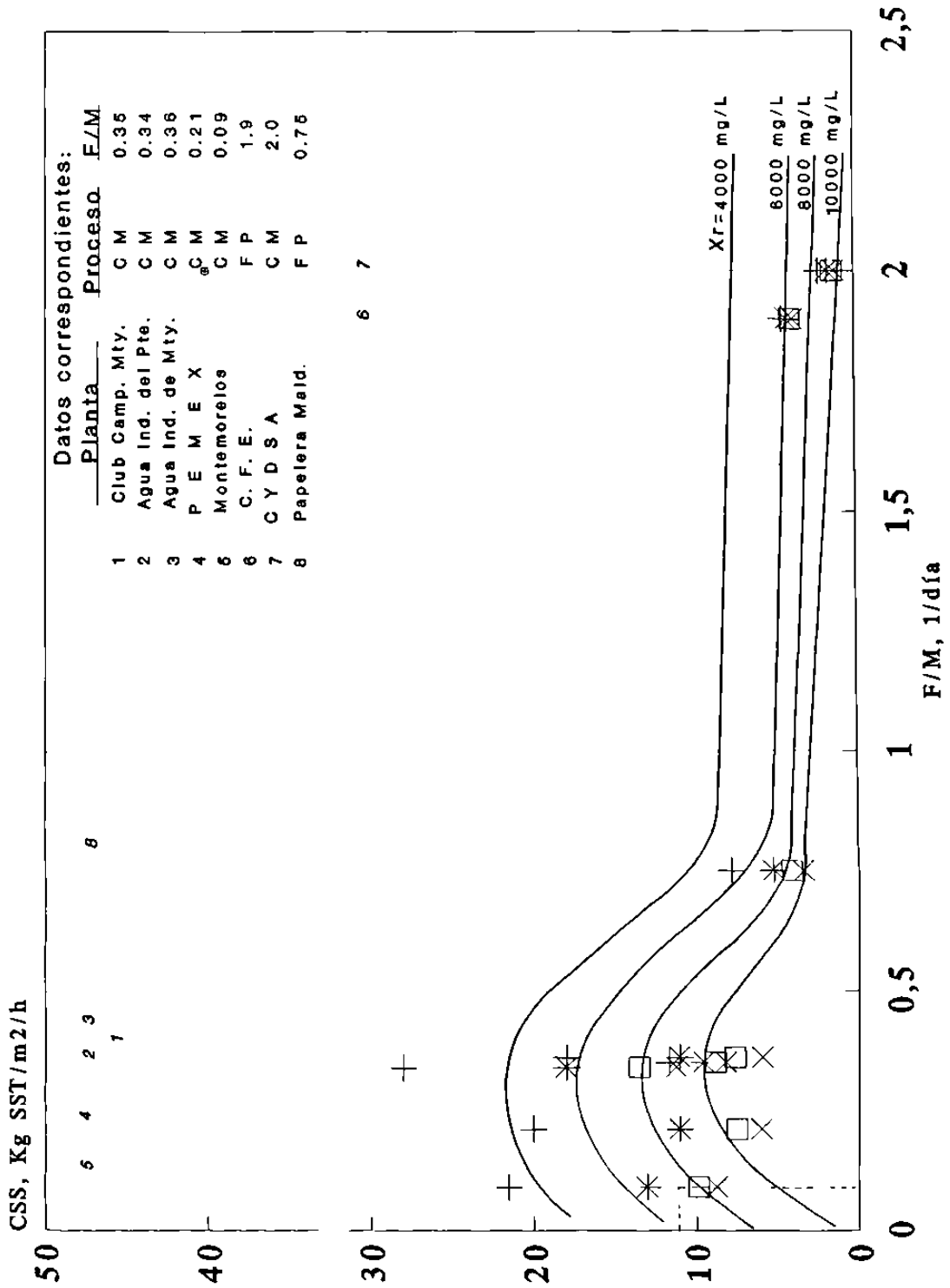


Fig 7.3 CSS detectada en función de F/M, a la concentración deseada del lodo del fondo.

Fuente: Tablas 7.2, 7.3

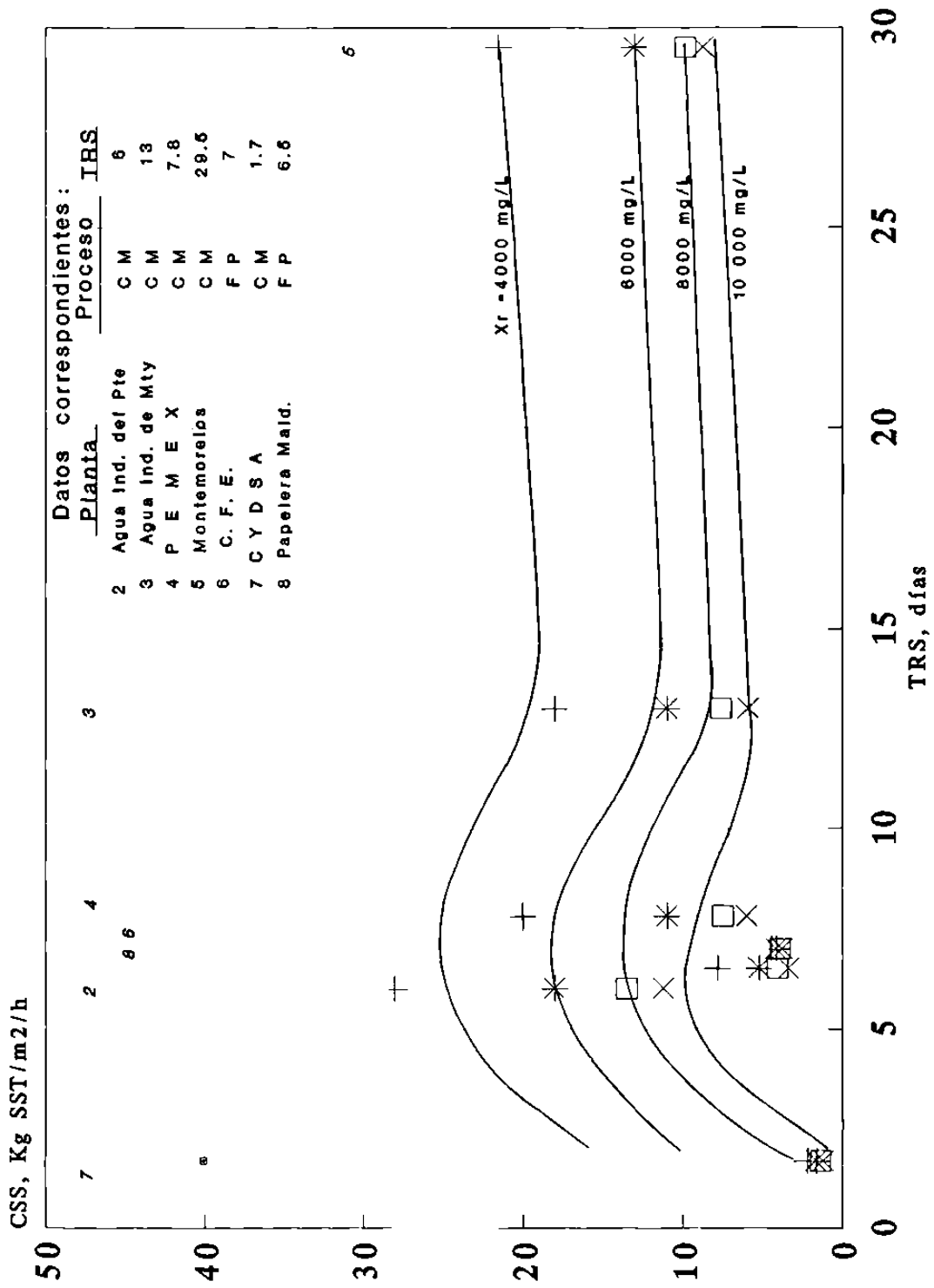


Fig 7.4 CSS detectada en función de TRS, a la concentración deseada del lodo del fondo.

Fuente: Tablas 72, 73

7.3 RESULTADOS DE CHS A PARTIR DE LAS RELACIONES OBTENIDAS DE LAS PRUEBAS DE COLUMNA

Para comparar la CHS de las condiciones reales de operación, con la CHS experimental (de las pruebas de columna) de las plantas de tratamiento estudiadas, en las figuras 7.1 y 7.2, se interpolaron o localizaron las condiciones experimentales para cada planta estudiada, como se indica en el siguiente ejemplo:

Por ejemplo, de la fig. 7.1 para la planta Montemorelos, con el valor de F/M (0.09/día) y en dirección al eje de las ordenadas, se busca la curva correspondiente (o se interpola) a la concentración de sólidos suspendidos en el reactor, a la cual la planta se encontró funcionando, en éste caso fue de 3275 g/m^3 . De este nuevo punto, se proyecta horizontalmente a la izquierda hacia el eje de las ordenadas y se localiza el valor recomendable para la CHS, según las pruebas de sedimentación de columna, resultó ser de $29 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. A este valor se le debe aplicar un factor de seguridad (FS) para el diseño de un clarificador secundario. De la misma manera se procedió para localizar los valores de la CHS en base a la edad del lodo (TRS), fig 7.2.

7.4 RESULTADOS DE CSS A PARTIR DE LAS RELACIONES OBTENIDAS DE LAS PRUEBAS DE COLUMNA

Por otra parte, para la obtención de datos (experimentales) de la CSS, se utilizó el valor de la concentración del lodo del fondo (o de retorno) al cual estuvo funcionando cada planta de tratamiento, se procedió de como se indica:

Por ejemplo de la fig. 7.3, para la planta Montemorelos, la concentración del lodo de retorno fue de $7,400 \text{ g/m}^3$. Con el valor de F/M (0.09/día), en dirección de las ordenadas se busca la curva o se interpola a ésta concentración

Posteriormente y de éste nuevo punto, se proyecta horizontalmente hacia el eje de las ordenadas y se lee el valor correspondiente a la CSS, que en éste caso fue de 11 Kg/m²/h. Este último valor para ser utilizado en diseño deberá afectarse por un factor de seguridad (FS). De igual forma se procedió para encontrar los datos de la CSS en función de la edad del lodo (TRS), fig. 7.4.

7.5 RESULTADOS DE CHS Y CSS DE LAS CONDICIONES REALES Y EXPERIMENTALES E INFORMACION RECOMENDADA DE LA LITERATURA

Para el dimensionamiento de las unidades de sedimentación a nivel local, los valores de CHS y CSS pueden ser obtenidos en forma aproximada de las figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, a partir de valores de F/M, TRS y de las concentraciones de sólidos suspendidos en el reactor (SSLM) y purga de lodos previstos.

Teniendo en cuenta que las condiciones de operación en la práctica no son las óptimas, la CHS y CSS obtenida de los estudios en columnas, se deben afectar por un factor de seguridad. Para propósitos de diseño, la bibliografía recomienda aplicar factores de seguridad de 1.5 a 2.5, tanto para la carga hidráulica superficial como para la carga superficial de sólidos, de ésta manera se preve un área que asegure las condiciones de funcionamiento óptimo.

La información de la CHS y CSS en función de F/M y TRS, obtenida de las pruebas de columna (gráficas de las figs. 7.1 a 7.4) para cada planta de tratamiento, se dividió entre el factor de seguridad considerado (2.5). Dicha información se encuentra indicada en las tablas 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 (mostradas posteriormente).

Los valores correspondientes de la CHS y CSS (tabla 7.1, 7.2), obtenidos para las condiciones reales de funcionamiento para cada una de las plantas de tratamiento, cuyo ejemplo de cálculo se indicó en la sección 6.2.3.1, también forman parte de las tablas 7.4 a 7.7.

Se consideró importante hacer una comparación, entre los resultados de la CHS y CSS, obtenidos de las pruebas de columna de laboratorio (gráficas), con los valores recomendados en la literatura; Además de los que se obtuvieron de las condiciones reales (a escala completa) con los de las pruebas de columna, como se muestra en las tablas mencionadas.

En la tabla 7.4 (de la siguiente página), en general puede observarse que los datos de CHS de las condiciones reales de funcionamiento, en función de la F/M (de las plantas de tratamiento estudiadas), no coincidieron con los resultados obtenidos de las pruebas de columna (gráficas).

- Por lo que respecta a las plantas de régimen completamente mezclado de carga intermedia (F/M de 0.21 - 0.36/día), puede observarse que los valores en condiciones reales de CHS encontrados durante el estudio, variaron entre 8.8 y 18.9 m³/m²/d. Estos valores fueron menores que los resultados obtenidos de las pruebas de columna de laboratorio, cuyo intervalo fue de 22.4 -30.4 m³/m²/d.

De los datos obtenidos de las pruebas de columna, tres casos se acercaron al valor del límite superior (34, 30.4 y 27.6 m³/m²/d), del rango recomendado en la literatura y en otro caso (22.4 m³/m²/d) con el promedio de dicho rango. El intervalo de valores bibliográficos recomendados para la CHS, es de 16 - 32 m³/m²/d.

- Para el caso de la planta de régimen de mezcla completa de aeración extendida, el valor en condiciones reales de la CHS (12.54 m³/m²/d) fue un poco mayor, que el valor de la CHS obtenido de las pruebas de columna (11.8 m³/m²/d), ambos valores coincidieron con el promedio del rango recomendado por la literatura (8-16 m³/m²/d).

- Con respecto a una de las plantas que trabaja con régimen hidráulico de flujo en pistón (con una F/M = 0.75/día), puede observarse que el resultado de la CHS de las condiciones reales (78 m³/m²/d), se encontró muy por arriba del valor obtenido de las pruebas de columna (28. m³/m²/d), lo cual puede indicar un subdimensionamiento de los clarificadores en las condiciones de operación durante el estudio. Este último valor, se acercó al límite superior del rango recomendado por la literatura (16-32 m³/m²/d)

Tabla 7.4 Datos experimentales, correspondientes a la CHS en función de F/M para ser comparados, con las condiciones reales y datos de la literatura.

Características					CHS $m^3/m^2/d$			
Planta	RH	VTE L.A.	F/M 1/día	X g/m^3	CHS gráfica	•CHS/FS FS = 2.5	CHS c. reales	CHS Lit.
Club Camp. Mty	CM	CI	0.35	905	85*	34	12.4	16-32
Agua Ind. Pte.	CM	CI	0.34	1220	76	30.4	8.8	16-32
Agua Ind. Mty.	CM	CI	0.36	2065	68.5	27.6	18.37	16-32
PEMEX	CM	CI	0.21	2315	56	22.4	18.9	16-32
Montemorelos	CM	AE	0.09	3275	29	11.8	12.54	8-16
C. F. E.	FP	AM	1.9	470	+	+	68.5	16-32
CYDSA	CM	AC	2.	250	+	+	39	16-32
Papelera Mald.	FP	AC	0.75	2060	70	28	78	16-32

* Datos estimados como aproximados debido a la baja concentración de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM), como se observa en la gráfica correspondiente, fig 7.1.

+ Datos no obtenidos debido a la baja concentración de SSLM.

• Obtenido de la gráfica

AC = Alta carga

AE = Aeración extendida

AM = Aeración modificada

C. = Condiciones (reales)

CHS = Carga hidráulica superficial

CI = Carga intermedia

CM = Régimen completamente mezclado

FP = Régimen de flujo en pistón

F/M = Relación alimento-microorganismos (condiciones reales)

FS = Factor de seguridad

Lit. = Literatura (Metcalf-Eddy, 1985)

RH = Régimen hidráulico

VTE L.A. = Variante de lodos activados

X = SSLM (condiciones reales)

La tabla 7.5 (de la siguiente página), corresponde a la CHS en función de TRS, en general muestra que, los valores obtenidos de la CHS de las condiciones reales de funcionamiento, no coincidieron con los valores encontrados de las pruebas de columna (gráficas). Algunos de los resultados obtenidos de las pruebas de columna, se encontraron cercanos al límite superior del rango recomendado en la literatura, y en otros casos con el promedio de dicho rango.

- Para las plantas de régimen de mezcla completa y TRS entre 6 y 13 días, los valores de la CHS de las condiciones reales fueron menores que los resultados obtenidos de las pruebas de columna. De éstos últimos, dos casos (23.8 y 25.6 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) se acercaron al valor promedio del rango bibliográfico recomendado (16-32 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) y en otro caso, el valor obtenido de las pruebas de columna (30.4 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), se acercó al límite superior de dicho rango.

- En el caso de la planta de régimen de mezcla completa con TRS = 29.5 días, el valor de la CHS en condiciones reales del sistema (12.54 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), fué menor que el resultado de las pruebas de columna (16.4 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$). Este último valor, coincidió con el límite superior del rango recomendado en la literatura (16 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$).

-Para la planta de flujo pistón con un TRS = 6.5 días, el valor de CHS (78 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), obtenido de las condiciones reales, se encontró alejado y muy por arriba del valor obtenido de las pruebas de columna (25.6 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$). Este último se encontró cercano al promedio del rango recomendado por la literatura (16-32 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$).

Tabla 7.5 Datos experimentales, correspondientes a la CHS en función de TRS para ser comparados, con las condiciones reales y datos de la literatura .

Planta	Características				CHS $m^3/m^2/d$			
	RH	VTE L.A.	TRS días	X g/m^3	CHS gráfica	•CHS/FS FS = 2.5	CHS c. reales	CHS Lit.
Club Camp. Mty	C M	C I		905	-	-	12.4	16-32
Agua Ind. Pte.	C M	C I	6	1220	76	30.4	8.8	16-32
Agua Ind. Mty	C M	C I	13	2065	64	25.6	18.37	16-32
PEMEX	C M	C I	7.8	2315	59.5	23.8	18.9	16-32
Montemorelos	C M	AE	29.5	3275	41	16.4	12.54	8-16
C. F. E.	FP	AM	7	470	+	+	68.5	16-32
CYDSA	C M	AC	1.7	250	+	+	39	16-32
Papelera Mald.	FP	AC	6.5	2060	64	25.6	78	16-32

Fuente: Fig 7.2.

+ Datos no obtenidos debido a la baja concentración de SSLM.

• Obtenido de la gráfica

AC = Alta carga

AE = Aeración extendida

AM = Aeración modificada

C. = Condiciones (reales)

CHS = Carga hidráulica superficial

CI = Carga intermedia

CM = Régimen completamente mezclado

FP = Régimen de flujo en pistón

FS = Factor de seguridad

Lit. = Literatura (Metcalf-Eddy, 1985)

RH = Régimen hidráulico

TRS = Edad del lodo ó tiempo de retención de sólidos (condiciones reales)

VTE L.A. = Variante de lodos activados

X = SSLM (condiciones reales)

La información contenida en la tabla 7.6 (de la siguiente página), referente a la relación de la CSS en función de F/M muestra que, para el caso de las plantas de régimen de mezcla completa de carga intermedia, los valores de condiciones reales encontrados de la CSS (de 0.55 a 2.2 Kg/m²/h), se encontraron muy alejados y menores que los obtenidos de las pruebas de columna (de 5 a 9.6 Kg/m²/h). En algunos casos, los valores obtenidos de éstas pruebas, se acercaron con los valores del límite superior del rango (3 - 6 Kg/m²/h) recomendado por la literatura.

Con respecto a la planta de mezcla completa de aeración extendida, el dato de condiciones reales encontrado para la CSS (3.08 Kg/m²/h), fue menor que el valor obtenido de las pruebas de columna (4.4 Kg/m²/h). Este último quedó cerca del valor superior del rango recomendado en la literatura (5 Kg/m²/h).

En el caso de una de las plantas con flujo de pistón, con F/M = 0.75/día, el valor de la CSS encontrado para las condiciones reales (12.48 Kg/m²/h), no coincidió con el resultado obtenido de las pruebas de columna (3 Kg/m²/h); sin embargo, éste último coincidió con el límite inferior del rango bibliográfico recomendado (3-6 Kg/m²/h).

Tabla 7.6 Datos experimentales, correspondientes a la CSS en función de F/M para ser comparados, con las condiciones reales y datos de la literatura.

Características					CSS Kg/m ² / h			
Planta	RH	VTE	F/M	X _r	CSS	•CSS/FS	CSS	CSS
		L.A.	1/día	g/m ³	gráfica	FS = 2.5	c. reales	Lit.
Club Camp. Mty	C M	C I	0.35	6070	17	6.8	0.55	3.-6.
Agua Ind. Pte.	C M	C I	0.34	3255	24*	9.6	0.71	3.-6.
Agua Ind. Mty	C M	C I	0.36	7275	14	5.6	2.2	3.-6.
PEMEX	C M	C I	0.21	7720	13	5	2.09	3.-6.
Montemorelos	C M	AE	0.09	7400	11	4.4	3.08	1.-5.
C. F. E.	FP	AM	1.9	2085	+	+	1.73	3.-6.
CYDSA	C M	AC	2.	990	+	+	0.55	3.-6.
Papelera Mald.	FP	AC	0.75	5770	7.5	3	12.48	3.-6.

* Datos estimados como aproximados debido a la baja concentración de sólidos suspendidos totales (SST), del lodo de retorno, como se observa en la gráfica correspondiente, fig 7.3.

+ Datos no obtenidos debido a la baja concentración del lodo de retorno.

• Obtenido de la gráfica

AC = Alta carga

AE = Aeración extendida

AM = Aeración modificada

C. = Condiciones (reales)

CI = Carga intermedia

CM = Régimen completamente mezclado

CSS = Carga superficial de sólidos

FP = Régimen de flujo en pistón

F/M = Relación alimento-microorganismos (condiciones reales)

FS = Factor de seguridad

Lit. = Literatura (Metcalf-Eddy, 1985)

RH = Régimen hidráulico

VTE L.A. = Variante de lodos activados

X_r = Concentración de la purga del lodo de retorno (condiciones reales)

En la tabla 7.7, correspondiente a la CSS en función de TRS, se observa que en la mayoría de los casos, los resultados de la CSS de las condiciones reales, fueron menores que los obtenidos de las pruebas de columna.

En el caso de las plantas, con TRS = 6 a 13 días, los valores de la CSS de condiciones reales (0.7 1- 2.2 Kg/m²/h), fueron menores a los obtenidos de las pruebas de columna (3.6, 5.6, 11.2 Kg/m²/h), dos de éstos casos, coincidieron con el rango bibliográfico recomendado (3 - 6 Kg/m²/h).

Para el caso de la planta con TRS = 29.5 días, el resultado obtenido de la CSS de las condiciones reales (3.08 Kg/m²/h), se encontró muy cercano al valor obtenido de la gráfica (4 Kg/m²/h). Este último, coincidió con la información bibliográfica recomendada (3 - 6 Kg/m²/h).

En cuanto una de las plantas de flujo pistón, TRS = 6.5 días, se observa que el valor de la CSS de las condiciones reales (12.48 Kg/m²/h), no coincidió con el resultado obtenido de las pruebas de columna (7.4 Kg/m²/h). Este último fue un poco mayor que el valor superior del rango recomendado en la literatura (3- 6 Kg/m²/h).

Tabla 7.7 Datos experimentales, correspondientes a la CSS en función de TRS para ser comparados, con las condiciones reales y datos de la literatura .

Características					CSS Kg/m ² / h			
Planta	RH	VTE L.A.	TRS días	X _r g/m ³	CSS gráfica	•CSS/FS FS = 2.5	CSS c. reales	CSS Lit.
Club Camp. Mty	CM	CI	-	6070	-	-	0.55	3.-6.
Agua Ind. Pte.	CM	CI	6.	3255	28*	11.2	0.71	3.-6.
Agua Ind. Mty	CM	CI	13.	7275	9	3.6	2.2	3.-6.
PEMEX	CM	CI	7.8	7720	14	5.6	2.09	3.-6.
Montemorelos	CM	AE	29.5	7400	11	4	3.08	1.-5.
C. F. E.	FP	AM	7.	2085	+	+	1.73	3.-6.
CYDSA	CM	AC	1.7	990	+	+	0.55	3.-6.
Papelera Mald.	FP	AC	6.5	5770	18.5	7.4	12.48	3.-6.

* Datos estimados como aproximados debido a la baja concentración de sólidos suspendidos totales (SST), del lodo de retorno, como se observa en la gráfica correspondiente, fig 7.4.

+ Datos no obtenidos debido a la baja concentración de SST del lodo de retorno

• Obtenido de la gráfica

AC = Alta carga

AE = Aeración extendida

AM = Aeración modificada

C. = Condiciones (reales)

CI = Carga intermedia

CM = Régimen completamente mezclado

CSS = Carga superficial de sólidos

FP = Régimen de flujo en pistón

FS = Factor de seguridad

Lit. = Literatura (Metcalf-Eddy, 1985)

RH = Régimen hidráulico

TRS = Edad del lodo ó tiempo de retención celular (condiciones reales)

VTE L.A. = Variante de lodos activados

X_r = Concentración de la purga del lodo de retorno (condiciones reales)

Se obtuvieron muestras de los efluentes sedimentados, tanto de los clarificadores finales como de las columnas de sedimentación, para comparar los resultados de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST). Estos resultados se muestran en la tabla 7.8.

- En dicha tabla, se anexan los valores encontrados de la relación alimento microorganismos (F/M) y de la edad del lodo (TRS), encontrados para cada planta de tratamiento durante su estudio.

- Se observa que varios de los efluentes de la columna presentaron una menor concentración de sólidos suspendidos totales en comparación con el efluente real (del clarificador secundario); en otros se encontraron en la misma concentración.

- Las diferencias entre las concentraciones de los efluentes, en condiciones reales y de las pruebas de columna, pueden deberse a diversos factores, tales como la turbulencia, agitación debida al viento, al movimiento de las rastras del los clarificadores, al movimiento de los lodos, etc.

- Puede verse (en las figs 7.1 y 7.3), que para valores de la relación F/M, comprendidos entre 0.1 y 0.7/día (rango promedio de F/M para el cual se llevó a cabo una sedimentación óptima), la concentración más baja de SST de los efluentes obtenidos de las columnas, varió de 15 a 25 mg/L. Para una F/M < a 0.1/día, el valor encontrado de SST es de 40 mg/L. Para una F/M > 0.65, se encontraron valores de SST de 20 a 40 mg/L en los efluentes.

Por otra parte, en relación a la edad del lodo (TRS), cuyo rango promedio óptimo de sedimentación varió de 4 a 12 días (figs. 7.1, 7.4), las concentraciones óptimas de SST de los efluentes de las columnas de sedimentación, son del orden de 15 a 20 mg/L. Para valores de TRS < 4, la concentración encontrada de SST es de 20 mg/L (se encontró un solo caso), y para TRS > 12 días, se obtuvieron datos de 25 y 40 mg/L de SST en los efluentes.

Tabla 7.8. Datos correspondientes a los SST (sólidos suspendidos totales) del efluente del clarificador secundario (condiciones reales), y del efluente de las columnas de sedimentación (datos experimentales).

Planta	F/M 1/día	TRS días	SST mg/L c. real	SST mg/L c. exp	SST(real) SST(exp)
1. Club Camp de Mty	0.35	-	40	20	2
2. Agua Ind. Pte.	0.34	6.	20	15	1.33
3. Agua Ind. Mty	0.36	13.	35	25	1.42
4. PEMEX	0.21	7.8	20	20	1.
5. Montemorelos	0.09	29.5	45	40	1.11
6. C.F.E	1.9	7.	25	25	1.
7. CYDSA	2.0	1.7	20	20	1.
8. Papelera Mald.	0.75	6.5	45	40	1.11

C. real = Condiciones reales

C. exp = Condiciones experimentales

7.6 DISCUSION DE RESULTADOS

7.6.1 Comparación entre datos experimentales (basados en un factor de seguridad) y valores recomendados en la literatura.

De la tabla 7.4, la mayoría de los valores de CHS en función de F/M, obtenidos de las pruebas de columna (para cada una de las plantas de tratamiento), caen dentro del rango que recomienda la literatura.

- En dos casos de las plantas de mezcla completa con carga orgánica intermedia, los valores de CHS (30.4 y 27.6 m³/m²/d), se acercaron al límite superior del rango bibliográfico (16-32 m³/m²/d). En otro caso, la CHS experimental (22.4), se acercó al promedio de dicho rango.
- Para la planta de mezcla completa con aeración extendida, el valor de la CHS (118 m³/m²/d) obtenido de las pruebas de columna, casi coincidió con el valor promedio del rango recomendado (8-16 m³/m²/d).
- En el caso de una de las plantas de flujo pistón que trabajó con alta carga, el valor experimental de la CHS (28 m³/m²/d), se encontró cercano al límite superior del intervalo bibliográfico recomendado (16-32 m³/m²/d).

De la tabla 7.5 se observa, que en su mayoría, los valores obtenidos de CHS en función de TRS de las pruebas de columna, se encontraron en el intervalo óptimo recomendado en la literatura.

- De las plantas de mezcla completa con TRS = 6-13 días, en un caso, el valor de la CHS experimental (30.4 m³/m²/d), se encontró cercano al límite superior del bibliográfico recomendado (16-32 m³/m²/d). En dos casos, los valores de la CHS (25.6 y 23.8 m³/m²/d), se acercaron al valor promedio del rango mencionado.

- Para el caso de la planta de mezcla completa con TRS = 29.5 días, la CHS experimental ($16.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), se encontró muy cercana al límite superior del intervalo bibliográfico recomendado ($8\text{-}16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$).

- En un caso de las plantas de flujo pistón, el valor de la CHS ($25.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), se encontró cercano al dato promedio del rango reportado en la literatura ($16\text{-}32 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$).

De la tabla 7.6 puede verse, que la mayor parte de los datos experimentales de CSS en función de F/M (obtenidos de las pruebas de columna), coincidieron con el intervalo que recomienda la bibliografía.

- En cuanto a las plantas de mezcla completa de carga orgánica intermedia, en dos casos, los valores experimentales de CSS (6.8 y $9.6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), fueron mayores que el intervalo recomendado ($3\text{-}6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$). En los otros dos casos, los datos de la CSS obtenidos (5 y $5.6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), se encontraron cercanos al límite superior de dicho intervalo.

- Para la planta de mezcla completa con aeración extendida, el valor experimental de la CSS ($4.4 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), se encontró cercano al límite superior del rango bibliográfico reportado ($1\text{-}5 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$).

- En uno de los dos casos de las plantas de flujo pistón, el valor de la CSS obtenido de las pruebas de columna ($3 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), se encontró dentro del intervalo recomendado ($3\text{-}6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), coincidiendo con el límite inferior.

De la tabla 7.7 se observa, que en algunos casos, los valores experimentales de la CSS en función de TRS, coincidieron con el intervalo que recomienda la literatura.

- Para las plantas de mezcla completa con TRS de 6-13 días, dos casos (3.6 y $5.6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), se encuentran dentro del rango recomendado ($3\text{-}6 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{h}$), un valor se acercó al promedio y el otro al límite superior. En otro caso, el dato

de CSS obtenido (11.2 Kg/m²/h) se encontró muy por arriba del rango mencionado.

- La planta de mezcla completa con TRS = 29.5 días trabajó con una CSS experimental de 4 Kg/m²/h, éste valor se encontró cercano al límite superior del intervalo bibliográfico recomendado (1-5 Kg/m²/h).
- En un caso de las plantas de flujo pistón, el valor obtenido de la CSS (7.4 Kg/m²/h), fue un poco mayor del límite superior que recomienda la bibliografía (3-6 Kg/m²/h).

7.7 EMPLEO DE LAS GRAFICAS OBTENIDAS

Para hallar la CHS o la CSS de un caso dado, con el dato o datos de la relación F/M y TRS deseados (localizados en el eje de las abscisas de las figs 7.1 a 7.4), se busca la intersección con la curva correspondiente, a la concentración deseada de X ó X_r (Sólidos suspendidos del licor mixto ó sólidos suspendidos totales de retorno), posteriormente se lee en el eje de las ordenadas, el valor de la CHS y/o CSS que corresponde para determinar el área de clarificación o espesamiento, según se requiera). Un ejemplo de aplicación de las gráficas fue expuesto en la pág 90 para el caso de la planta de Montemorelos.

El valor obtenido de la ordenada en la cual se intersectó, se divide entre el factor de seguridad como el considerado en éste estudio, el cual fue de 2.5.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

1. Las plantas de tratamiento de lodos activados que abarca el presente estudio, se encuentran en el estado de Nuevo León, principalmente en el área Metropolitana de la Ciudad de Monterrey; son de diversas capacidades (de funcionamiento), modo de operación, método de aeración, tipo y cantidad del agua afluyente; de ésta manera se puede asegurar que el desarrollo de las relaciones obtenidas de las pruebas de sedimentación efectuadas, es aplicable a las condiciones locales. Esto se sustenta en lo siguiente:

- En general, los valores de la CHS y CSS de las **pruebas de columna** efectuadas, mostraron similitud entre las plantas de tratamiento de régimen completamente mezclado, que trabajaron con carga orgánica intermedia.

- La planta de mezcla completa de aeración extendida, aún cuando trabajó con baja F/M (baja carga orgánica) y un elevado valor de TRS, tuvo semejanza de los valores de CHS y CSS, con los de las plantas de mezcla completa con carga orgánica intermedia.

- La planta de régimen completamente mezclado, de alta carga orgánica (elevada F/M), presentó un comportamiento diferente, se observó que requieren valores de CHS y CSS menores que las demás plantas de mezcla completa.

- En general, los valores obtenidos de las pruebas de columna para la CHS y CSS de las plantas de mezcla completa, fueron un poco mayores que los de las plantas de flujo de pistón.

- Las plantas de flujo de pistón se comportaron de manera similar entre sí, por la semejanza de valores de CHS y CSS.

2. En las **pruebas de sedimentación de columna**, los valores que se obtuvieron tanto para la CHS como para la CSS, en la mayoría de las plantas de tratamiento coincidieron o se acercaron más, **al límite superior del rango recomendado en la literatura**. En general se tiene que:

- El 63% coincidieron o se acercaron al límite superior del rango de valores recomendados en la literatura técnica.

- El 23% coincidieron o se acercaron al promedio de dicho rango.

- El 14% coincidió con el límite inferior del intervalo bibliográfico recomendado.

3. Los valores de la CHS y CSS, de las **condiciones reales de operación** de los sistemas de tratamiento durante los días de prueba, para el caso de la **planta de tratamiento de régimen de mezcla completa con aeración extendida**, coincidieron o se encontraron muy cercanos a los resultados obtenidos de las **pruebas de columna** (experimentales). Estos últimos, coincidieron a la vez con el rango de los **valores recomendados en la literatura**.

4. En general, los valores de CHS y CSS de las **condiciones reales de operación** de la mayoría de las plantas estudiadas, indicaron condiciones de sobredimensionamiento de los clarificadores finales **durante los días de prueba**, ya que los valores de la CHS y CSS de las condiciones reales, se encontraron menores que los obtenidos **experimentalmente** (de las columnas de sedimentación), en un solo caso (planta con flujo de pistón y alta carga), se detectaron condiciones de subdimensionamiento del clarificador final, durante el período de estudio.

5. De la comparación de la calidad de los efluentes, de los **clarificadores finales** y de las **columnas de sedimentación** puede decirse que, aún cuando fueron muy parecidos, no fueron consistentemente mayores o menores al ser comparados, debido a los efectos que intervinieron en la sedimentación para cada caso (por ejemplo diferentes tiempos de sedimentación).

6. En general, en las plantas de tratamiento estudiadas con valores intermedios de F/M y/o TRS, la concentración de SST en el efluente del **clarificador final** (real o a escala completa), fue menor que para valores extremos de dichos parámetros.

7. En éste trabajo, los resultados obtenidos para clarificación, figs 7.1 y 7.2 (valores de CHS para las correlaciones **CHS f(F/M)** y **CHS f(TRS)**), coincidieron en el intervalo estudiado para las concentraciones de 1000 a 4000 mg/L de SSLM .

8. En éste trabajo, los resultados obtenidos para espesado, figs 7.3 y 7.4 (valores de CSS para las correlaciones **CSS f(F/M)** y **CSS f(TRS)**), coincidieron en el intervalo estudiado para las concentraciones de 4000 a 10000 mg/L de SST del lodo espesado .

CAPITULO 9

RECOMENDACIONES

9. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable para el dimensionamiento de los clarificadores finales, el empleo de los parámetros: Carga hidráulica superficial (CHS) Y Carga superficial de sólidos (CSS).

Se recomienda que las gráficas resultantes (figs. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4), sean utilizadas solamente para las condiciones locales (temperatura del agua de 26-31°C) de las cuales se derivaron ya que, para diferentes características de ubicación y operación, los resultados de las pruebas de columna efectuadas pueden no ser extrapolables. Se debe emplear un factor de seguridad apropiado (en éste trabajo se empleó un factor de seguridad de 2.5).

2. Se recomienda tomar en cuenta las siguientes consideraciones, para el empleo adecuado de las figuras mencionadas en el punto anterior y obtener los valores óptimos de CHS y CSS .

- Las curvas de la figura 7.1, CHS en $f(F/M)$, son aplicables para valores de SSLM comprendidos entre 1000-4000 mg/L y F/M de 0.1/día a 2.0/día.

- Las curvas de la figura 7.2, CHS en $f(TRS)$, son aplicables para valores de SSLM en el rango de 1000 a 3000 mg/L y TRS de 2-30 días. Para un rango de SSLM de 3000 a 4000 mg/L, son aplicables para valores de TRS mayores de 7 días.

- Las curvas de la figura 7.3, CSS en (F/M) , son aplicables en plantas de lodos activados para valores de SST en lodos de retorno, en el rango de 4000 a 10000 mg/L y F/M de 0.1 a 2.0/día.

- Las curvas de la figura 7.4, CSS en $f(\text{TRS})$, son aplicables para valores de SST en el lodo de retorno para el intervalo de 4000 a 8000 mg/L y TRS de 2 a 30 días). En el rango de 8000 a 10000 mg/L, son aplicables para valores de TRS mayores de 3 días.

Nota: Los valores de CHS y/o CSS que se obtengan de las gráficas mencionadas, deberán afectarse por un factor de seguridad de 2.0 a 2.5.

3. En referencia al punto 2 del capítulo anterior, (Conclusiones); para casos de diseño de clarificadores finales (de plantas de tratamiento de lodos activados), en los que se desee utilizar la información reportada en la literatura técnica (21), se recomienda que se empleen valores de CHS y CSS, que se encuentren entre el valor promedio y el límite superior del rango recomendado. Por ejemplo:

- Si el intervalo de valores de CHS que recomienda la literatura es de 16 a 32 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, es recomendable utilizar un valor comprendido entre 28 y 32 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

4. Durante la etapa experimental de éste trabajo, pudo observarse que la mayoría de las plantas de tratamiento visitadas, no cuentan con dispositivos para medición de flujos, tanto en la recirculación de los lodos, como de la purga de excesos de los mismos y en algunos casos no funciona adecuadamente el medidor de entrada del agua cruda por tratar.

Para poder mantener las condiciones de operación óptimas del proceso de lodos activados (en el prototipo), se recomienda contar con los dispositivos adecuados para medición de flujo; de ésta manera, podrán obtenerse y controlarse fácilmente los parámetros de funcionamiento que se consideren pertinentes (relación alimento-microorganismos, edad del lodo, flujo de recirculación, flujo de la purga de lodos de los sedimentadores primario y secundario).

En la práctica de los procesos de tratamiento mediante el sistema de lodos activados, en muchos casos, en los que el caudal de entrada del agua cruda al sistema es demasiado variable, es recomendable implementar una unidad que proporcione un flujo menos variable o constante del agua a tratar (tanques igualadores).

CAPITULO 10

REFERENCIAS

REFERENCIAS

1. Adams C. E., Ford D. L., Eckenfelder W.W. 1981. Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment. Enviro Press Inc. Box. 40284, Nasaville Tennesse, 37204. C:B:I: Publishing Co. Inc. 51 Sleeper Street, Boston, M:A. 02210 (E.U.A.). pp 359-370.
2. Ali San Hasan. 1989. Analitical Approach for Evaluation of Settling Columna Data. Journal of Environmental Engineering 115:2:455-461.
3. Bhargava D.S., Rajagopal. 1993. Diferentiation Between Transition zone and Compression in zone settling. Wat. Res. 27:3:557-463.
4. Cashion Bryans, Kernath Tomas M. 1983. Influence of Tree Factors on Clarification in the Activated Sludge Process. Jour. Water Pollut. Control. Fed. 55:11:1331-1337.
5. Chapman David T. 1983. The Influence of Process Variables on Secondary Clarification. Jour. Water Pollut. Control Fed. 55:12:1425-1433.
6. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS). 1981. Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua. Serie Técnica 13. Segunda reimpresión, Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. CEPIS, Perú. pp 112.
7. Daigger G.T., Roper R.E., 1985. The Relationship Between SVI and Activated Sludge Settling Characteristics. Jour. Water Pollut. Control Fed. 57:08:859-866.
8. Damel E.E. and Shroeder E.D. 1992 Coment on "Density of Activated Sludge Solids". 1992. Wat. Res. 26:11:1555-1556.
9. Damel E.E. and Sroeder E.D. 1991. Density of Activated Sludge Solids. Wat. Res. 25:7:841-846.
10. Dick Richard I, Fellow., ASCE. 1991. Discussion Analitical Approach for Evaluation of Settling Column Data. Journal of Environmental Engineering. 17:01:152-155.

11. Dick Richard I., Vesilind P. Arane. 1969. The Sludge Volume Index What is it? Jour. Wat. Pollut. control Fed. 41:07:1285-1291.
12. Dixon D. Christoper. 1985. Capacity and Control of Clarifiers and Thickeners. Jour. Water Pollut. Control Fed. 57:1:46-52.
13. Echeverria E., Seco A., FerrerJ. 1993. Control of Activated Sludge Settleability using Preaeration and Precipitation. Wat. Res. 27:2:293-296.
14. Eckenfelder W. W., Ford D. L. 1970. Water Pollut. Control Experimental Procedures for Process Design. The Pemberton Press. Jenkins Publishing Co. Austin and New York. pp 67-73, 220-233.
15. Edwards Gary L., Sherrard Joseph H. 1982. Measurement and Validity of oxygen uptake as an Activated Sludge Process Control Parameter. Jour. Water Pollut. Control. Fed. 54:12:1546-1557.
16. Greenberg Arnold E., Clescer Leonore S. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18 Th Ed. APHA, AWWA, WEF.
17. Healey Marcus J. 1989. Improvements in the Activated Sludge Process in the U.K. and U.S. Jour. Water Pollut. Control Fed. 61:4:447-451.
18. Knocke R. William. 1986. Efects of floc volume variations on Activated Sludge Thickening Characteristics. Jour. Water Pollut. Control Fed. 58:7:784-791.
19. Lawyer Desmond F, Singer Philip C. 1984. Return Flows from Sludge Treatment. Journal Water Pollut. Control fed. 56:2:118-126.
20. Max Lothar Hess. Espesamiento de Lodos: a gravedad y por flotación. Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamiento basico e de Defesa do Meio Ambiente (CETESB). CEPIS y CIFCA; Brasil. pp 1-8.
21. Metcalf-Eddy. 1985. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. 2a. Edición Editorial Labor. pp 513-625.
22. Morris James W., Batchelder Adams, Tozer Hug G. 1989. Activated Sludge Secondary Solids Flux Variability. Jour. Water Pollut Control fed. 61:01:73-82.
23. Mulbarger Michael C., Zacharias Kenneth L., Nazir F., Patrick D. 1985. Activated Sludge reactor/final clarifier Linkages: Success demands fundamental understanding. Jour. Water Pollut. Control Fed. 57:09:921-928.
24. Neketin H. Timothy. 1985. Simplified Laboratory Procedures for Wastewater Examination a Special Publication. WPCF. Washington.

25. Patry G.G. and Takacs I. 1992. Settling of Flocculent Suspensions in Secondary Clarifiers. Wat. res. 26:4:473-479.
26. Quiroga R., Taméz J. Uso y Conservación del Agua en el Estado de Nuevo León. 1988. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.
27. SISTELEON. 1991, 1993. Agua en el Estado de Nuevo León, Situación actual y futura. Gobierno del Estado.
28. Shroeder Edward D. 1977. Water and Wastewater treatment. Mc. Graw Hill.
29. Takacs I., Patry G.G., Nolassco D. 1991. A Dynamic Model of the Clarification-Thickening Process. Wat. Res. 25:10:1263-1271.
30. Tay Andrew Too-Hwa, Heinke Gary W. 1983. Velocity and Suspended Solids Distribution in Settling Tanks. Jour. Water Pollut. Control Fed. 55:03:261-269.
31. Tuntoolavest Musin, Miller Eli, Grady C. 1983. Factors Affecting the Clarification performance of Activated Sludge final settlers. Jour. Water Pollut. Control Fed. 55:03:234-238.
32. Wahlberg Eric J., Keinath Tomas M. 1988. Development of Settling flux curves using SVI. Jour. Water Pollut. Control fed. 60:12:2095-2100.

ANEXO 1

TABLAS

El presente anexo contiene, para cada una de las plantas de tratamiento estudiadas, las tablas de datos obtenidas del análisis de flujo de sólidos, del cual se mencionó un ejemplo en la sección 6.1.2 del capítulo 6 de éste trabajo.

Tablas 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo para diferentes concentraciones de sólidos.

Tablas 1.2 Datos de la velocidad inicial de sedimentación para cada prueba a la concentración dada de sólidos.

Tablas 1.3 Datos de la carga hidráulica superficial (CHS) para cada prueba, a la concentración dada de sólidos.

Tablas 1.4 Datos correspondientes a la carga hidráulica superficial a la concentración deseada de sólidos, del área de clarificación.

Tablas 1.5 Datos de la velocidad de sedimentación para cada prueba a la concentración deseada de sólidos.

Tablas 1.6 Datos correspondientes a la carga superficial de sólidos, a la concentración deseada del lodo del fondo.

PLANTAS DE TRATAMIENTO ESTUDIADAS:

- Planta de tratamiento 1: Club Campestre de Monterrey, A.C.
- Planta de tratamiento 2: Agua Industrial del Poniente S.A. de C.V.
- Planta de tratamiento 3: Agua Industrial de Monterrey, S. de U.
- Planta de tratamiento 4: Petróleos Mexicanos (PEMEX)
Planta San Rafael
- Planta de tratamiento 5: Montemorelos*
- Planta de tratamiento 6: Comisión Federal de Electricidad
Planta Termoeléctrica Monterrey
- Planta de tratamiento 7: Celulosa y Derivados, S.A. de C.V.
(CYDSA) Planta Copropiedad
- Planta de tratamiento 8: Papelera Maldonado, S.A.

* La información para ésta planta se omite en éste anexo, dado que se encuentra reportada en la sección 6.1.2 del capítulo 6 (pág 47).

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.

Planta de tratamiento 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A. C.

Altura de la interfase sólido-líquido (cm), a la concentración C_o (SSLM)				
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	$C_o = 990$ mg/L	$C_o = 1385$ mg/L	$C_o = 2390$ mg/L
9/jun /93	0	90	90	90
	1	88.5	89.5	88.5
	2	88	89	87
	3	86	87	86
	5	85	78	84
	10	30	35.2	62
	15	16	21	41
	20	13	14	24
	30	8	12	13.5
	45	6	10	11
	60	5.5	8	10
	120	5.2	7.5	9.5
fecha	Tiempo	$C_o = 1160$	$C_o = 2130$	$C_o = 2470$
10/jun/93	0	90	90	90
	1	88	88.5	89.5
	2	87	85	85.5
	3	80	83	80
	5	60	68	68.5
	10	28	30.5	41
	15	13	21	31.5
	20	12	18	23
	30	8.5	14	18
	45	6.5	8.5	12.5
	60	6	8	10
	120	5.5	7.5	9.5

* Datos correspondientes a la fig 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla 1.1 Continuación

Planta de tratamiento 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración C_0 (SSLM)				
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	$C_0 = 740$ mg/L	$C_0 = 1460$ mg/L	$C_0 = 1850$ mg/L
11/jun /93	0	90	90	90
	1	89.5	89	89.6
	2	89	87	88.5
	3	85	86	87
	5	67.5	77	82
	10	30	37	55.5
	15	20.5	23.5	40.5
	20	15	18	32
	30	12	13.5	21.5
	45	10	9.5	15
	60	8	8.5	12.5
	120	7	8	11

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.
 Planta de tratamiento 2: AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 2450 mg/L	Co = 2735 mg/L	Co = 3250 mg/L	-
16/jun /93	0	90	90	90	-
	5	81	87	87.8	-
	10	43	44.5	68	-
	15	35.5	38	49	-
	20	30	30.5	42	-
	30	22	25	32	-
	45	15	16	20	-
	60	12	13.5	16.5	-
	120	9.5	11	13.5	-
fecha	Tiempo	Co = 2930	Co = 3110	Co = 4315	Co = 5015
17/jun/93	0	90	90	90	90
	5	88	88	86	88.5
	10	59	70	80	84
	15	46	58	70	76
	20	31.5	38	54	63
	30	26	28.5	42	48
	45	18.5	22	29.5	41
	60	17	19	23	30
	120	13.5	15.4	18.5	23

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla 1.1 continuación

Planta de tratamiento: 2 AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

Altura de la interfase solido-líquido (cm) a la concentración C_o					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	$C_o = 3700$ mg/L	$C_o = 5690$ mg/L	$C_o = 7070$ mg/L	$C_o = 8010$ mg/L
18/jun /93	0	90	90	90	90
	5	86	88	88.5	90
	10	76.5	82.5	86.5	87.5
	15	56.5	76	78	81
	20	43.5	66	70	75
	30	28	47.5	55	62.5
	45	21	33	40	45
	60	16	25.5	34	37.5
	120	15.5	22	28	33

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.

Planta de tratamiento 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S.DE U.

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración C_0 (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	$C_0 = 4235$ mg/L	$C_0 = 4610$ mg/L	$C_0 = 6245$ mg/L	-
7/jul/93	0	90	90	90	-
	1	89.8	90	90	-
	2	89.5	90	90	-
	3	89.3	90	90	-
	5	85	89.5	90	-
	10	73.5	88.7	89.2	-
	15	65	86.5	88	-
	20	60.2	75	86.5	-
	30	44.5	66.2	79	-
	45	30	53	65	-
	60	23	45	51.7	-
	90	20	35	43	-
	120	15	24.5	31	-
	fecha	Tiempo	$C_0 = 1955$	$C_0 = 3390$	$C_0 = 3875$
8/jul/93	1	90	90	90	90
	2	89.8	90	90	90
	3	88.5	89.7	89.8	90
	5	88.8	89.3	89.5	89.8
	10	65	88	88.3	88.5
	15	37.5	86	86	86.6
	20	31	75.5	81	82.5
	30	23	54.5	69.5	71.2
	45	17	37	48.5	54.5
	60	13	26.5	36.5	45
	120	11	16.5	21	28

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla 1.1 continuación

Planta de tratamiento 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S.DE U.

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 2145 mg/L	Co = 3850 mg/L	Co = 4350 mg/L	Co = 4485 mg/L
9/jul /93	0	90	90	90	90
	1	90	90	90	90
	2	88	90	90	90
	3	83	89.9	90	90
	5	73	89.7	88.5	89.8
	10	49.5	84	84	87.5
	15	36	74	76	80.5
	20	27.8	62	67.5	73.5
	30	18.5	50	52.5	58
	45	15	35.2	40	44
	60	11.5	28	31.5	36.5
	120	7.5	17.8	20	24.5
fecha	Tiempo	Co = 2050	Co = 3235	Co = 3750	Co = 5210
10/jul/93	0	90	90	90	90
	1	90	90	90	90
	2	88	90	90	90
	3	85	89.8	90	90
	5	74	88.7	88.8	89.8
	10	45	84	85	89.3
	15	34.5	73	80.5	88.7
	20	28.5	63	75	85.5
	30	22	47	57	79.2
	45	15	38.2	41.5	68
	60	12	26.5	32	54
	120	10.3	16	19	31

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.

Planta de tratamiento 4: PEMEX, PLANTA SAN RAFAEL

Altura de la interfase sólido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 2285 mg/L	Co = 4225 mg/L	Co = 4630 mg/L	Co = 7880 mg/L
14/jul/93	0	90	90	90	90
	1	90	90	90	90
	2	90	90	90	90
	3	88.8	88.9	90	90
	5	84.5	88.5	89	89.5
	10	69	80.5	86	87
	15	52	67	83	85
	20	40	58	77.5	80.8
	30	26.5	41.3	63	73
	45	21.5	32	46	62
	60	20	29	36.5	54.5
	90	16.5	26	34.5	52
	120	16	25.7	34	-
fecha	Tiempo	Co = 2290	Co = 4235	Co = 5180	Co = 5940
15/jul/93	1	90	90	90	90
	2	89.8	90	90	90
	3	89.5	90	90	90
	5	88	88.5	88.8	90
	10	74	85	86.2	87.5
	15	56	77.5	83	84
	20	40	74	80.8	81
	30	27	63.8	75.5	76.3
	45	21	47	65	68.5
	60	20.5	36	52.5	62
	90	20.2	34.5	47	-
	120	19.7	33.5	-	-

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla 1.1 Continuación

Planta de tratamiento 4: PEMEX, PLANTA SAN RAFAEL

Altura de la interfase solido-líquido (cm) a la concentración Co					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 2370 mg/L	Co = 4035 mg/L	Co = 5005 mg/L	Co = 5590 mg/L
16/jul/93	0	90	90	90	90
	1	90	90	90	90
	2	89.7	90	90	90
	3	89.5	89.7	90	90
	5	89	89	89.2	89.5
	10	86	86.3	87	88.5
	15	75	78.5	84	85.3
	20	48	70	80.2	81.5
	30	35	57	62.5	72
	45	25	39	55.5	61
	60	21	33	44.5	53
	90	20.5	32	41	51.5
	120	20	31	39	51

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.
 Planta de tratamiento 6: C. F. E. TERMOELECTRICA MONTERREY

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 565 mg/L	Co = 4384 mg/L	Co = 5768 mg/L	-
25/ago /93	0	90	90	90	-
	1	80	85	90	-
	2	60	79	90	-
	3	50	73	88.7	-
	5	40	54	88	-
	10	14.5	39	70	-
	15	3.8	31.5	50	-
	20	3.5	25.2	40.3	-
	30	3.4	19.7	28.8	-
	45	3.2	14.5	21	-
	60	3	13	16.7	-
	90	2.9	12.2	15.3	-
	120	2.8	12	14.2	-
fecha	Tiempo	Co = 470	Co = 2655	Co = 3860	Co = 5060
27/ago/93	0	90	90	90	90
	1	89	89.5	89.7	89.7
	3	60	88.4	89	89.4
	5	14.5	87.4	88	88.8
	10	14	79.2	83	88
	15	9	68.5	82	84.5
	20	7.3	64	76.8	79.7
	30	5.7	43	64.5	69
	45	4.7	28.6	49	50
	60	4.3	21.5	37.6	44
	90	4	15.3	25.7	31.4
	120	3.8	13.3	21	25.4

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla I.1 Continuación

Planta de tratamiento 6: C. F. E. TERMOELECTRICA MONTERREY

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 465 mg/L	Co = 2445 mg/L	Co = 3870 mg/L	Co = 4880 mg/L
28/ago /93	0	90	90	90	90
	1	80	-	89.8	90
	2	-	-	89.5	89.8
	3	55	-	89.2	89
	5	33	85	88	88.5
	10	12.7	76	87.7	87.5
	15	9	68	85	85.8
	20	6.8	60	70	79
	30	5.5	42.5	57.2	71
	45	4.7	29.7	39.3	58.5
	60	4.3	22.8	33	48
	90	4	16.4	25.3	34
	120	3.8	14	20	25.3

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.
 Planta de tratamiento 7: CYDSA, PLANTA COPROPIEDAD

Altura de la interfase sólido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 250 mg/L	Co = 920 mg/L	Co = 1270 mg/L	Co = 1375 mg/L
2/sep/93	0	90	90	90	90
	2	90	90	90	90
	3	89.5	89.7	90	90
	5	80	89	89.8	90
	10	60	74	86	89.8
	15	28	59	77	89
	20	23	46	68	87
	30	17	36.2	54	75
	45	12.3	26.5	40	57
	60	8.5	20	31	42
	90	5.7	11.7	18.7	27
	120	4.8	8.7	12.5	18.8
fecha	Tiempo	Co = 245	Co = 1315	Co = 1560	Co = 1740
3/sep/93	0	90	90	90	90
	2	90	90	90	90
	3	90	90	90	90
	5	81	88	90	90
	10	44	75	88.3	89.3
	15	20	60.7	79.3	88
	20	16.5	50	70.8	84
	30	12.5	38.5	54.5	72.2
	45	8.5	29	39.3	56
	60	6	20.5	30	42.5
	90	5	12.5	18.5	26.7
	120	4.5	9.5	13.5	18.5

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Tabla 1.1 Datos de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo*.
 Planta de tratamiento 8: PAPELERA MALDONADO, S.A.

Altura de la interfase sólido-líquido (cm) a la concentración C_o					
Fecha de muestreo	Tiempo minutos	$C_o = 1500$ mg/L	$C_o = 2430$ mg/L	$C_o = 2960$ mg/L	$C_o = 3870$ mg/L
14/sep/93	0	90	90	90	90
	1	90	90	90	90
	2	89.8	89.5	89.5	89.8
	3	88.5	89.3	89.3	89.7
	5	82	89	89.2	89.5
	10	71.5	88.5	88	89
	15	59.5	86.8	87	87
	20	45	82	84.7	86.5
	30	33	73	83	83.5
	45	23.5	57.5	69.7	76.5
	60	19.5	45	61.5	70
	90	18.2	28	45	55.7
	120	17.9	22.6	38	42
Fecha	Tiempo	$C_o = 1920$	$C_o = 3100$	$C_o = 4570$	$C_o = 4700$
15/sep/93	1	90	90	90	90
	2	89.5	89.8	89.8	90
	3	89	89.5	89.6	89.8
	5	89	89	89.3	89.6
	10	88	89	89	89
	15	73	88	88.3	88.7
	20	59	87.5	88	88.5
	30	45	87	88	88.5
	45	31	70	73	78
	60	23	60	65	70
	90	17	38	45	48
	120	16.5	27	31.5	35

* Datos correspondientes a la fig. 2.1 del anexo 2

Continúa

Tabla 1.1 Continuación

Planta de tratamiento 8: PAPELERA MALDONADO, S.A.

Altura de la interfase solido-líquido (cm), a la concentración Co (SSLM)					
fecha de muestreo	Tiempo minutos	Co = 2000 mg/L	Co = 3125 mg/L	Co = 3750 mg/L	Co = 5180 mg/L
18/sep/93 1er muestreo	0	90	90	90	90
	1	89.5	89.8	90	90
	2	89	89.7	89.8	90
	3	88.5	89.7	89.7	89.8
	5	88	89.5	89.5	89.5
	10	83	88.5	88	88.7
	15	74	86.5	87.5	87.7
	20	61	84	86	86.5
	30	40	76	82.5	84
	45	26.5	61	73.5	80
	60	19	46	57	72.5
	90	16	28	37	57.7
	120	14.5	25	29	50
Fecha	Tiempo	Co = 2260	Co = 3810	Co = 3730	Co = 4870
18/sep/93 2do muestreo	0	90	90	90	90
	1	89.6	89.8	90	90
	2	89	89.5	90	90
	3	88.5	89.4	89.8	89.8
	5	87.5	89	89.5	89.5
	10	80	87.5	88.5	89
	15	68	86	86.7	88.3
	20	57	83	83.8	87.5
	30	40	76.3	75.5	85
	45	26	61.5	62.5	79.5
	60	20.5	43	49	69.5
	90	16	30	36	50
	120	15.5	23.5	28.5	36.5

Tabla 1.2 Datos de la velocidad inicial de sedimentación para cada prueba a la concentración dada de sólidos.

Planta 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)					
	9/jun/93		10/jun/93		11/jun/93	
990	7.3	(4.38)	-	-	-	-
1385	6.2	(3.72)	-	-	-	-
2390	4.2	(2.52)	-	-	-	-
1160	-	-	7.6	(4.56)	-	-
2130	-	-	6.3	(3.78)	-	-
2470	-	-	5.5	(3.33)	-	-
740	-	-	-	-	6.9	(4.14)
1460	-	-	-	-	6.2	(3.72)
1850	-	-	-	-	5	(3.0)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3 para cada caso de este anexo.

Planta 2: AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)					
	16/jun/93		17/jun/93		18/jun/93	
2450	4.75	(2.85)	-	-	-	-
2735	4.20	(2.52)	-	-	-	-
3250	3.75	(2.25)	-	-	-	-
2930	-	-	3.56	(2.13)	-	-
3110	-	-	2.8	(1.68)	-	-
4315	-	-	2.46	(1.47)	-	-
5015	-	-	1.90	(1.14)	-	-
3700	-	-	-	-	3	(1.80)
5690	-	-	-	-	1.65	(0.99)
7070	-	-	-	-	1.56	(0.93)
8010	-	-	-	-	1.2	(0.72)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Continúa

Tabla 1.2 Continuación

Planta 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)							
	7/jul/93		8/jul/93		9/jul/93		10/jul/93	
4235	1.4	(0.84)	-	-	-	-	-	-
4610	0.97	(0.58)	-	-	-	-	-	-
6245	0.9	(0.54)	-	-	-	-	-	-
1955	-	-	4.45	(2.67)	-	-	-	-
3390	-	-	1.95	(1.17)	-	-	-	-
3875	-	-	1.3	(0.78)	-	-	-	-
5615	-	-	1.16	(0.69)	-	-	-	-
2145	-	-	-	-	4.2	(2.52)	-	-
3850	-	-	-	-	1.75	(1.05)	-	-
4350	-	-	-	-	1.48	(0.88)	-	-
4485	-	-	-	-	1.45	(0.87)	-	-
2050	-	-	-	-	-	-	4.87	(2.92)
3235	-	-	-	-	-	-	1.95	(1.17)
3750	-	-	-	-	-	-	1.40	(0.84)
5210	-	-	-	-	-	-	0.72	(0.43)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Planta 4: PEMEX, PLANTA SAN RAFAEL

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)					
	14/jul/93		15/jul/93		16/jul/93	
2285	2.86	(1.71)	-	-	-	-
4225	2	(1.20)	-	-	-	-
4630	1.15	(0.69)	-	-	-	-
7880	0.75	(0.45)	-	-	-	-
2290	-	-	3.14	(1.88)	-	-
4235	-	-	1.05	(0.63)	-	-
5180	-	-	0.69	(0.41)	-	-
5940	-	-	0.52	(0.31)	-	-
2370	-	-	-	-	4	(2.4)
4035	-	-	-	-	1.4	(0.84)
5005	-	-	-	-	1.25	(0.75)
5590	-	-	-	-	0.84	(0.50)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Continúa

Tabla 1.2 Continuación

Planta 6: C.F.E. PLANTA TERMoeLECTRICA MONTERREY

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)					
	25/ago/93		27/ago/93		28/ago/93	
565	13	(7.8)	-	-	-	-
470	-	-	13.3	(7.98)	-	-
2655	-	-	1.89	(1.13)	-	-
3860	-	-	1.23	(0.73)	-	-
5060	-	-	1.1	(0.66)	-	-
465	-	-	-	-	11.5	(6.9)
2445	-	-	-	-	1.6	(0.96)
3870	-	-	-	-	1.5	(0.9)
4880	-	-	-	-	0.84	(0.50)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Planta 7: CYDSA, PLANTA COPROPIEDAD

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)			
	2/sept/93		3/sept/93	
250	5.3	(3.18)	-	-
920	3.2	(1.92)	-	-
1270	1.54	(0.92)	-	-
1375	1.3	(0.78)	-	-
245	-	-	7.2	(4.32)
1315	-	-	3.02	(1.81)
1560	-	-	1.75	(1.05)
1740	-	-	1.18	(0.70)

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Continúa

Tabla 1.2 Continuación

Planta 8: PAPELERA MALDONADO, S.A.

SSLM, mg/L	Velocidad de sedimentación zonal, cm/min, (m/h)							
	14/sept/93		15/sept/93		18/sept/93*		18/sept/93**	
1500	2.48	(1.48)	-	-	-	-	-	-
2430	0.99	(0.59)	-	-	-	-	-	-
2960	0.66	(0.39)	-	-	-	-	-	-
3870	0.49	(0.29)	-	-	-	-	-	-
1920	-	-	3.15	(1.89)	-	-	-	-
3100	-	-	1.10	(0.66)	-	-	-	-
4570	-	-	1.16	(0.69)	-	-	-	-
4700	-	-	1.14	(0.68)	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	2.5	(1.50)	-	-
3124	-	-	-	-	1.04	(0.62)	-	-
3749	-	-	-	-	0.98	(0.58)	-	-
5180	-	-	-	-	0.57	(0.34)	-	-
2260	-	-	-	-	-	-	2.27	(1.36)
3810	-	-	-	-	-	-	1.27	(0.76)
3730	-	-	-	-	-	-	0.98	(0.58)
4870	-	-	-	-	-	-	0.79	(0.47)

* Primer muestreo

* Segundo muestreo

Fuente: Figura 2.1, anexo 2

Correspondiente a la tabla 1.3

Tabla 1.3 Datos de la Carga hidráulica superficial (CHS) para cada prueba, a la concentración dada de sólidos.

Planta 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	**CHS (m ³ /m ² /día)
990	(4.38)	105.12
1385	(3.72)	89.28
2390	(2.52)	60.48
1160	(4.56)	109.44
2130	(3.78)	90.72
2470	(3.33)	79.2
740	(4.14)	99.36
1460	(3.72)	89.28
1850	(3.0)	72

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

*Vel sed = Velocidad de sedimentación

**CHS = Vel sed (m/h)(24 h/día)

Planta 2: AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	CHS (m ³ /m ² /día)
2450	(2.85)	68.4
2735	(2.52)	60.48
3250	(2.25)	54
2930	(2.13)	51.12
3110	(1.68)	40.32
4315	(1.47)	35.3
5015	(1.14)	27.36
3700	(1.80)	43.2
5690	(0.99)	23.76
7070	(0.93)	22.46
8010	(0.72)	17.28

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

Vel sed = Velocidad de sedimentación

Continúa

Tabla 1.3 Continuación

Planta 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	**CHS (m ³ /m ² /día)
4235	(0.84)	20.16
4610	(0.58)	13.96
6245	(0.54)	12.96
1955	(2.67)	60.08
3390	(1.17)	28.08
3875	(0.78)	18.72
5615	(0.69)	16.6
2145	(2.52)	60.48
3850	(1.05)	25.2
4350	(0.88)	21.12
4485	(0.87)	20.88
2050	(2.92)	70.13
3235	(1.17)	28.08
3750	(0.84)	20.16
5210	(0.43)	10.36

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

*Vel sed = Velocidad de sedimentación

**CHS = Vel sed (m/h)(24 h/día)

Planta 4: PEMEX, PLANTA SAN RAFAEL

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	CHS (m ³ /m ² /día)
2285	(1.71)	41.04
4225	(1.20)	28.8
4630	(0.69)	16.56
7880	(0.45)	10.8
2290	(1.88)	45.2
4235	(0.63)	15.12
5180	(0.41)	9.84
5940	(0.31)	7.44
2370	(2.4)	57.6
4035	(0.84)	20.16
5005	(0.75)	18
5590	(0.50)	12

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

Vel sed = Velocidad de sedimentación

Continúa

Tabla 1.3 Continuación

Planta 6: C.F.E. PLANTA TERMOELECTRICA MONTERREY

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	**CHS (m ³ /m ² /día)
565	(7.8)	187.2
470	(7.98)	191.52
2655	(1.13)	27.216
3860	(0.73)	17.52
5060	(0.66)	15.84
465	(6.9)	165.6
2445	(0.96)	23.04
3870	(0.9)	21.6
4880	(0.50)	12

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

*Vel sed = Velocidad de sedimentación

**CHS = Vel sed (m/h)(24 h/día)

Planta 7: CYDSA, PLANTA COPROPIEDAD

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	CHS (m ³ /m ² /día)
250	(3.18)	76.32
920	(1.92)	46.08
1270	(0.92)	22.08
1375	(0.78)	18.72
245	(4.32)	103.68
1315	(1.81)	43.44
1560	(1.05)	25.2
1740	(0.70)	16.8

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

Vel sed = Velocidad de sedimentación

Continúa

Tabla 1.3 Continuación

Planta 8: PAPELERA MALDONADO, S.A.

SST (mg/L)	*Vel. sed. (m/h)	**CHS (m ³ /m ² /día)
1500	(1.48)	35.52
2430	(0.59)	14.16
2960	(0.39)	9.36
3870	(0.29)	6.96
1920	(1.89)	45.36
3100	(0.66)	15.84
4570	(0.69)	16.56
4700	(0.68)	16.32
2000	(1.50)	36
3124	(0.62)	14.88
3749	(0.58)	13.92
5180	(0.34)	8.16
2260	(1.36)	32.64
3810	(0.76)	18.24
3730	(0.58)	13.92
4870	(0.47)	11.28

Fuente: Tabla 1.2 anexo 1 Correspondiente a las figuras 2.2, 2.3 anexo 2

*Vel sed – Velocidad de sedimentación

**CHS = Vel sed (m/h)(24 h/día)

Tabla 1.4 Datos de la carga hidráulica superficial (CHS) a la concentración deseada de sólidos suspendidos del licor mixto (SSLM), del área de clarificación .

Planta 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	106
2000	72
3000	60
4000	*

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

* No se alcanzó a leer el valor en la gráfica correspondiente para ésta planta (fig. 2.2, anexo 2), debido a la alta concentración deseada de SSLM.

Planta 2: AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	75
2000	74
3000	52.5 -
4000	36

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

Planta 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	64
2000	63
3000	36.5
4000	21.5

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

Continúa

Tabla 1.4 Continuación

Planta 4: PEMEX PLANTA SAN RAFAEL

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	50
2000	49
3000	41
4000	25

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

Planta 6: C. F. E. TERMOELECTRICA MONTERREY

SLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	155
2000	66
3000	30
4000	18

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

Planta 7: CYDSA PLANTA COPROPIEDAD

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	54
2000	10
3000	*
4000	*

Fuente: Figura 2.2 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

* No se alcanzó a leer el valor en la gráfica correspondiente para ésta planta (fig. 2.2, anexo 2), debido a la alta concentración deseada de SSLM.

Continúa

Tabla 1.4 Continuación

Planta 8: PAPELERA MALDONADO, S.A..

SSLM mg/L (g/m ³)	CHS m ³ /m ² /día
1000	40
2000	38
3000	19
4000	11

Fuente: Figura 2.2 anexo 2

Estos datos forman parte de la tabla 7.1, capítulo 7

Tabla 1.5 Datos de la velocidad de sedimentación para cada prueba a la concentración deseada de sólidos .

Planta 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

SSLM mg/L	Vel. sed ¹ . m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² /h
750	4.45	3.337
1000	4.4	4.4
1250	4.35	5.43
1500	4.26	6.39
2000	3.25	6.5
2500	2.5	6.25
3000	2	6
3500	1.66	5.88
4000	1.425	5.7

¹Vel. sed. Velocidad de sedimentación.

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

$$SFG^* = C_i \cdot V_i / (1000 \text{ g/kg})$$

(g/m³) (m/h) (g/Kg)

NOTA: Para todos los casos estudiados, los datos obtenidos de la velocidad de sedimentación son el resultado de interpolar en la curva de la fig. 2.3 del anexo 2, la concentración dada de SSLM.

Continúa

* Flujo de sólidos debido a la gravedad

Tabla 1.5 Continuación

Planta 2 : AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

SSLM mg/L	Vel. sedim. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
1000	3.05	3.05
1250	2.955	3.69
1500	2.95	4.425
2000	2.92	5.84
2500	2.9	7.25
3000	2.7	8.1
3500	2.2	7.7
4000	1.7	6.8
5000	1.2	6
5500	0.99	5.44
6000	0.85	5.1

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Planta 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

SSLM mg/L	Vel. sedim. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
1000	2.85	2.85
1500	2.8	4.2
2000	2.78	5.56
2500	2.7	6.75
3000	1.85	5.55
3500	1.4	4.9
4000	0.97	3.88
4500	0.75	3.375
5000	0.58	2.9
5500	0.48	2.64
6000	0.40	2.4
7000	0.280	1.96

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Continúa

Tabla 1.5 Continuación

Planta 4 : PEMEX, PLANTA SAN RAFAEL

SSLM mg/L	Vel. sedim. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
1000	2.2	2.2
1250	2.18	2.725
1500	2.15	3.225
1750	2	3.5
2000	2.12	4.24
2250	2.1	4.725
2500	2.09	5.225
3000	1.82	5.46
3500	1.3	4.55
4000	0.95	3.8
4500	0.76	3.42
5000	0.6	3

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Planta 6 : C. F. E. TERMOELECTRICA MONTERREY

SSLM mg/L	Vel. sedim. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
250	8.5	2.125
500	7.7	3.85
750	4.8	3.6
1000	3.5	3.5
1500	2.3	3.45
2000	1.6	3.2
2500	1.26	3.15
3000	0.98	2.94
3500	0.83	2.9
4000	0.7	2.8
4500	0.62	2.79

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Continúa

Tabla 1.5 Continuación

Planta 7 : CYDSA, PLANTA COPROPIEDAD

SSLM mg/L	Vel. sed. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
250	3.8	0.95
500	3.7	1.85
750	2.8	2.1
1000	1.8	1.8
1500	0.95	1.4
1750	0.725	1.26
2000	0.55	1.1
2500	0.39	0.975
3000	0.285	0.855

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Planta 8 : PAPELERA MALDONADO, S.A.

SSLM mg/L	Vel. sed. m/h	Flujo de sólidos Kg/m ² , h
1000	1.85	1.85
1250	1.8	2.25
1500	1.79	2.685
1750	1.77	3.09
2000	1.75	3.5
2250	1.55	3.48
2500	1.25	3.125
2750	1.05	2.88
3000	0.88	2.64
3500	0.68	2.38
4000	0.525	2.1
4500	0.45	2.025
5000	0.365	1.825
5500	0.3	1.65

Fuente: Figura 2.3 anexo 2. Datos correspondientes a la figura 2.4 anexo 2.

Tabla 1.6 Datos de la carga superficial de sólidos (CSS), a la concentración deseada del lodo del fondo.

Planta 1: CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	•11.7
6000	9.5
8000	8.8
10000	8.15

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de SST del lodo del fondo (fig. 2.4, anexo 2) para ésta planta.

Planta 2: AGUA INDUSTRIAL DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	•28
6000	18
8000	13.5
10000	11.2

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de SST del lodo del fondo (fig. 2.4, anexo 2) para ésta planta.

Continúa

Tabla 1.6 Continuación

Planta 3: AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	*18
6000	11
8000	7.6
10000	5.9

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de SST del lodo del fondo (fig. 2.4, anexo 2) para ésta planta.

Planta 4: PEMEX PLANTA SAN RAFAEL

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	*20
6000	11
8000	7.5
10000	6

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de SST del lodo del fondo (fig. 2.4, anexo 2) para ésta planta.

Continúa

Tabla 1.6 Continuación

Planta 6: C. F. E. TERMOELECTRICA MONTERREY

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	4.5
6000	4.2
8000	3.95
10000	3.8

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

Planta 7: CYDSA PLANTA COPROPIEDAD

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	2.2
6000	1.65
8000	1.35
10000	1.2

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

Planta 8: PAPELERA MALDONADO, S.A..

SST del lodo del fondo, mg/L (g/m ³)	CSS Kg/m ² /h
4000	*7.8
6000	5.25
8000	4.1
10000	3.4

Fuente: Figura 2.4 anexo 2 Estos datos forman parte de la tabla 7.2, capítulo 7

* Valor aproximado debido a la baja concentración de SST del lodo del fondo (fig. 2.4, anexo 2) para ésta planta.

ANEXO 2

FIGURAS

El anexo 2, contiene las figuras correspondientes a las tablas del anexo 1 para las plantas de tratamiento estudiadas. El contenido de ambos anexos está basado en el ejemplo del análisis de flujo de sólidos dado en la sección 6.1.2 del capítulo 6 de éste trabajo.

Figura (s) 2.1 Curva de sedimentación de la interfase (para diversas concentraciones de sólidos suspendidos del licor mixto, SSLM)

Figura (s) 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación (CHS) y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto, SSLM)

Figura (s) 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación zonal y la concentración de sólidos suspendidos del licor mixto, SSLM)

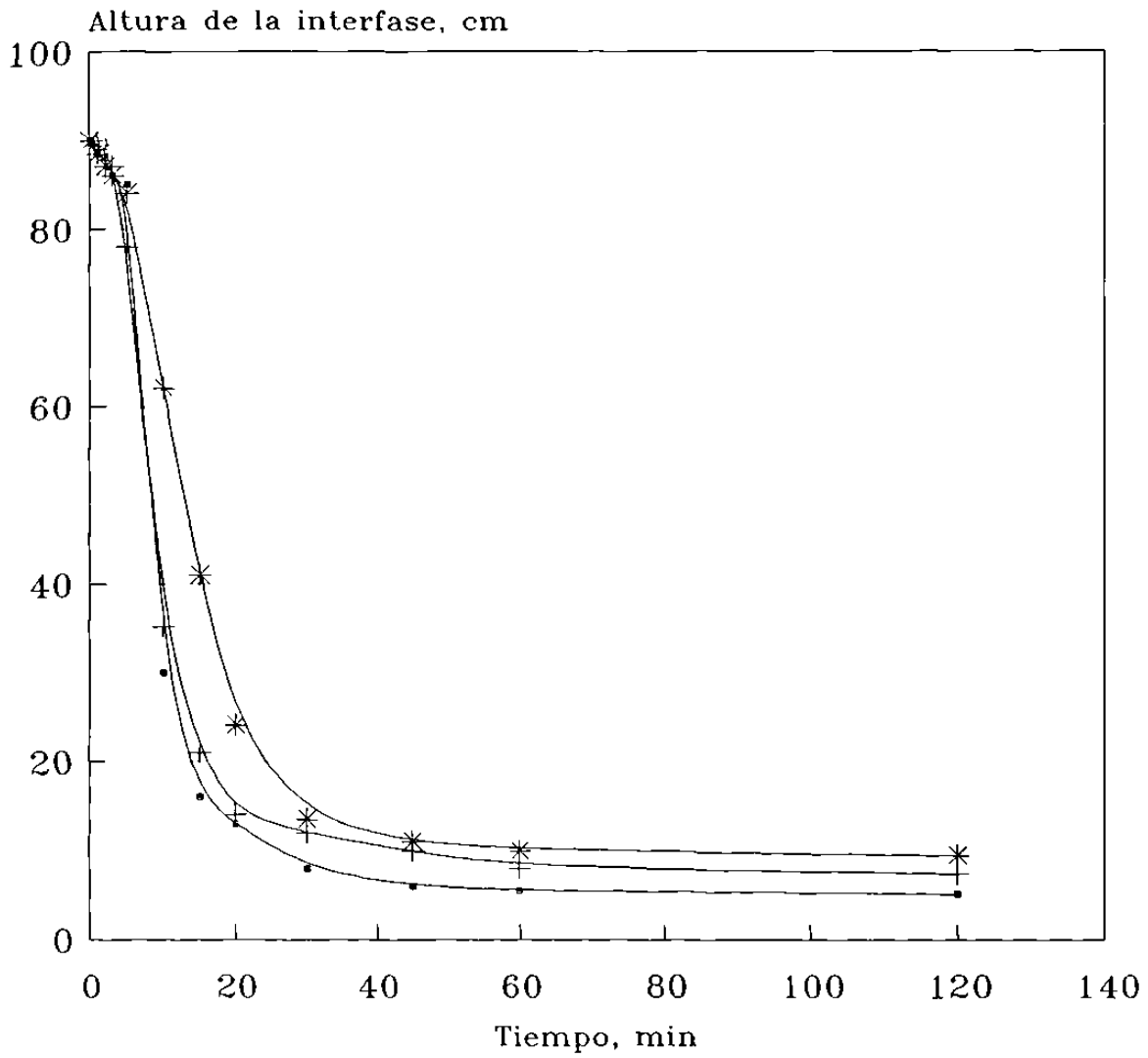
Figura (s) 2.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

PLANTAS DE TRATAMIENTO ESTUDIADAS:

- Planta de tratamiento 1: Club Campestre de Monterrey, A.C.
- Planta de tratamiento 2: Agua Industrial del Poniente S.A. de C.V.
- Planta de tratamiento 3: Agua Industrial de Monterrey, S. de U.
- Planta de tratamiento 4: Petróleos Mexicanos (PEMEX)
Planta San Rafael
- Planta de tratamiento 5: Montemorelos*
- Planta de tratamiento 6: Comisión Federal de Electricidad
Planta Termoeléctrica Monterrey
- Planta de tratamiento 7: Celulosa y Derivados, S.A. de C.V.
(CYDSA) Planta Copropiedad
- Planta de tratamiento 8: Papelera Maldonado, S.A.

* La información para ésta planta se omite en éste anexo, dado que se encuentra reportada en la sección 6.1.2 del capítulo 6 (pág 47).

Planta 1 CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.



Concentración SSLM:

Co = 990 mg/L
 + Co = 1385 mg/L
* Co = 2390 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

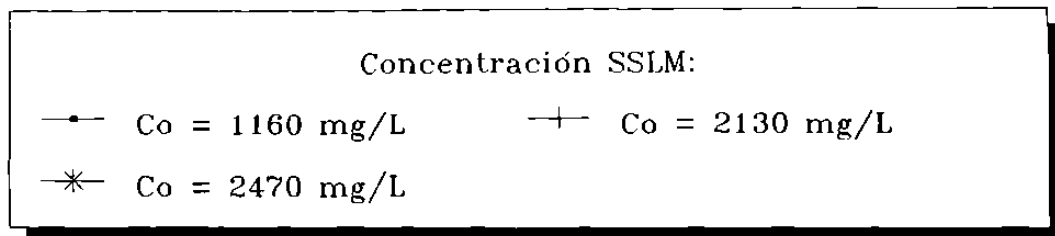
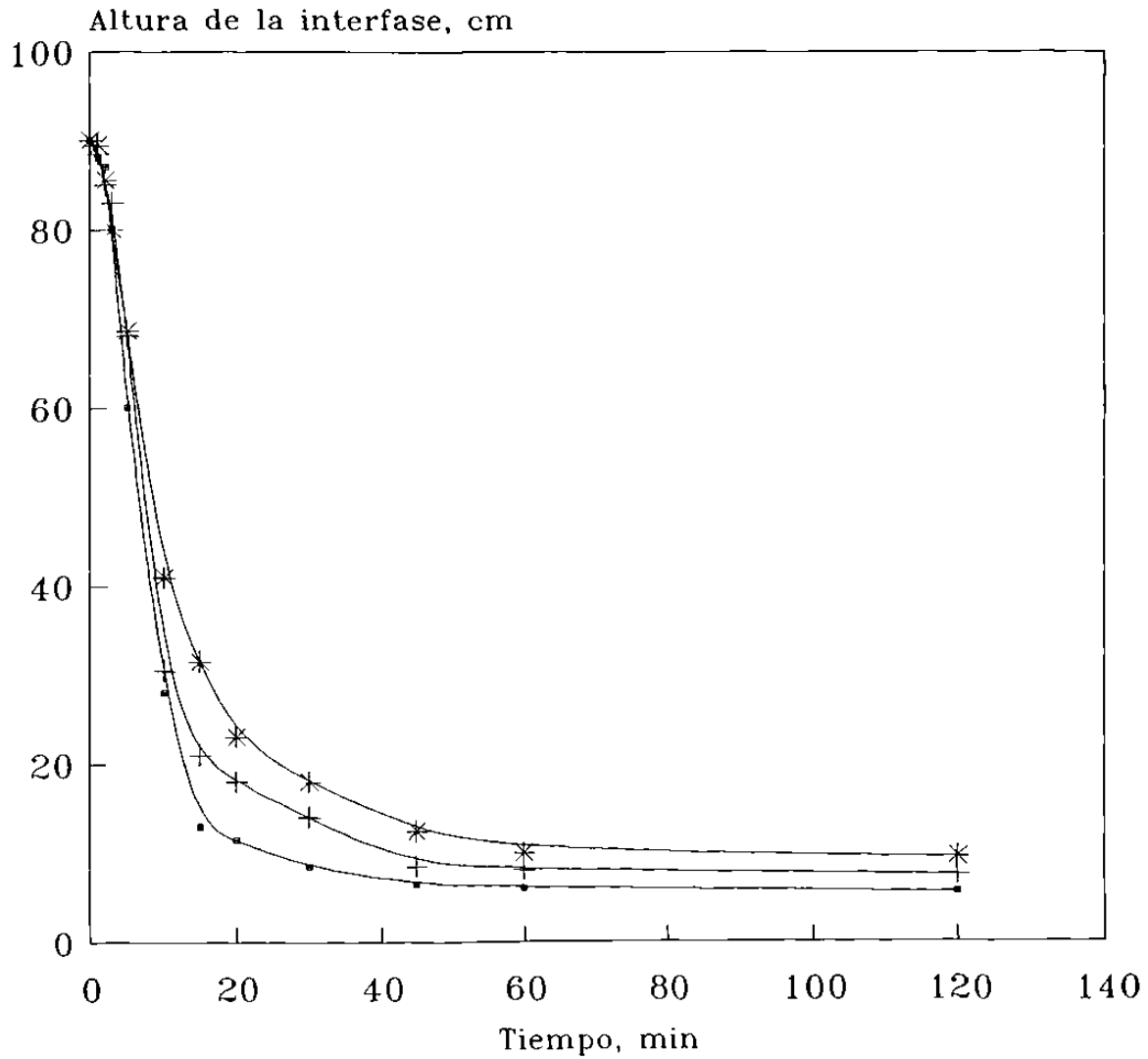


Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

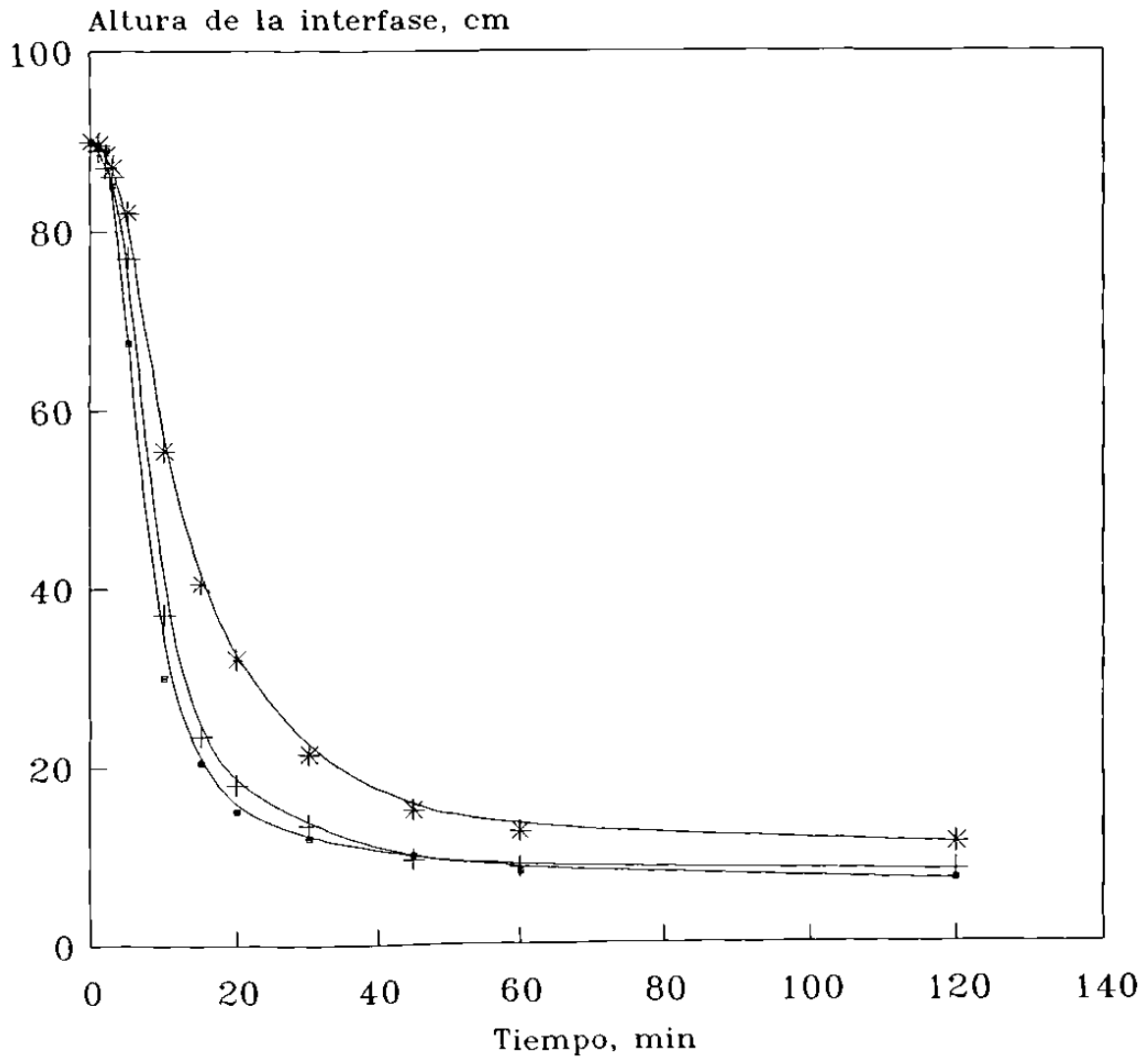
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continucion

CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.



Concentración SLM:

—●— Co = 740 mg/L	—+— Co = 1460 mg/L
—*— Co = 1850 mg/L	

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

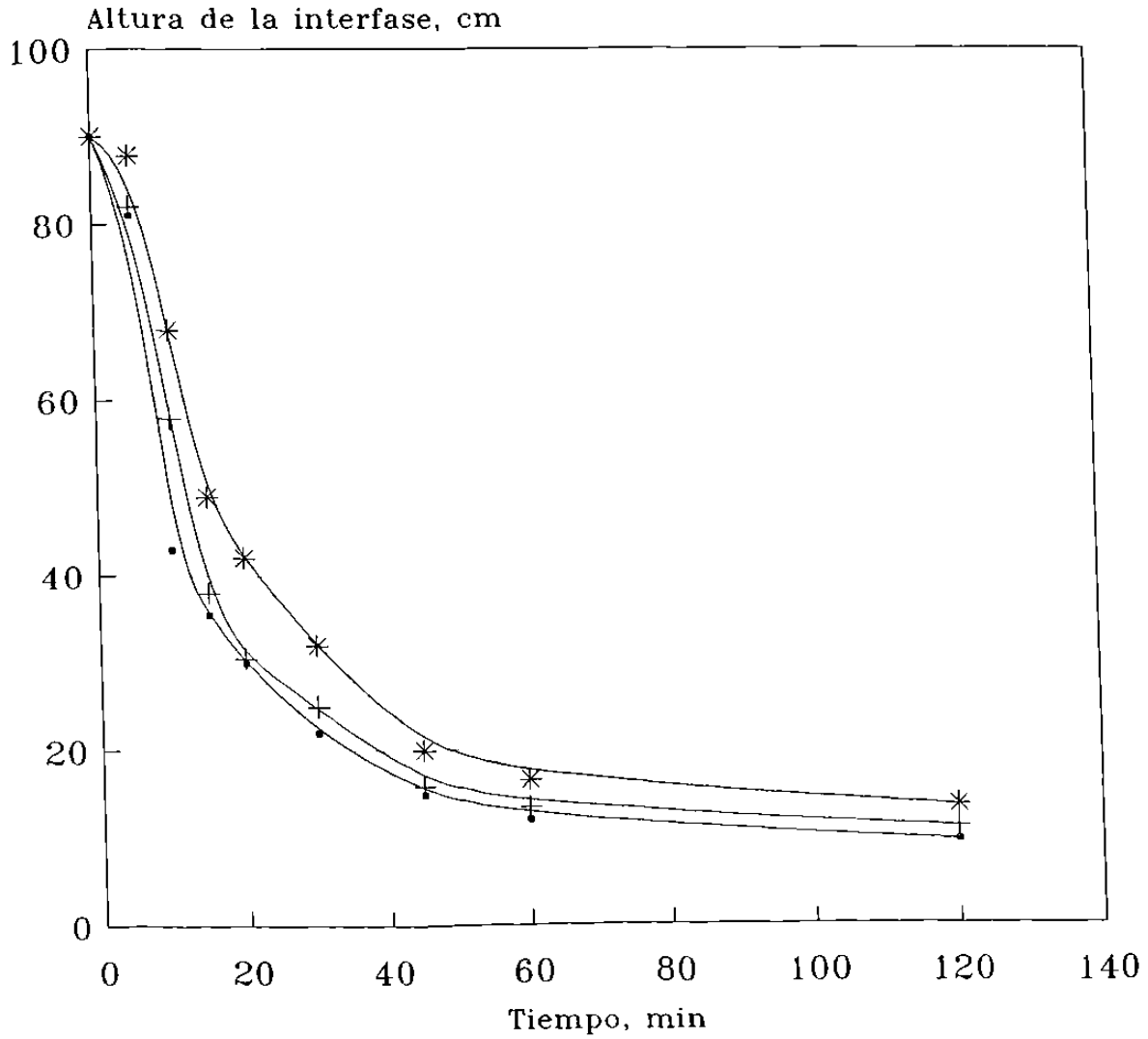
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

Planta 2 AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.



Concentración SSLM:	
—●—	$C_0 = 2450$ mg/L
—+—	$C_0 = 2735$ mg/L
—*—	$C_0 = 3250$ mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continucion

AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.

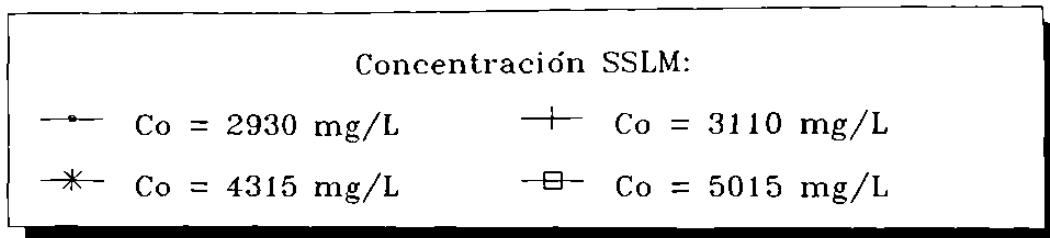
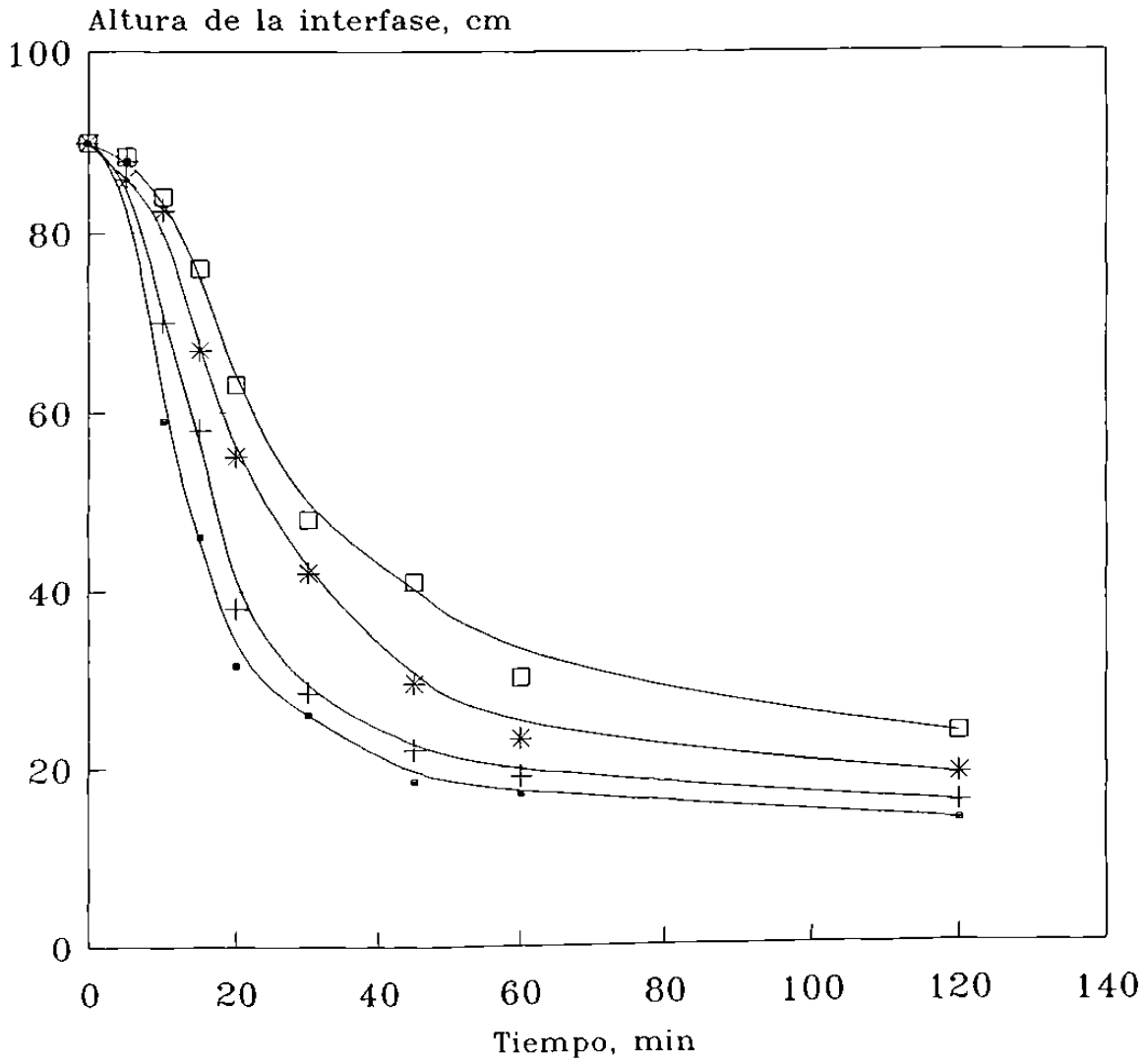


Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

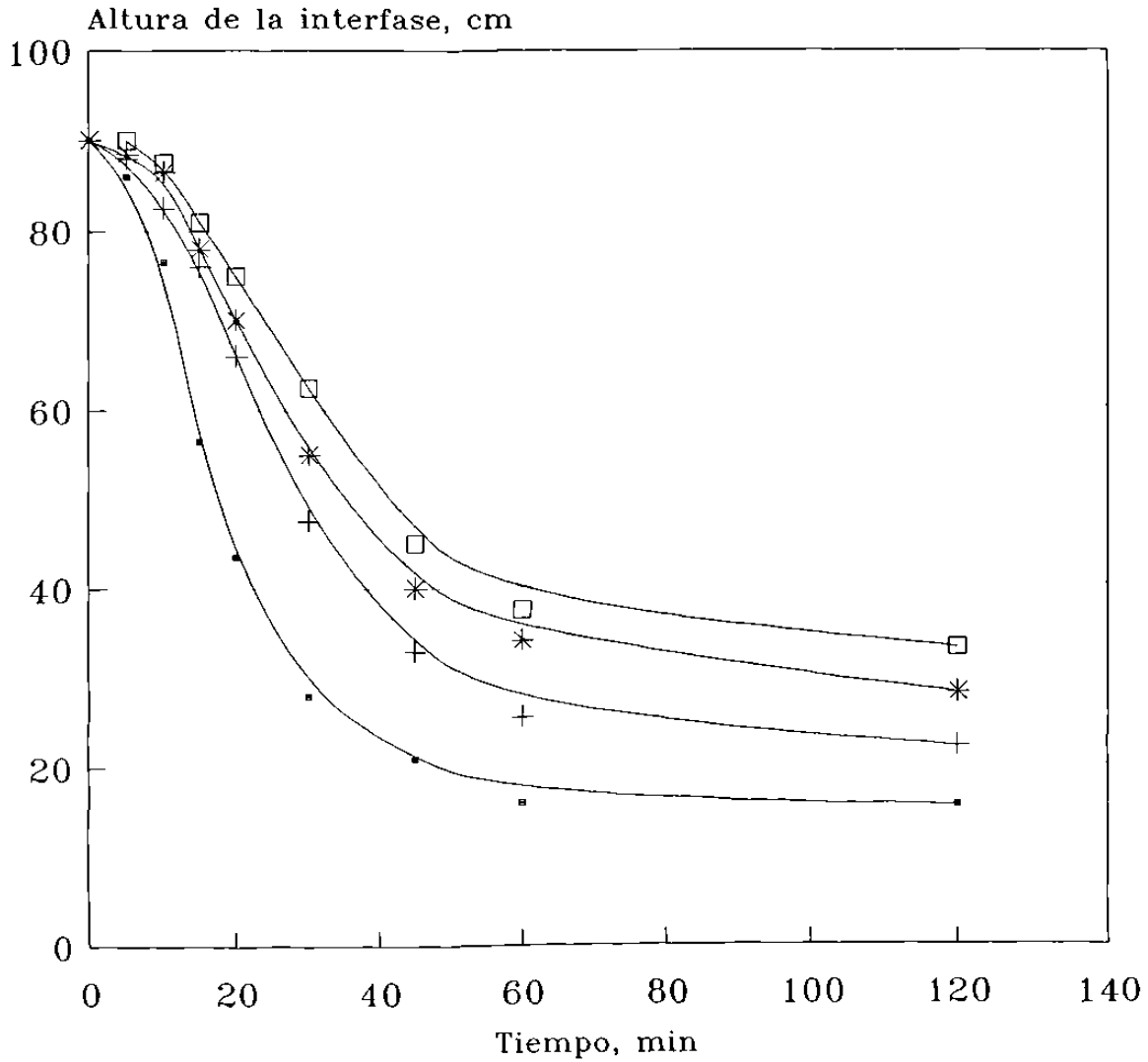
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 3700 mg/L
—+—	Co = 5690 mg/L
—*—	Co = 7070 mg/L
—□—	Co = 8010 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

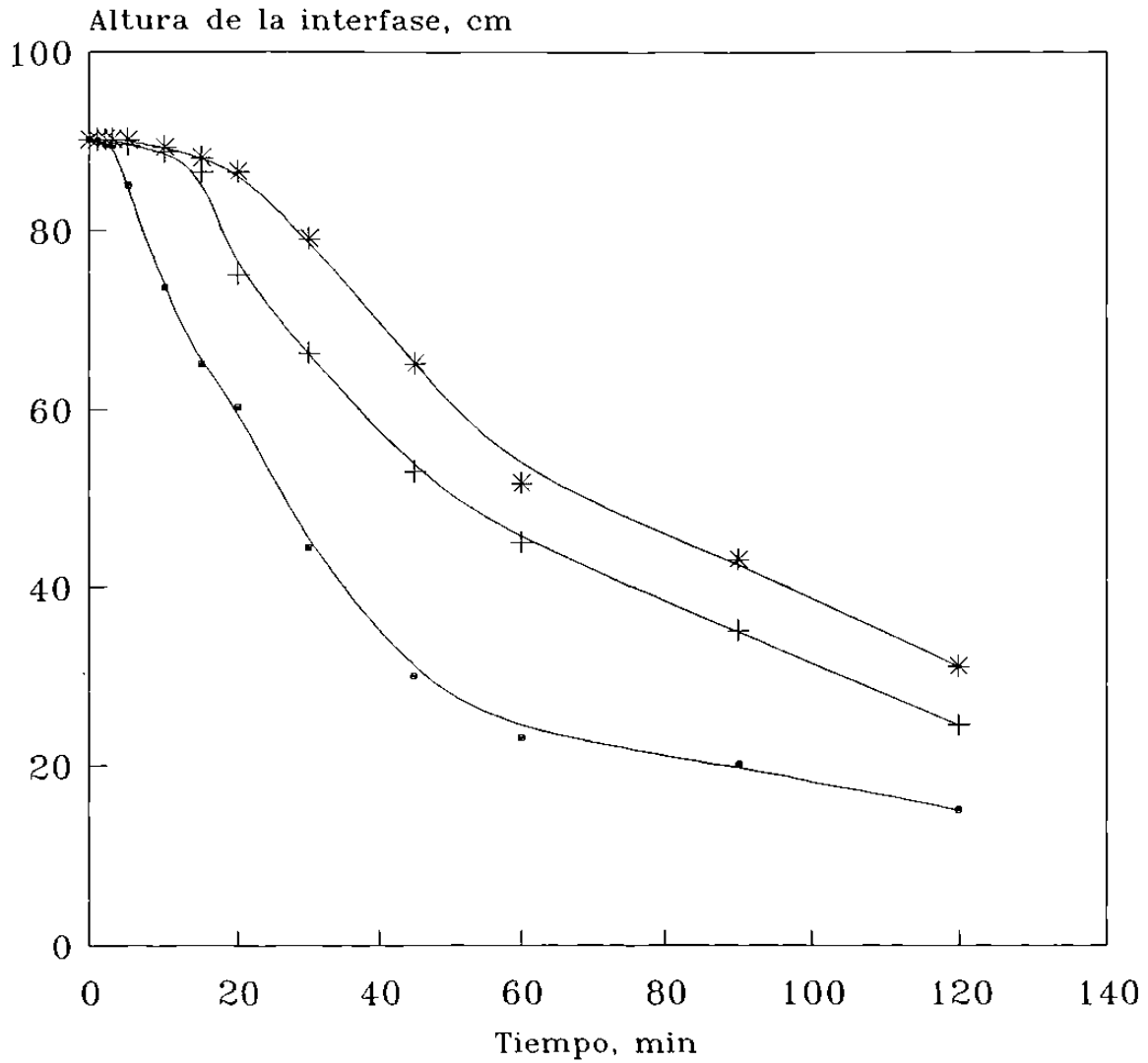
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

Planta 3 AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.



Concentración SSLM:

—●— $C_o = 4235$ mg/L	—+— $C_o = 4610$ mg/L
—*— $C_o = 6245$ mg/L	

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

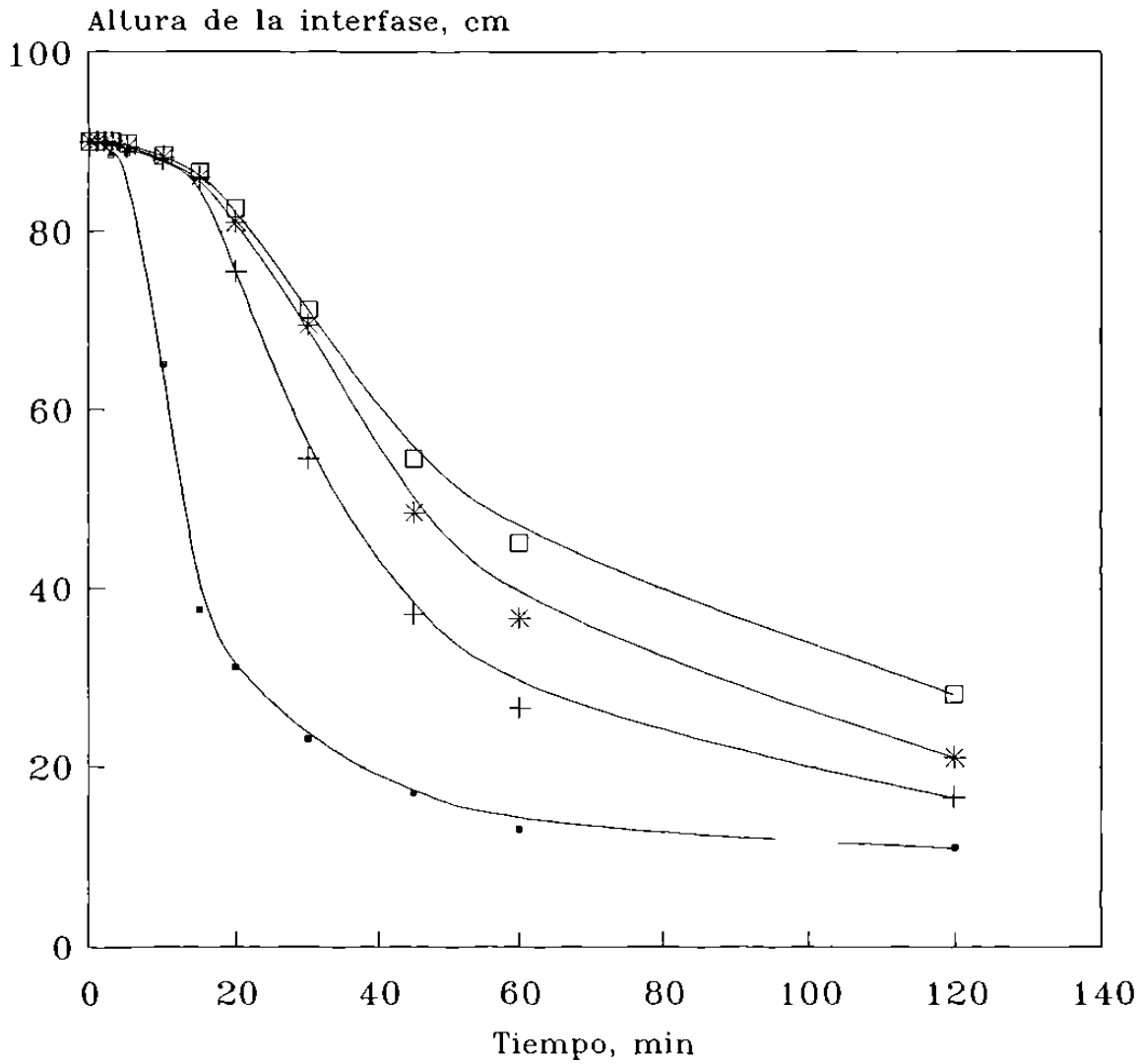
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S.DE U.



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 1955 mg/L
—*—	Co = 3875 mg/L
—+—	Co = 3390 mg/L
—□—	Co = 5610 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

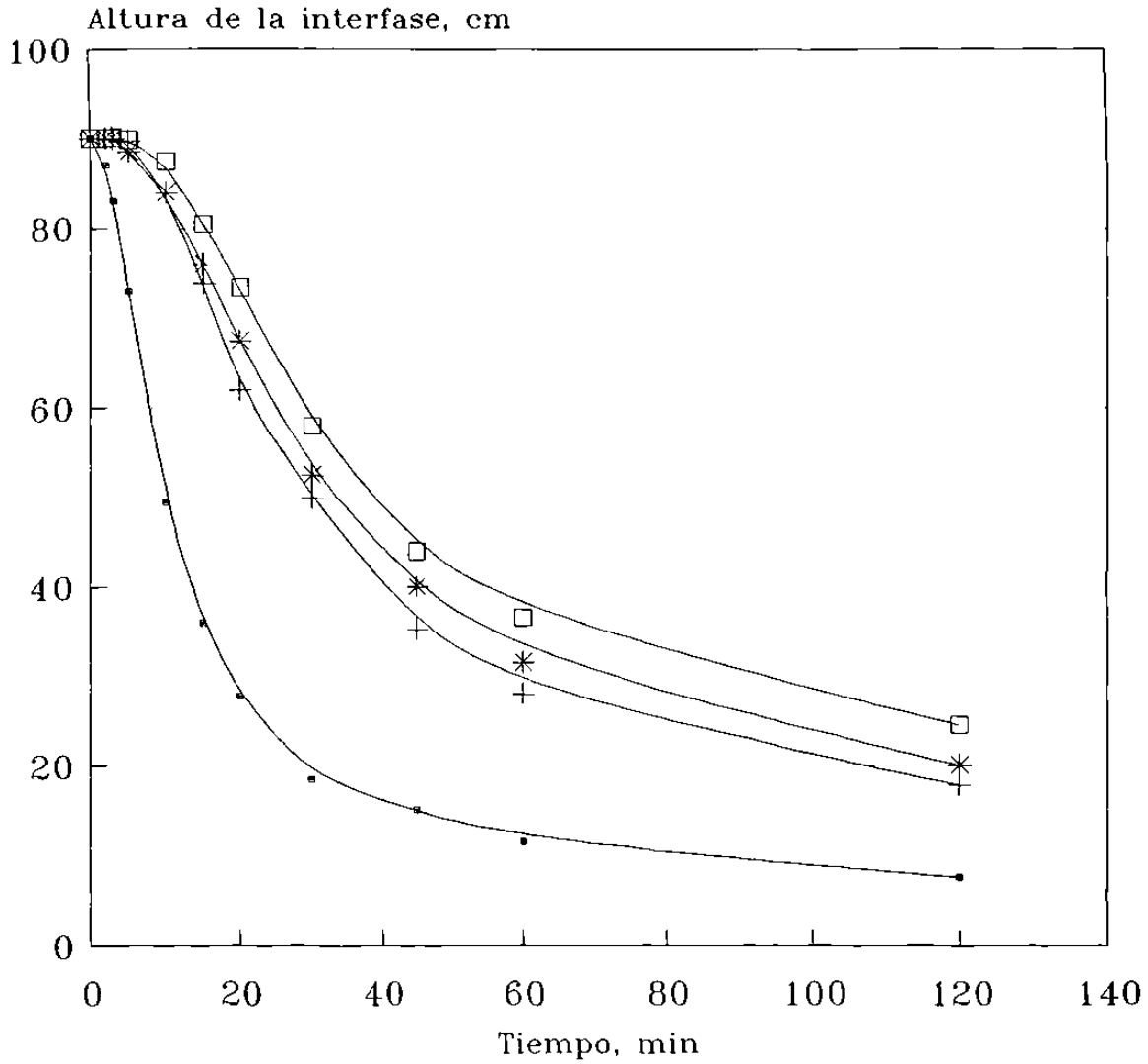
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 2145 mg/L
—*—	Co = 4350 mg/L
—+—	Co = 3850 mg/L
—□—	Co = 4485 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

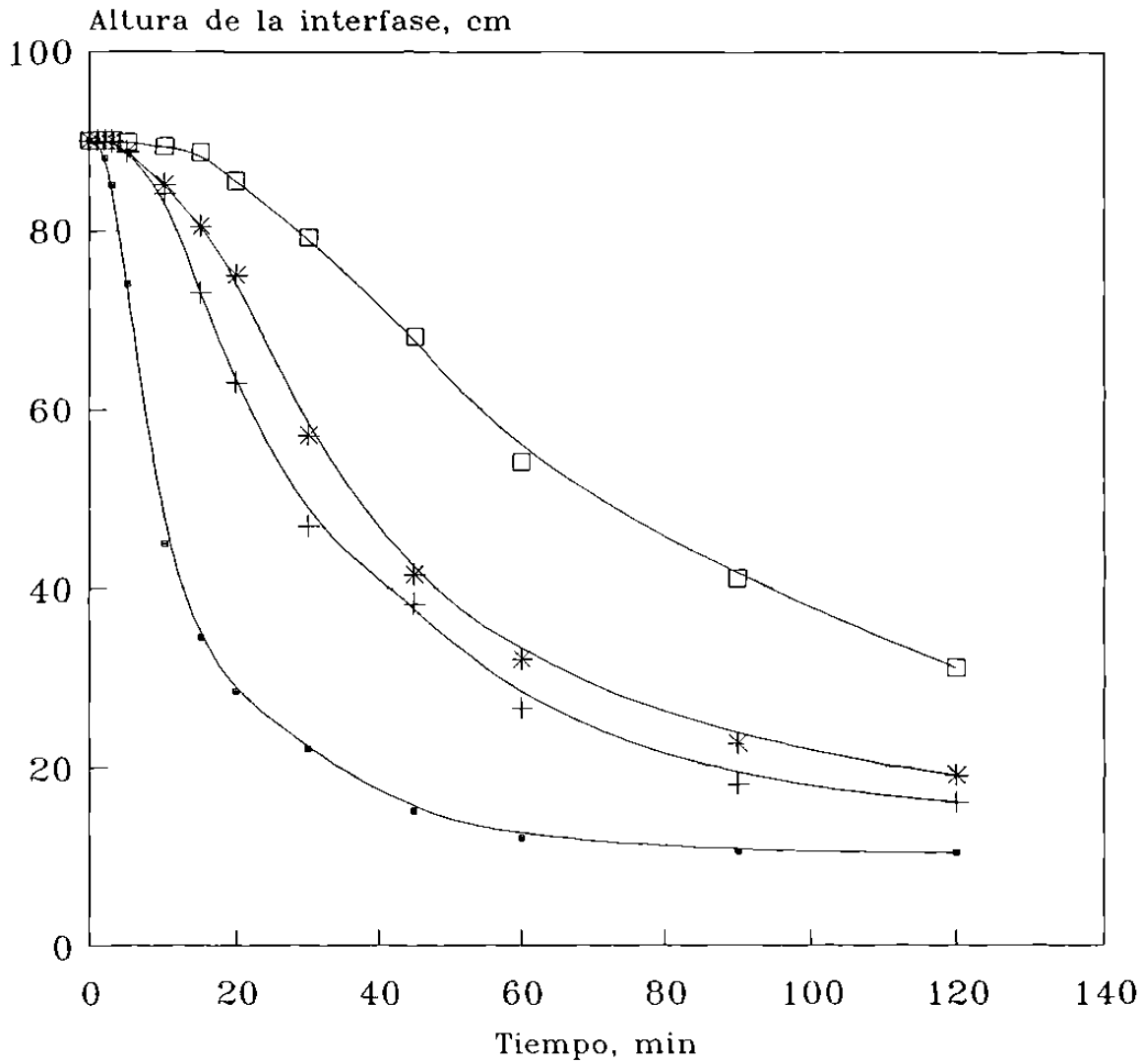
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.



Concentración SSLM:	
—●— Co = 2050 mg/L	—+— Co = 3235 mg/L
—*— Co = 3750 mg/L	—□— Co = 5210 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

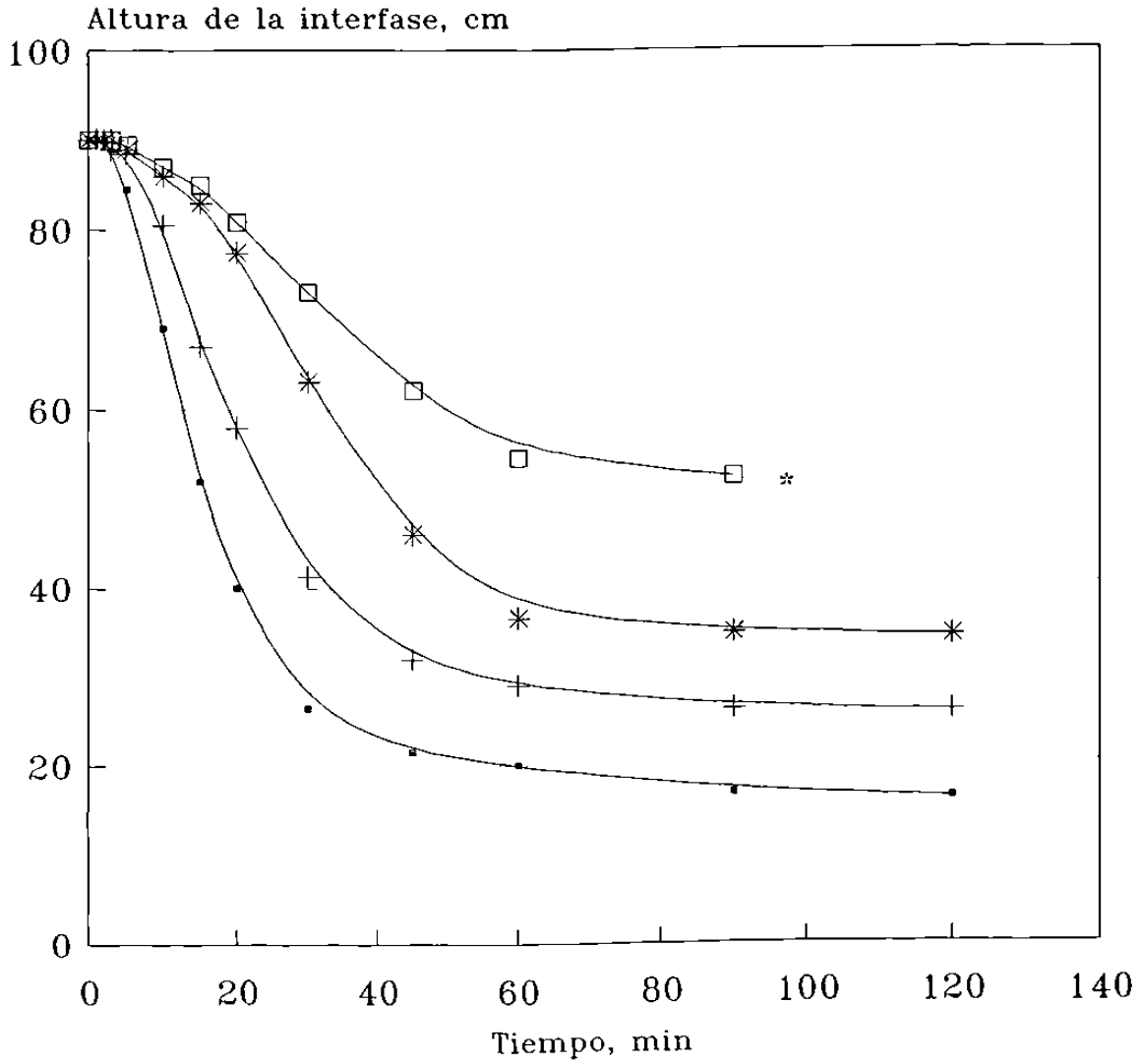
Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continución

Planta 4

P E M E X



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 2285 mg/L
—+—	Co = 4225 mg/L
—*—	Co = 4630 mg/L
—□—	Co = 7880 mg/L

* Flotación de lodos debido a la desnitrificación (tiempo de sedimentación: 90 minutos)

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

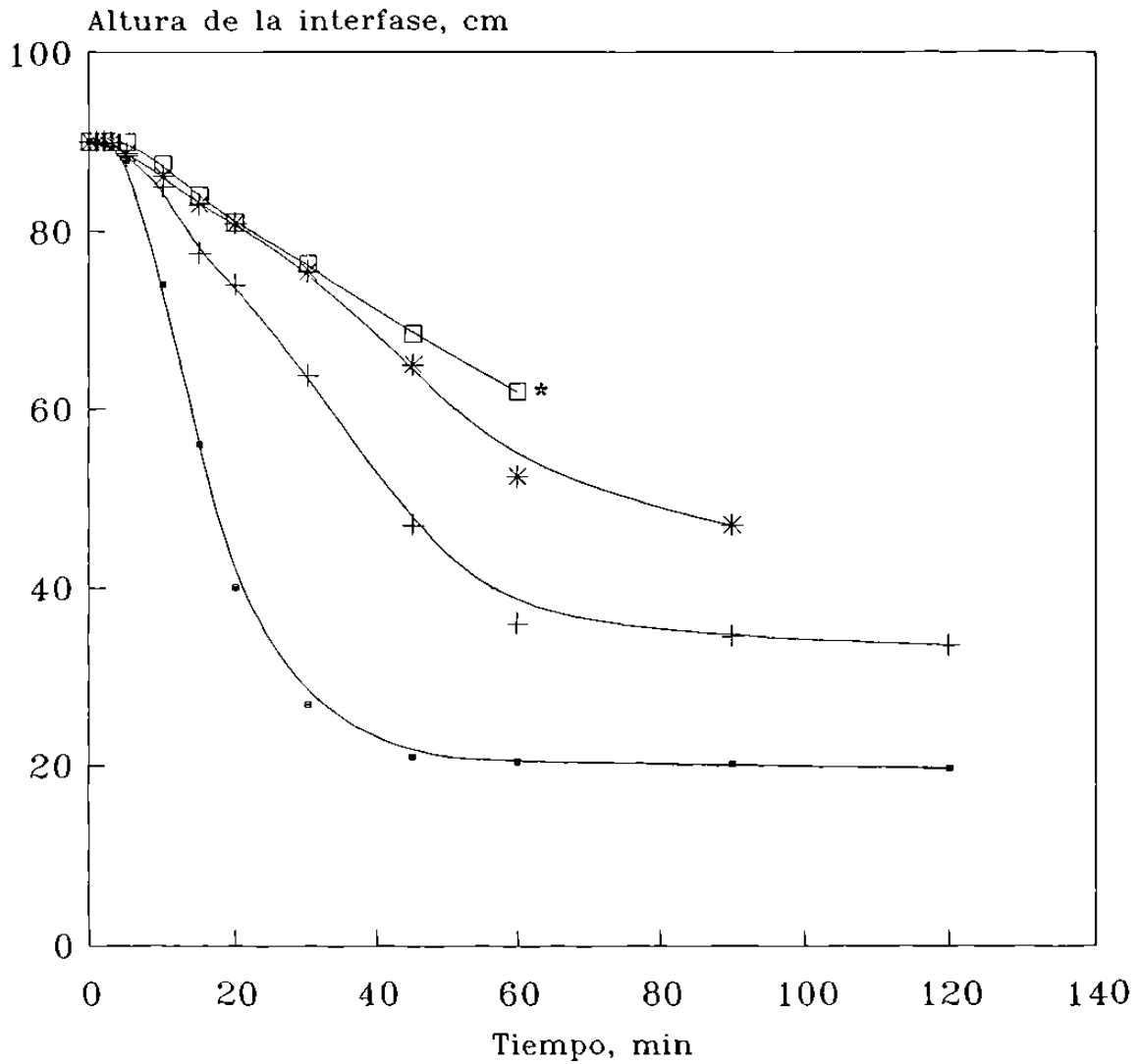
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

P E M E X



Concentración SSLM:	
● Co = 2290 mg/L	+ Co = 4235 mg/L
* Co = 5180 mg/L	◻ Co = 5940 mg/L

* Flotación de lodos debido a la desnitrificación

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

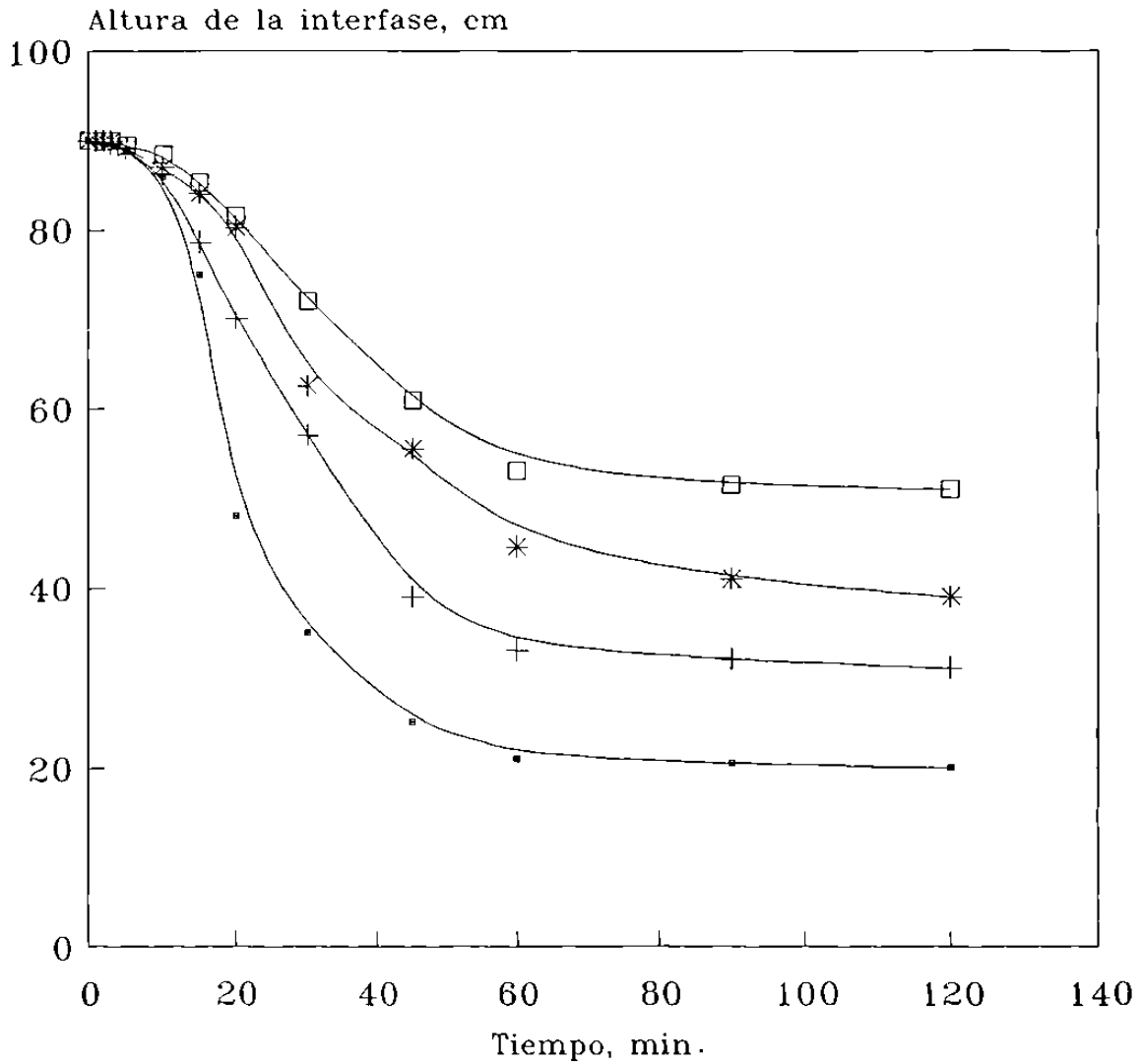
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

P E M E X



Concentración SSLM:			
—●—	Co = 2370 mg/L	—+—	Co = 4035 mg/L
—*—	Co = 5005 mg/L	—□—	Co = 5590 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

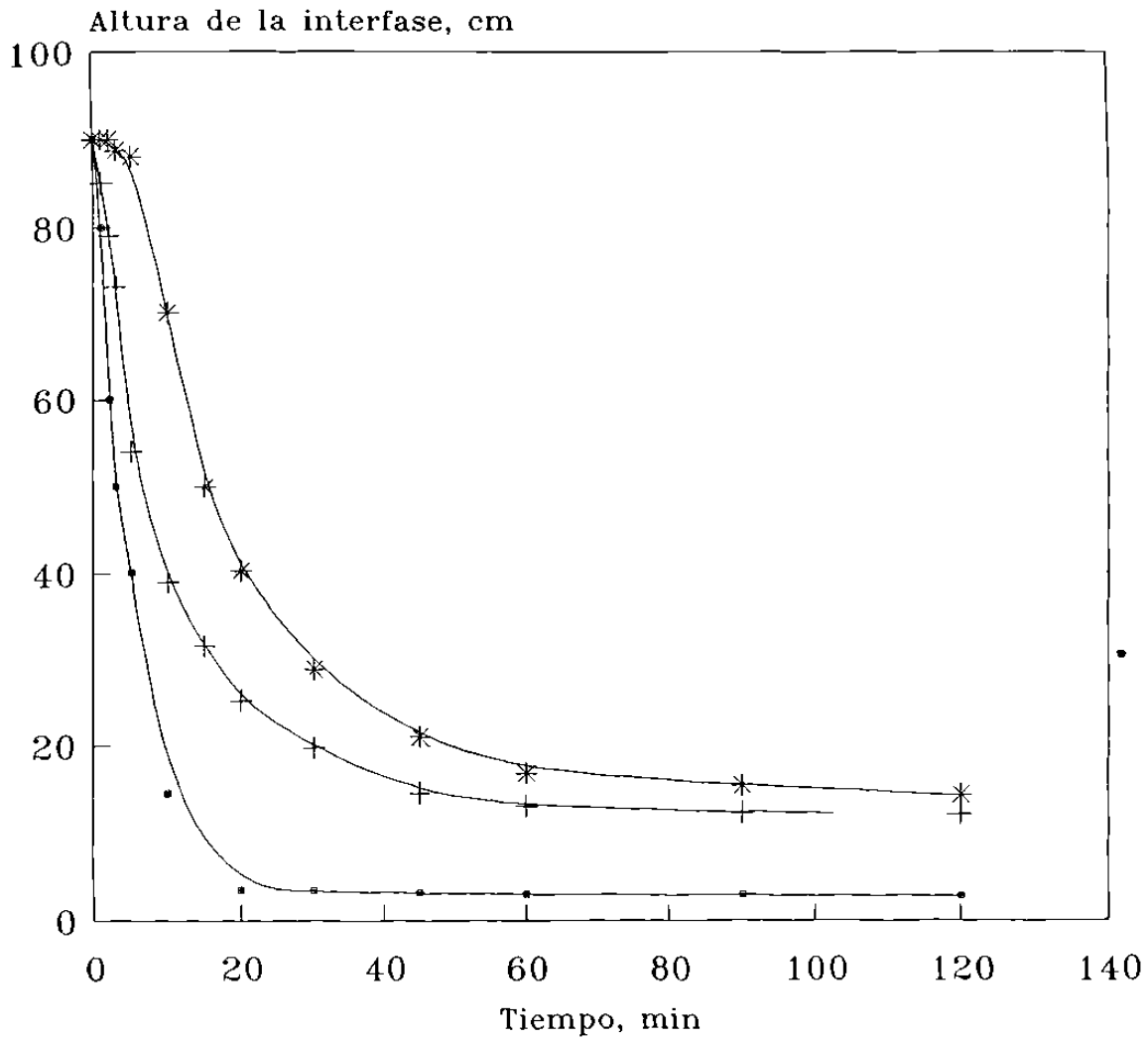
Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

Planta 6

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
PLANTA TERMoeLECTRICA MONTERREY



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 565 mg/L
—+—	Co = 4384 mg/L
—*—	Co = 5768 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
PLANTA TERMoeLECTRICA MONTERREY

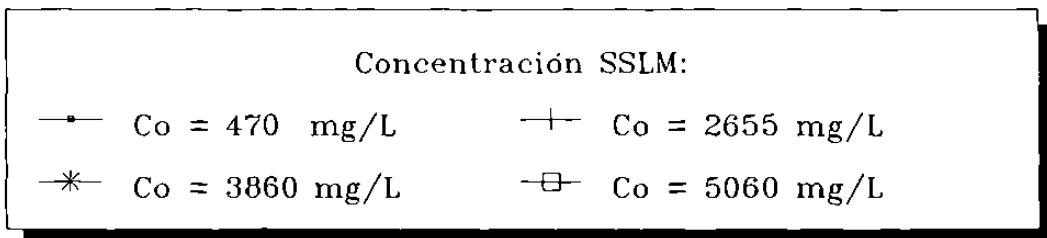
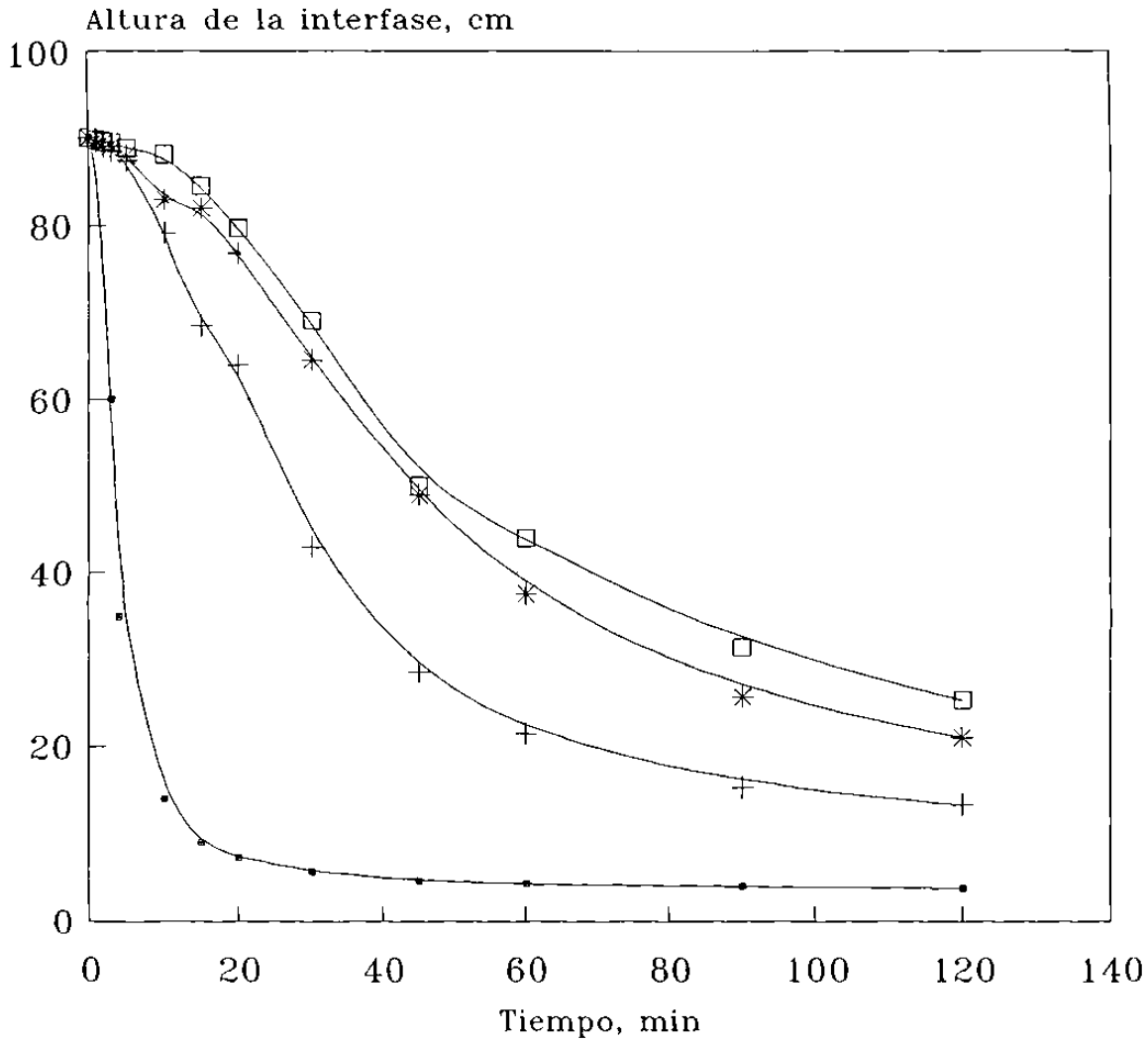


Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

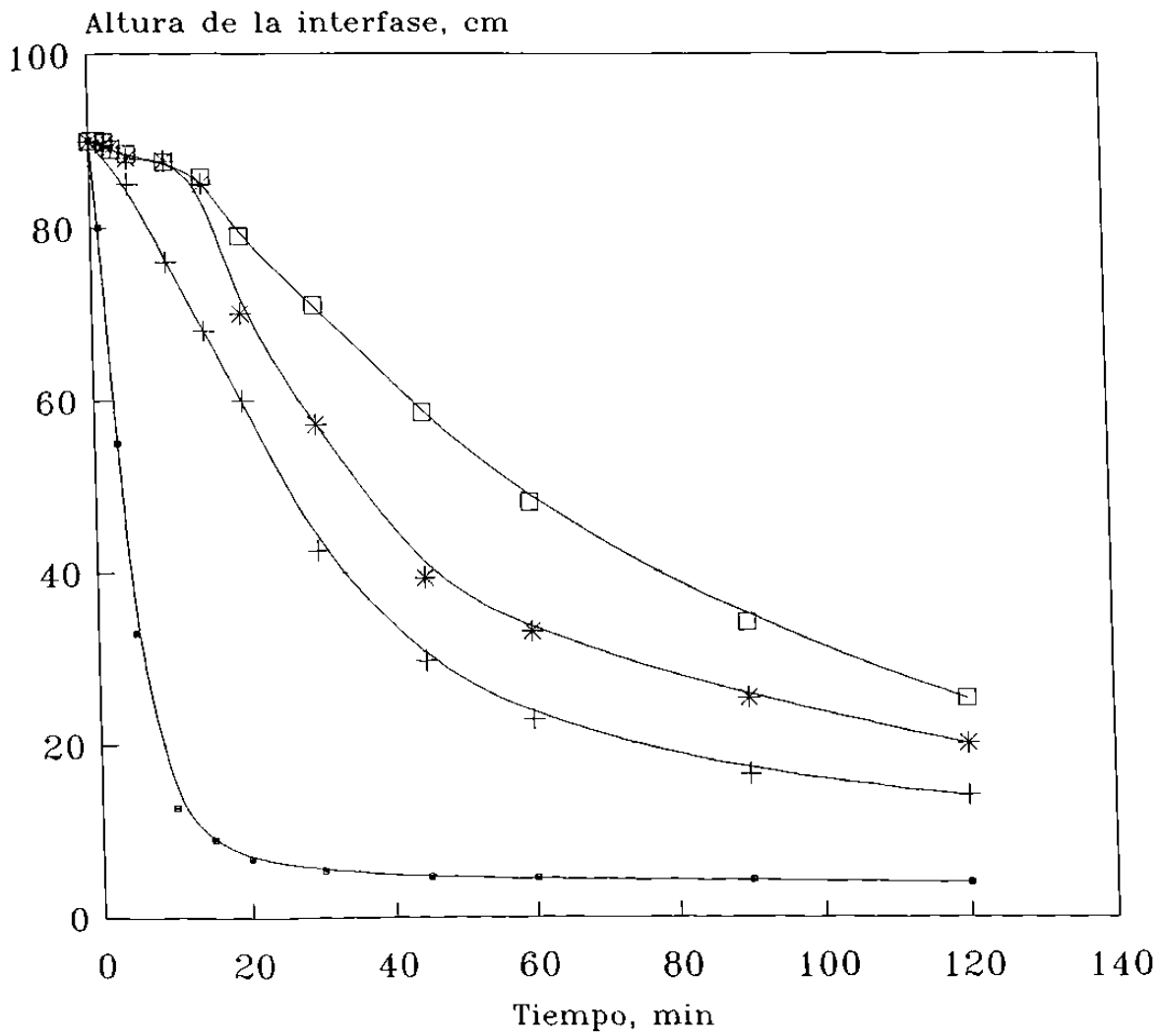
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuacion

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
PLANTA TERMOELECTRICA MONTERREY



Concentración SSLM:	
—●—	Co = 465 mg/L
—*—	Co = 3870 mg/L
—+—	Co = 2445 mg/L
—□—	Co = 4880 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

Planta 7 CELULOSA Y DERIVADOS, S.A. DE C.V.
PLANTA COPROPIEDAD

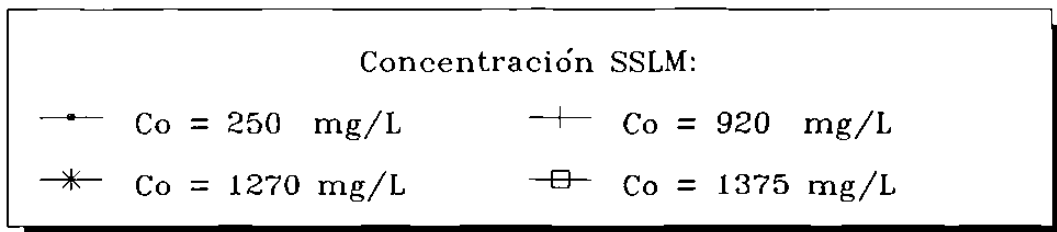
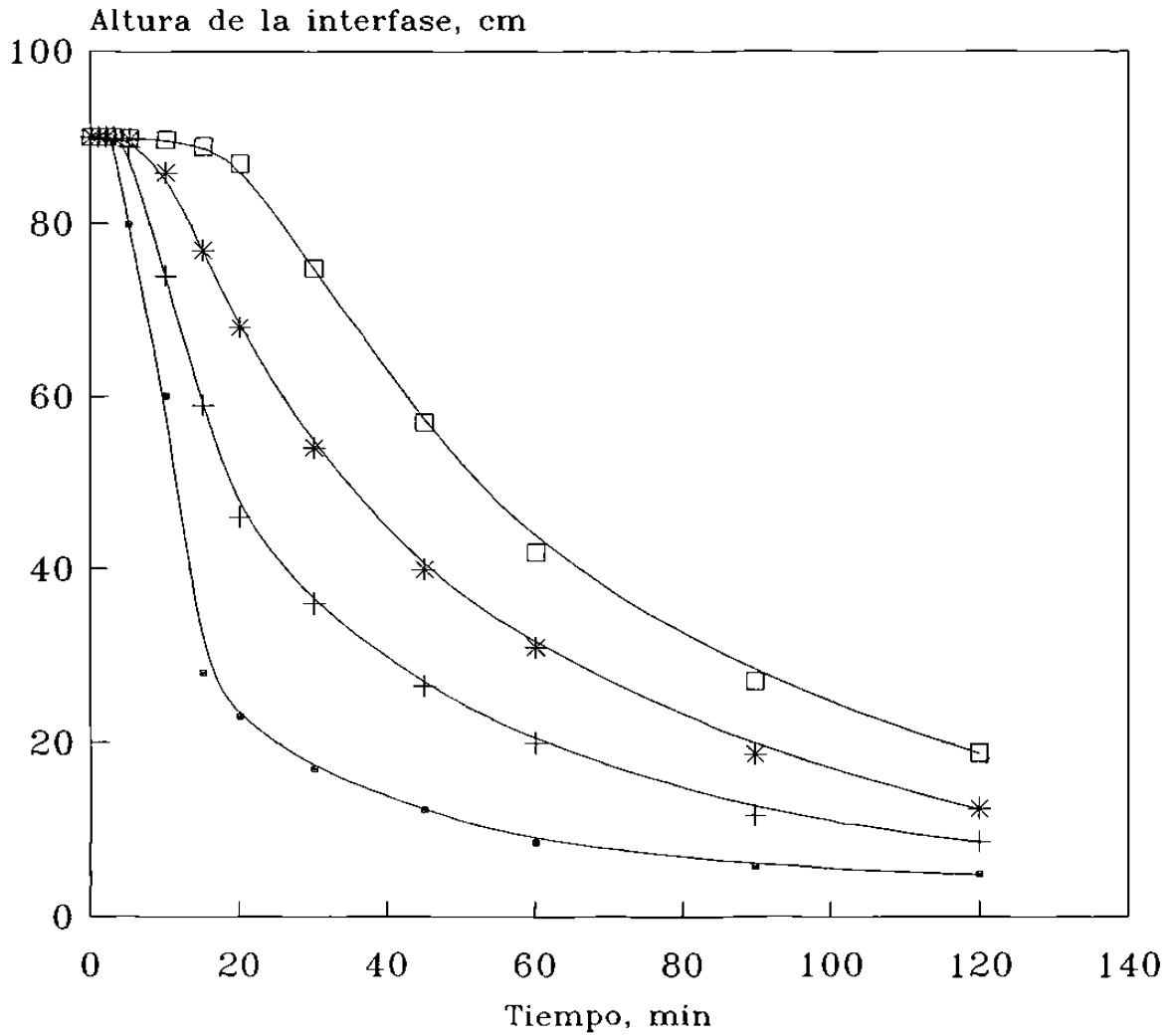


Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

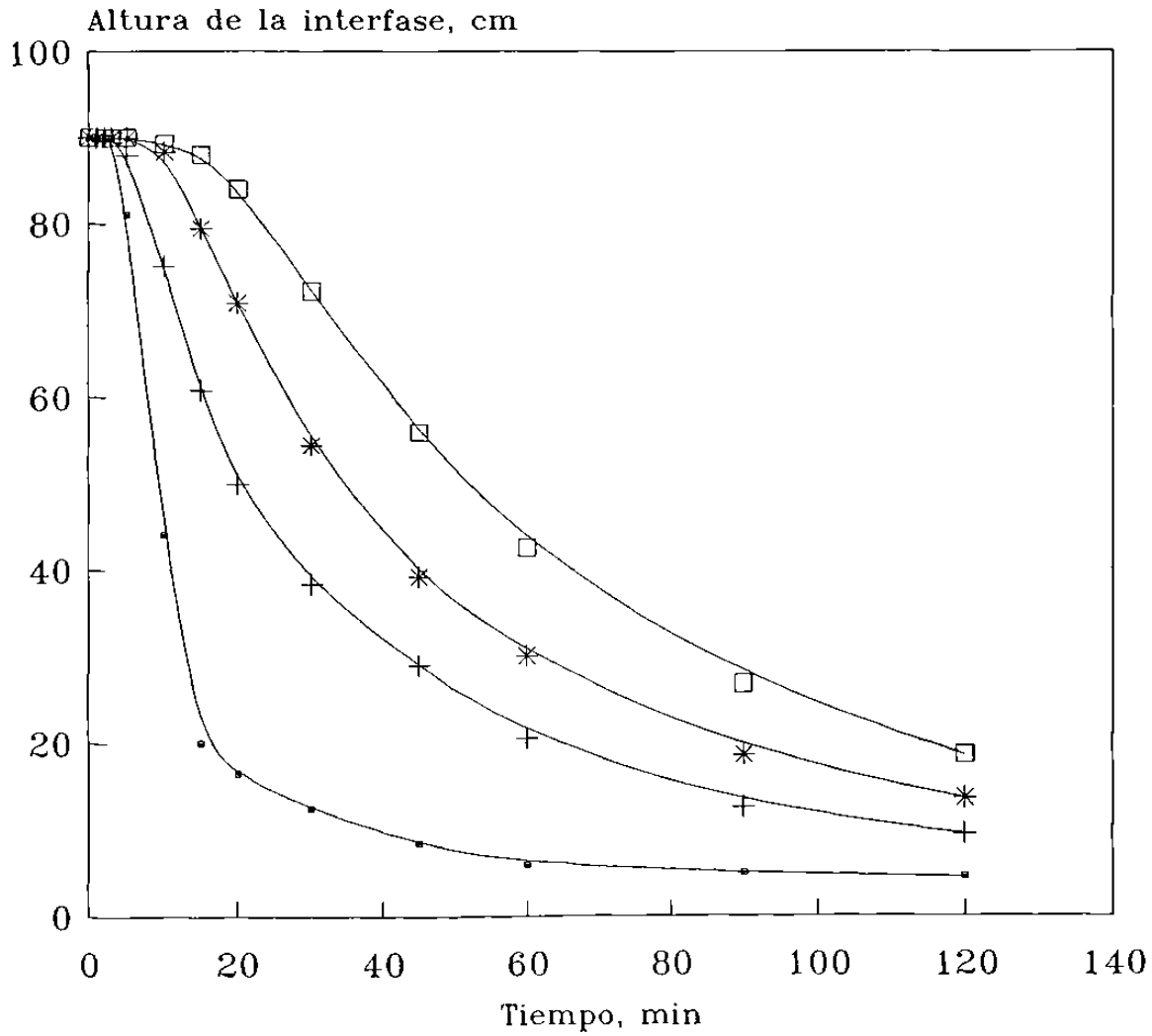
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

CELULOSA Y DERIVADOS, S.A. DE C.V.
PLANTA COPROPIEDAD



Concentración SSLM:			
●	Co = 245 mg/L	+ +	Co = 1315 mg/L
*	Co = 1560 mg/L	□	Co = 1740 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

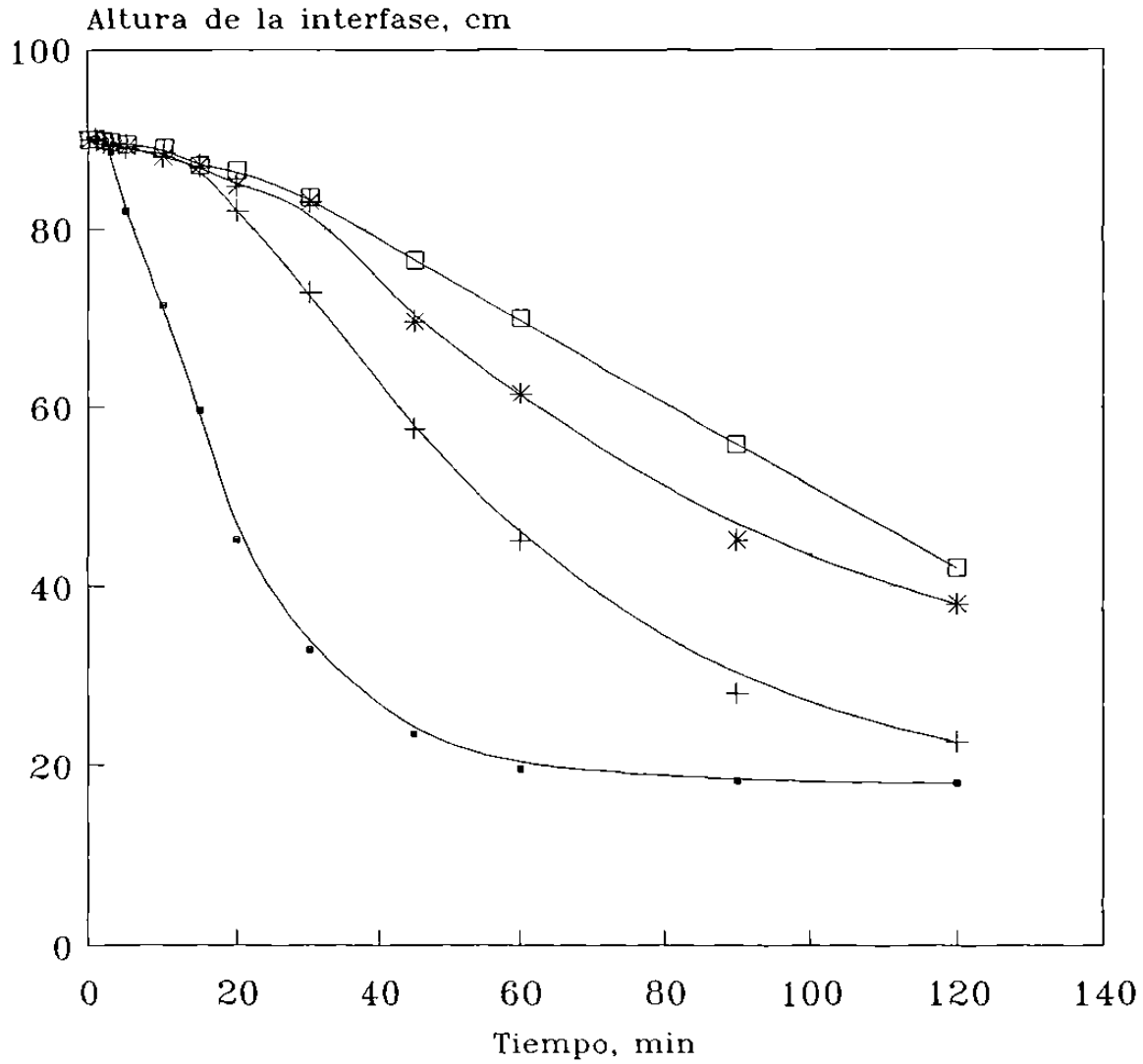
Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

Planta 8

PAPELERA MALDONADO, S.A.



Concentración SSLM:			
—●—	Co = 1500 mg/L	—+—	Co = 2430 mg/L
—*—	Co = 2960 mg/L	—□—	Co = 3870 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

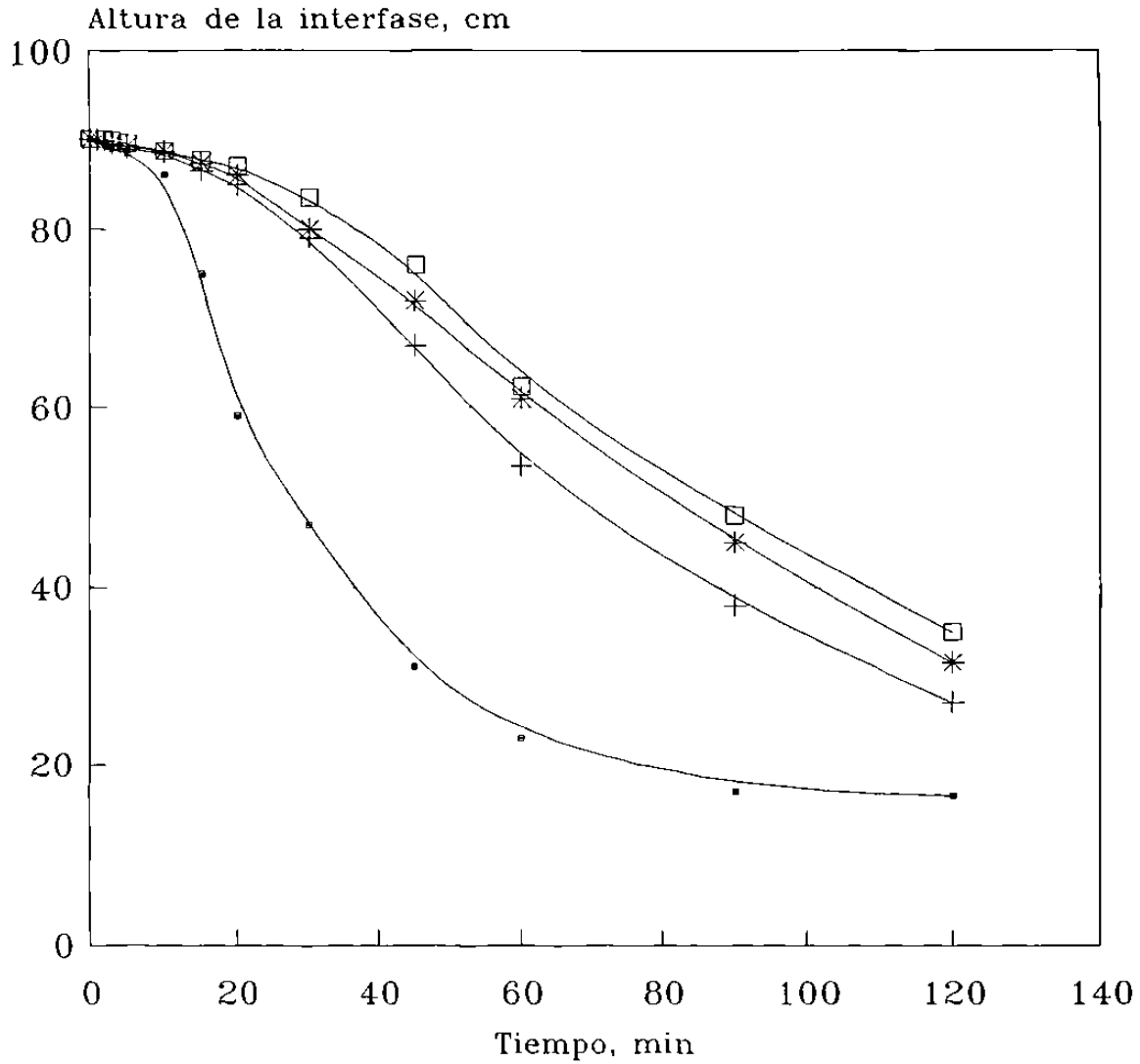
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

PAPELERA MALDONADO, S.A.



Concentración SSLM:	
—●— Co = 1920 mg/L	—+— Co = 3100 mg/L
—*— Co = 4570 mg/L	—□— Co = 4700 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

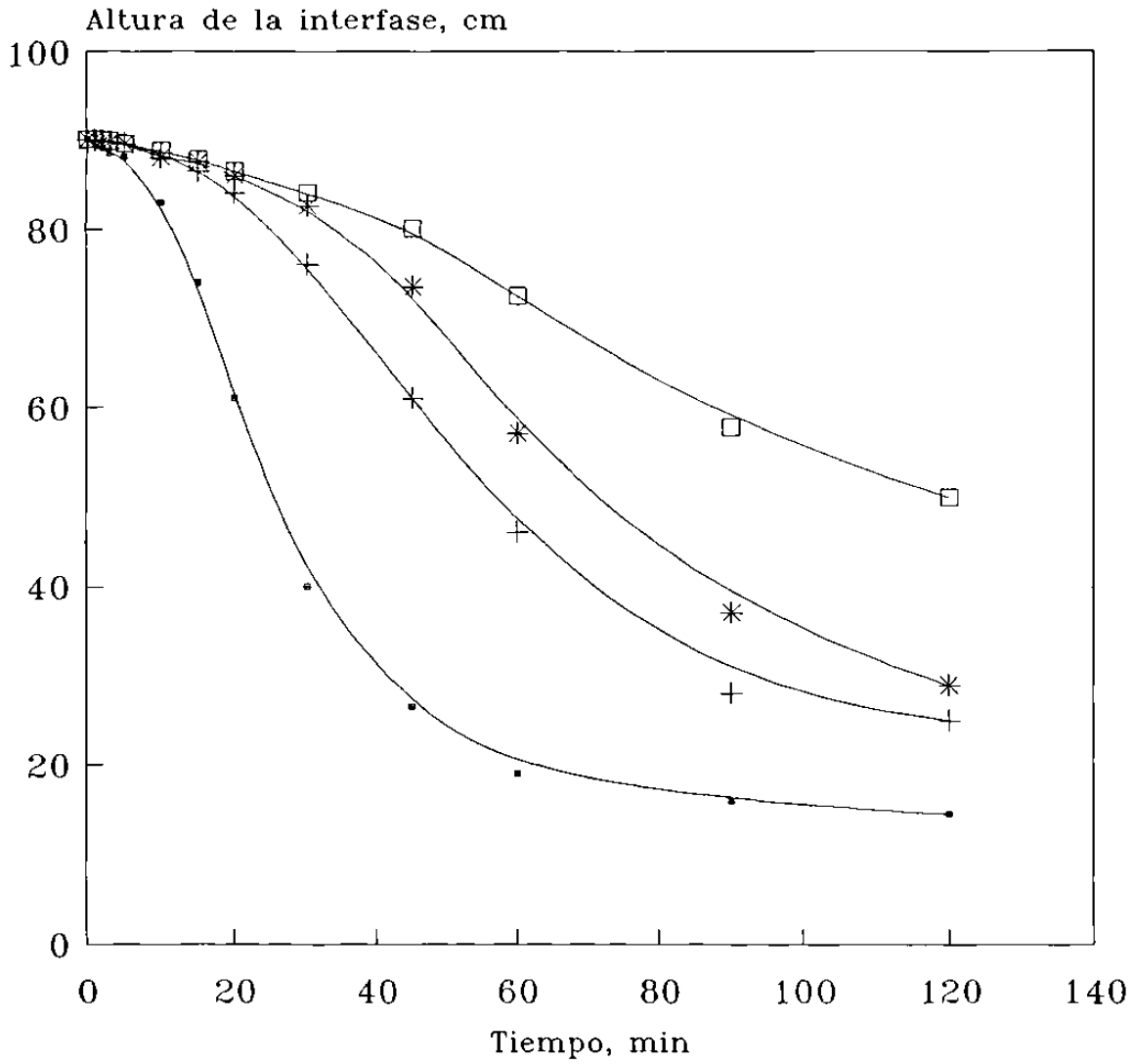
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

PAPELERA MALDONADO, S.A.



Concentración SSLM:	
—●— Co = 2000 mg/L	—+— Co = 3125 mg/L
—*— Co = 3750 mg/L	—□— Co = 5180 mg/L

Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

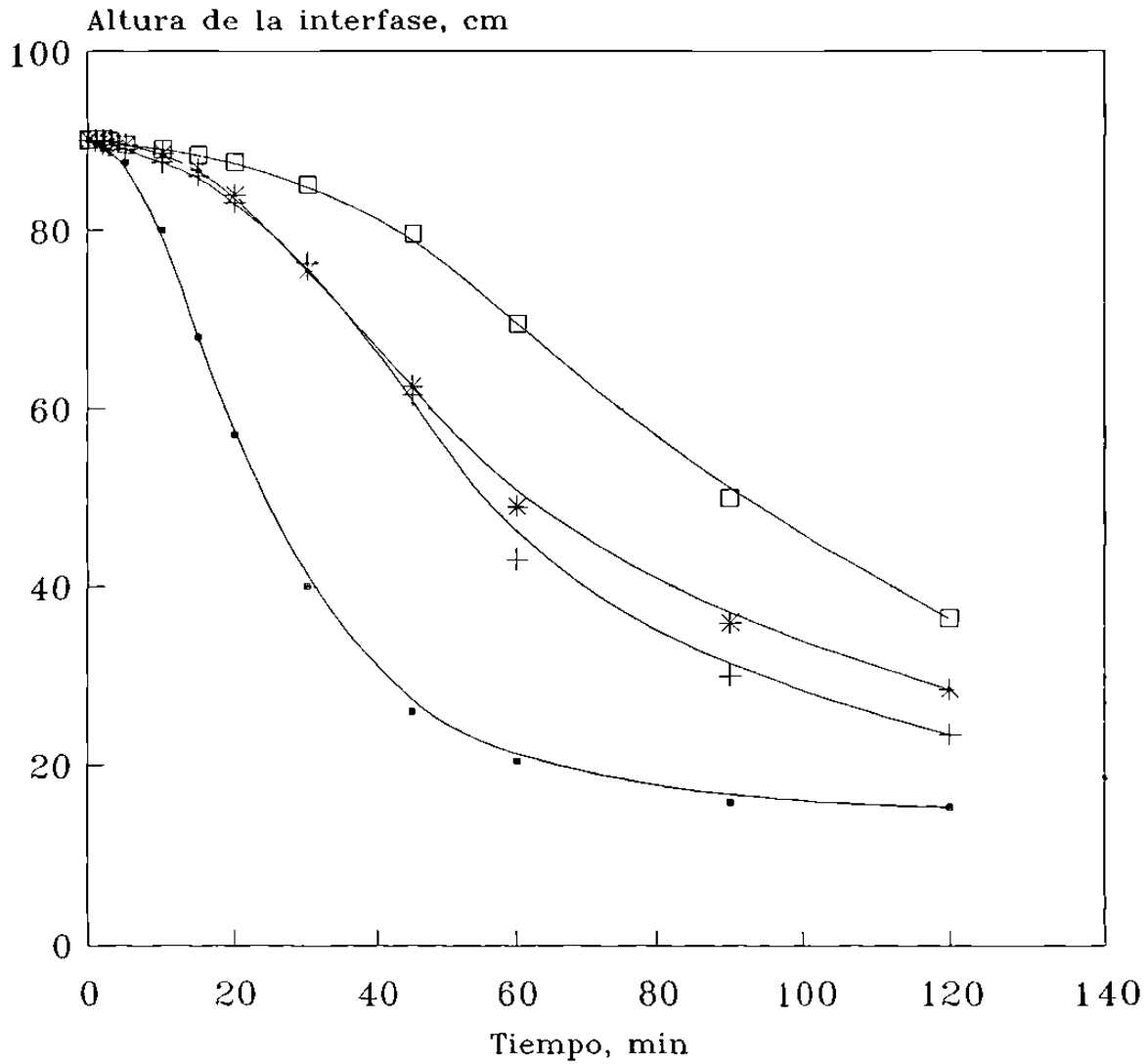
Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Continúa

Figura 2.1 Continuación

PAPELERA MALDONADO, S.A.



Concentración SSLM:			
—●—	Co = 2260 mg/L	—+—	Co = 3810 mg/L
—*—	Co = 3730 mg/L	—□—	Co = 4870 mg/L

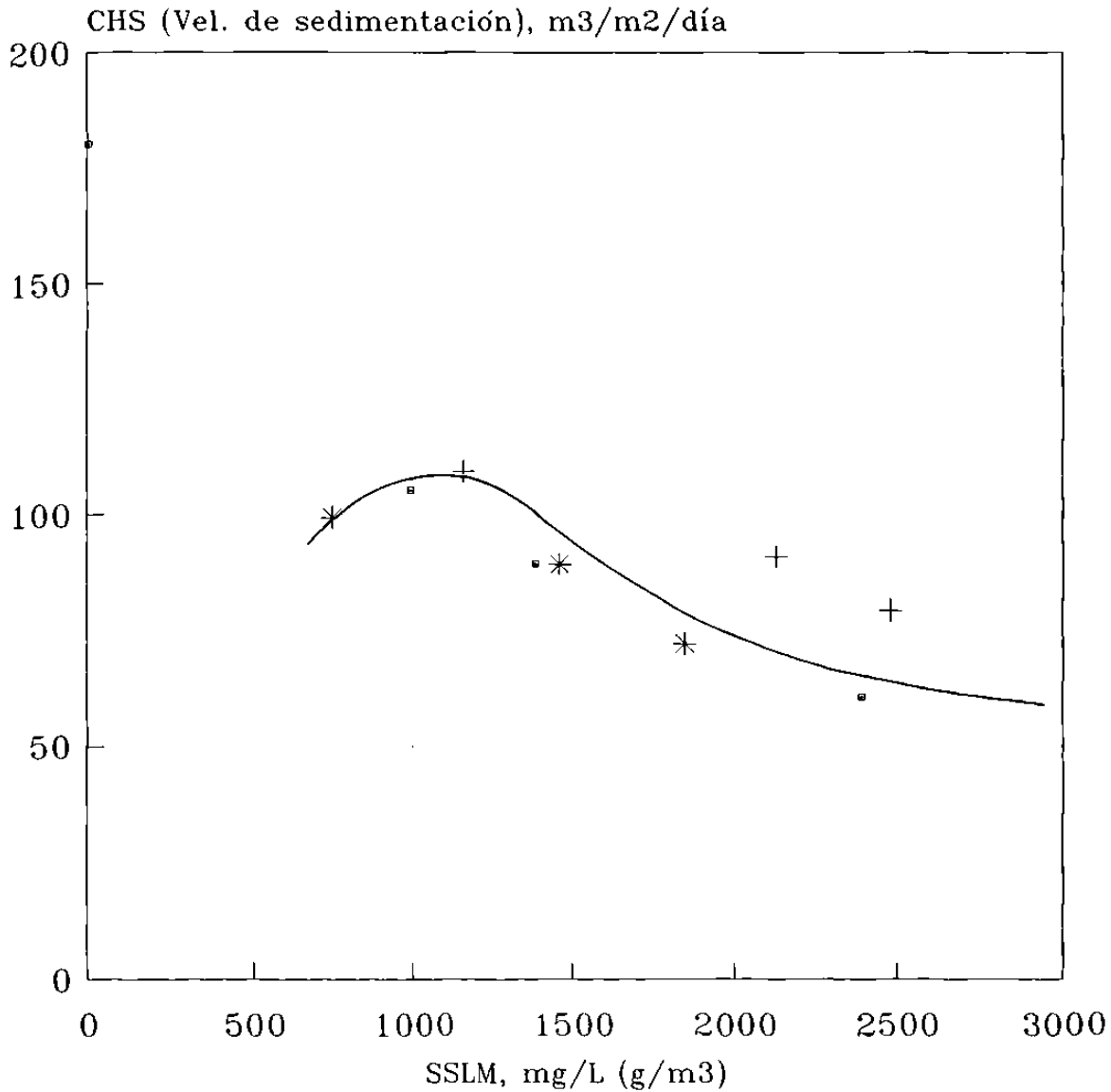
Figura 2.1 Curva de sedimentación de la interfase

Fuente: Tabla 1.1 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.2 anexo 1

Figura 2.2 Continuación

Planta 1 CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.



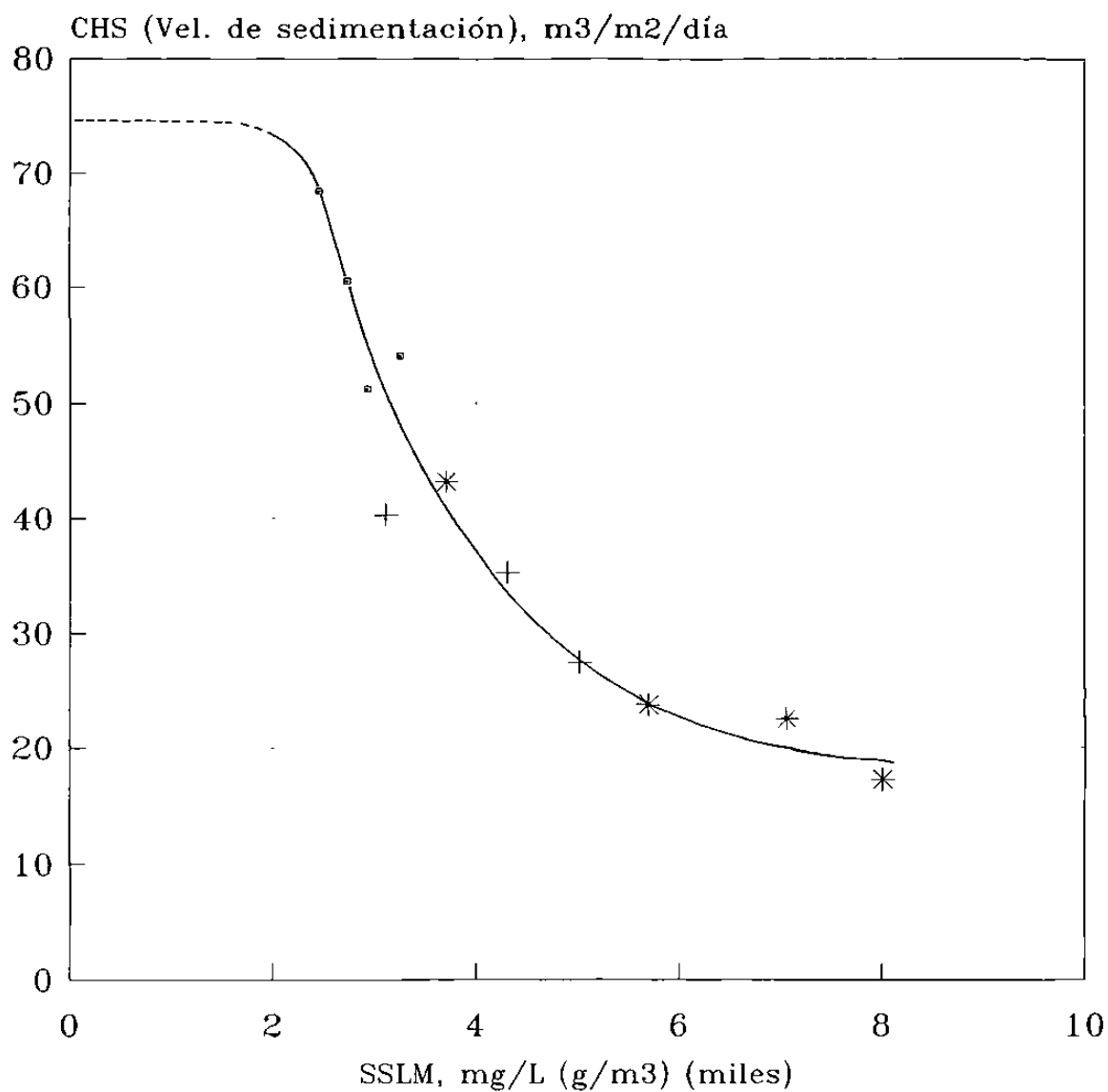
Fecha de muestreo:
 ■ 9/jun/93 + 10/jun/93 * 11/jun/93

Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.4 anexo 1

Continúa

Figura 2.2 Continuación

Planta 2 AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.



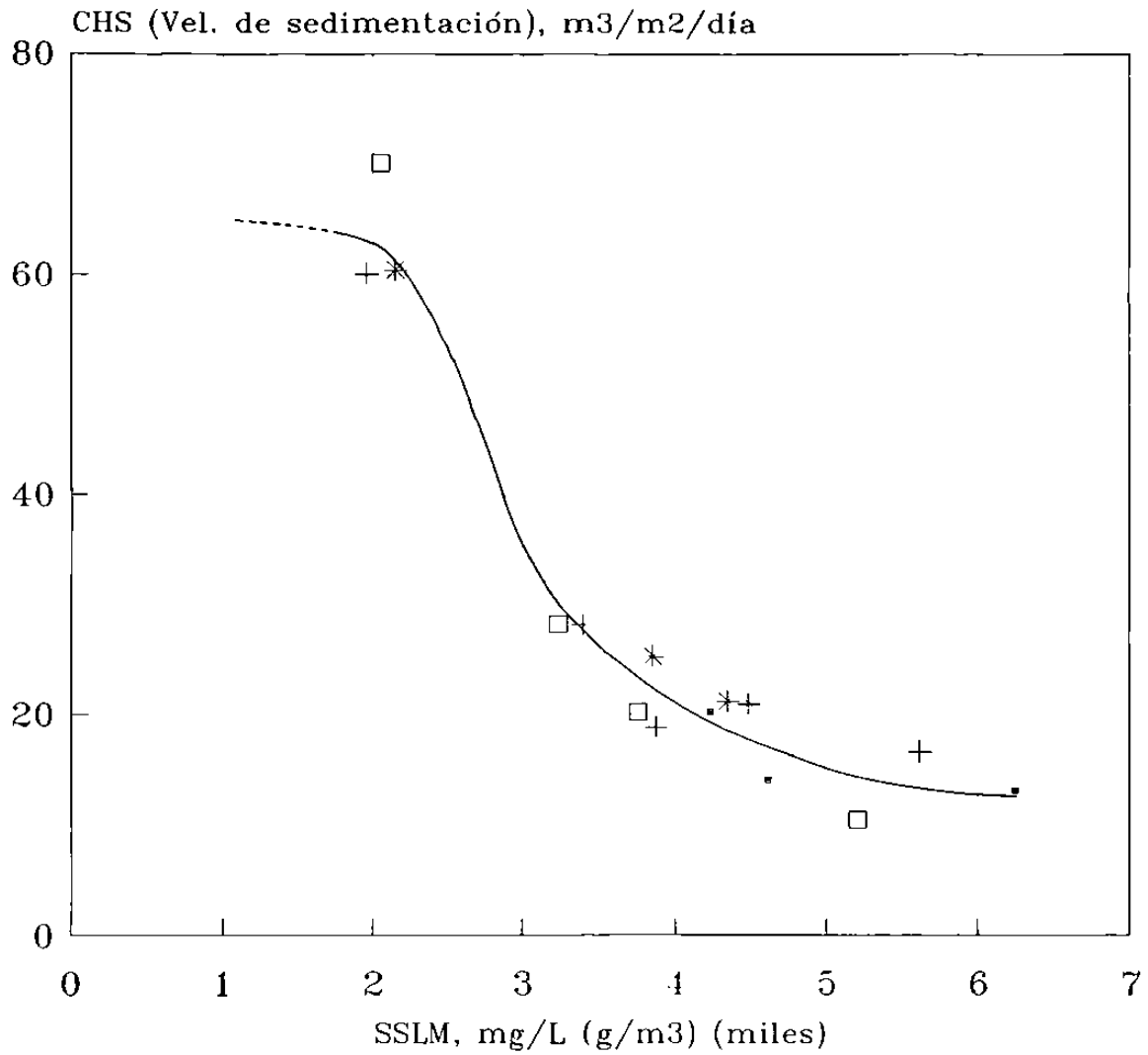
Fecha de muestreo:
 ■ 16/jun/93 + 17/jun/93 * 18/jun/93

Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.4 anexo 1

Continúa

Figura 2.2 Continuación

Planta 3 AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.



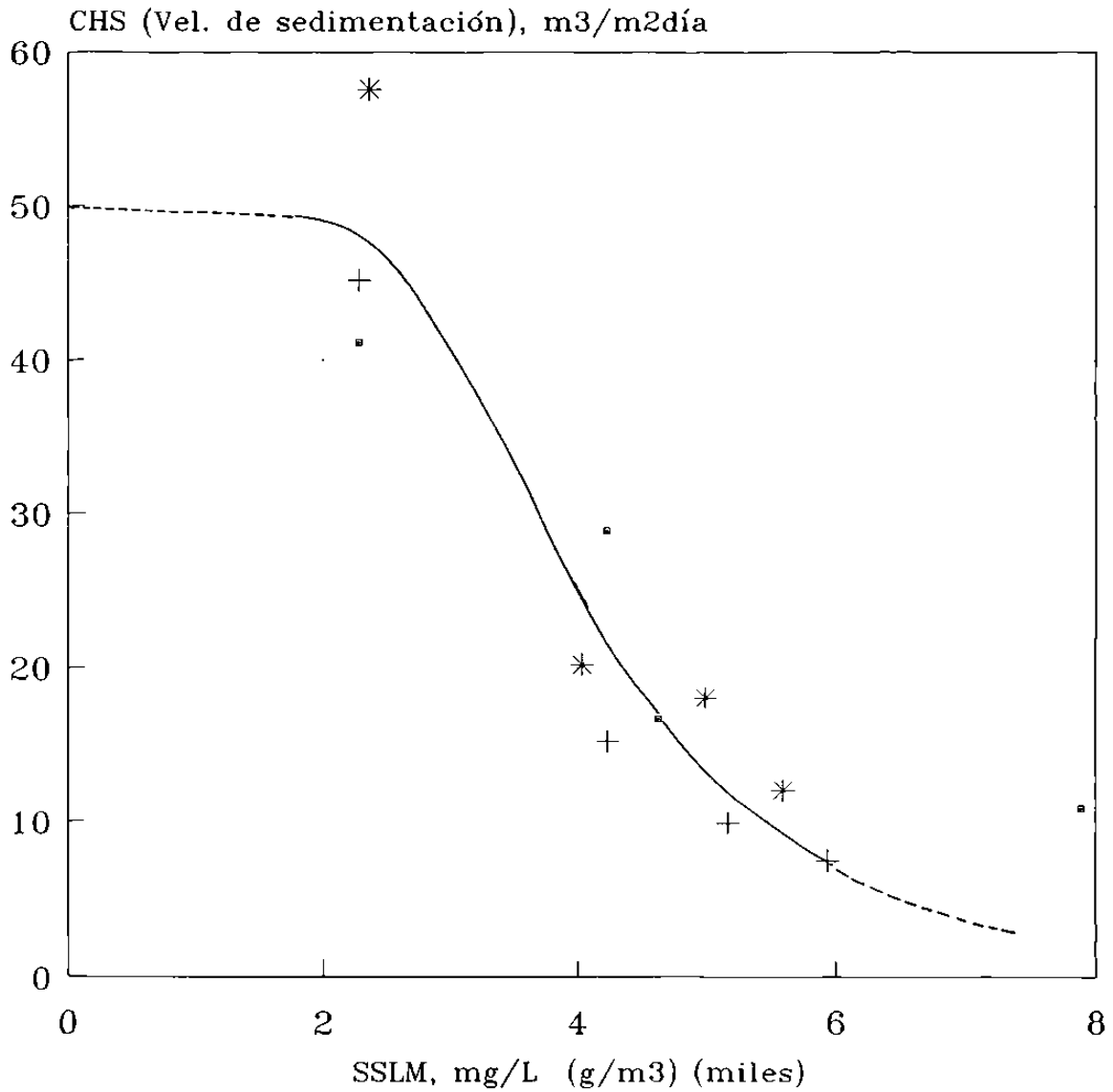
Fecha de muestreo:	
•	7/jul/93
+	8jul/93
*	9/jul/93
□	10/jul/93

Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM -
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.4 anexol

Continúa

Planta 4

PEMEX PLANTA SAN RAFAEL



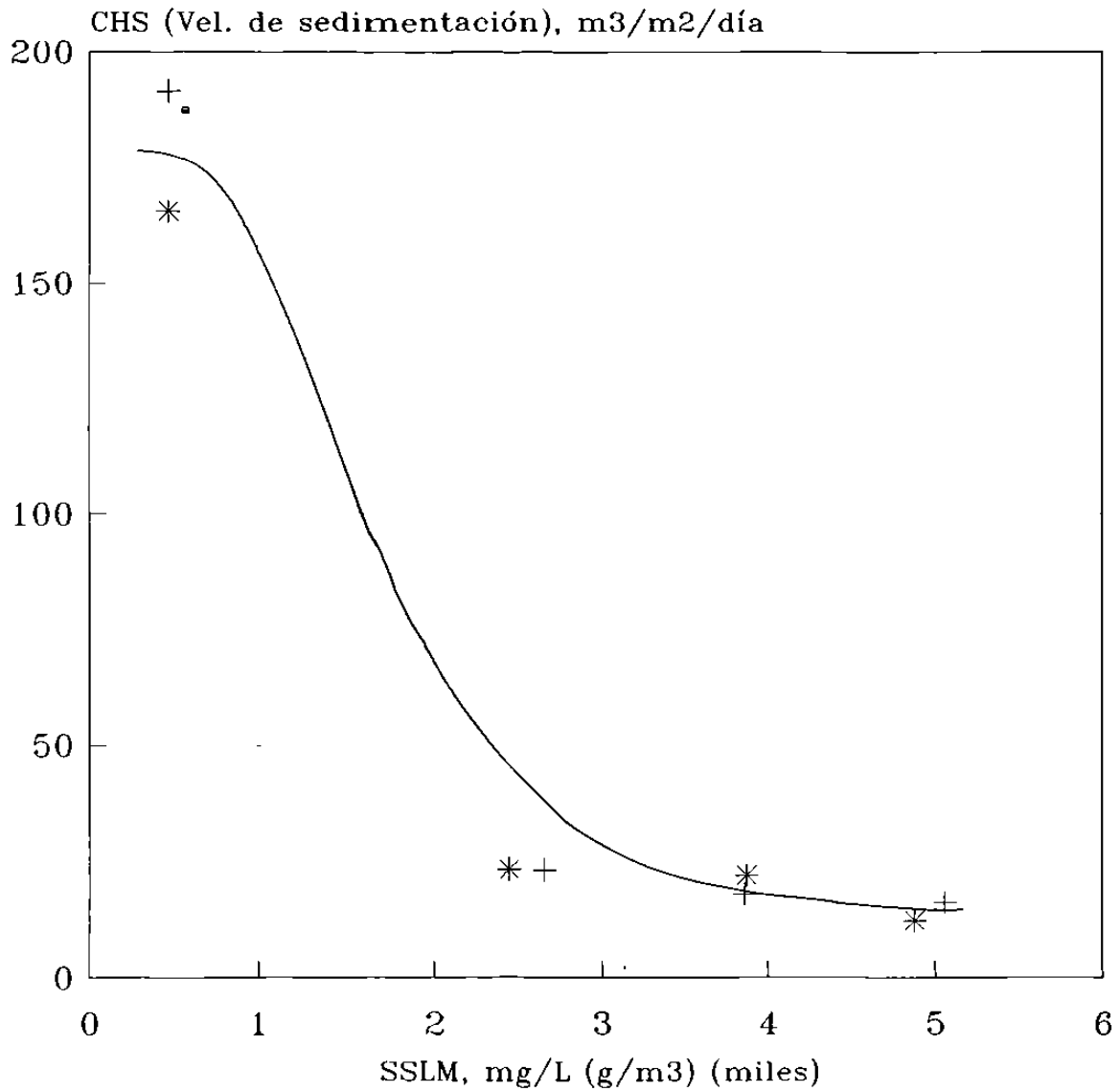
Fecha de muestreo:
 ■ 14/jul/93 + 15/jul/93 * 16/jul/93

Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM -
 Fuente: Tabla 1.3 anexo I Correspondiente a la tabla 1.4 anexo I

Continúa

Figura 2.2 Continuación

Planta 6 C.F.E. PLANTA TERMOELECTRICA MONTERREY



Fecha de muestreo:

■ 25/ago/93 + 27/ago/93 * 28/ago/93

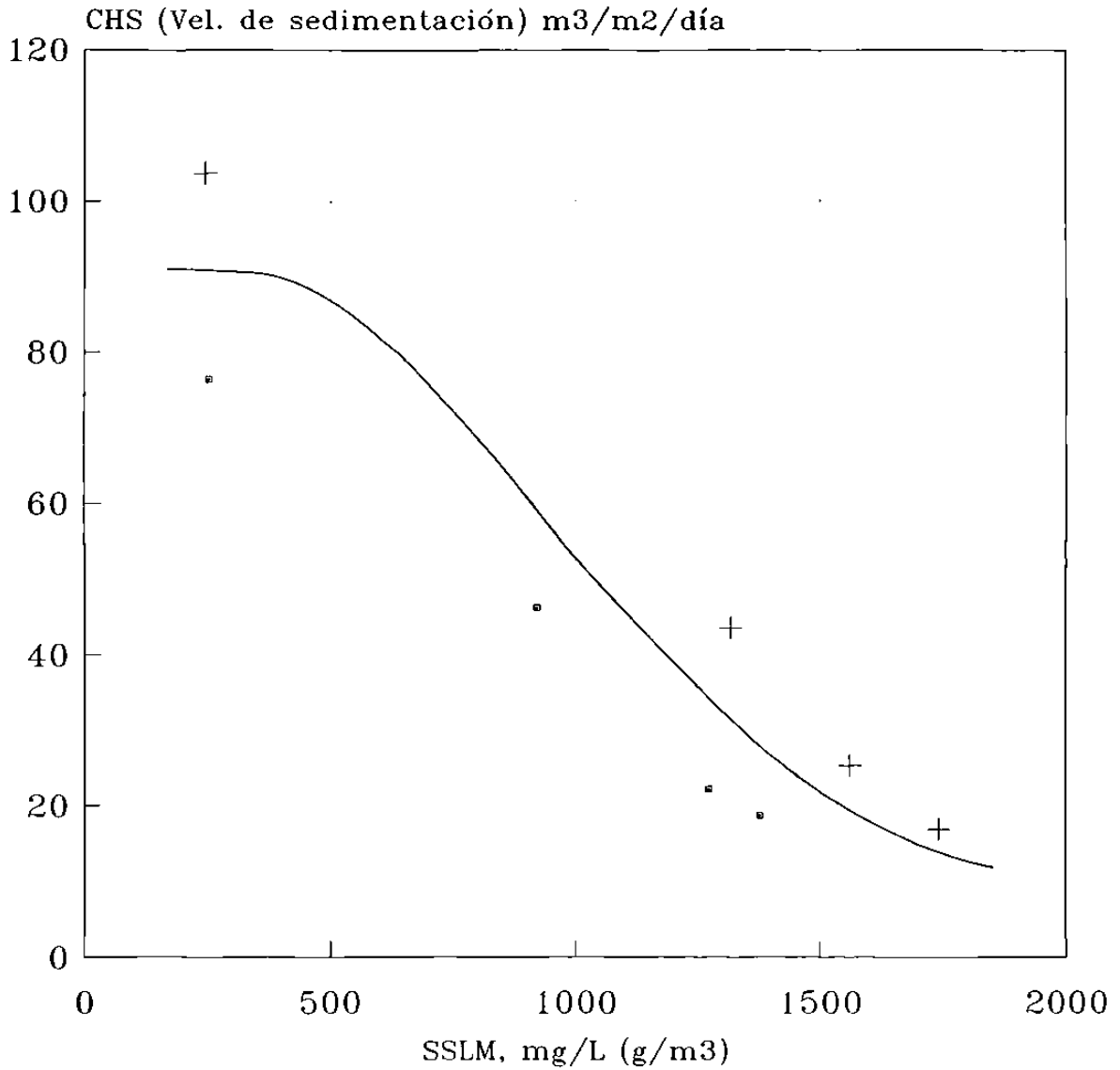
Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.4 anexo 1

Continúa

Figura 2.2 Continuación

Planta 7

CYDSA PLANTA COPROPIEDAD



Fecha de muestreo:
 ◻ 2/sep/93 + 3/sep/93

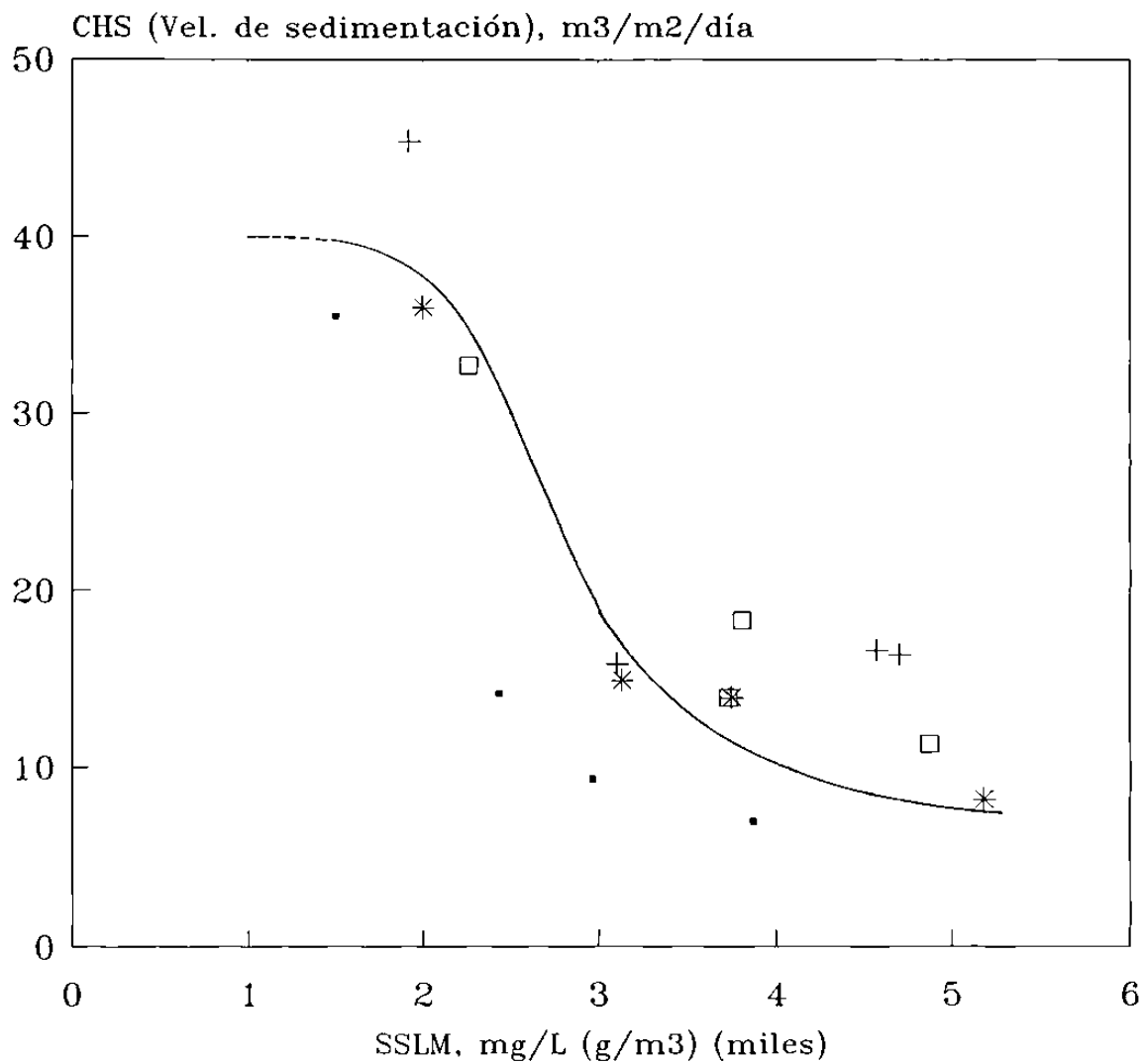
Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.4 anexo 1

Continúa

Figura 2.2 Continuación

Planta 8

PAPELERA MALDONADO, S.A.



Fecha de muestreo:	
▪ 14/sep/93	+ 15/sep/93
* 18/sep/93 *	□ 18/sep/93 **

Primer muestreo

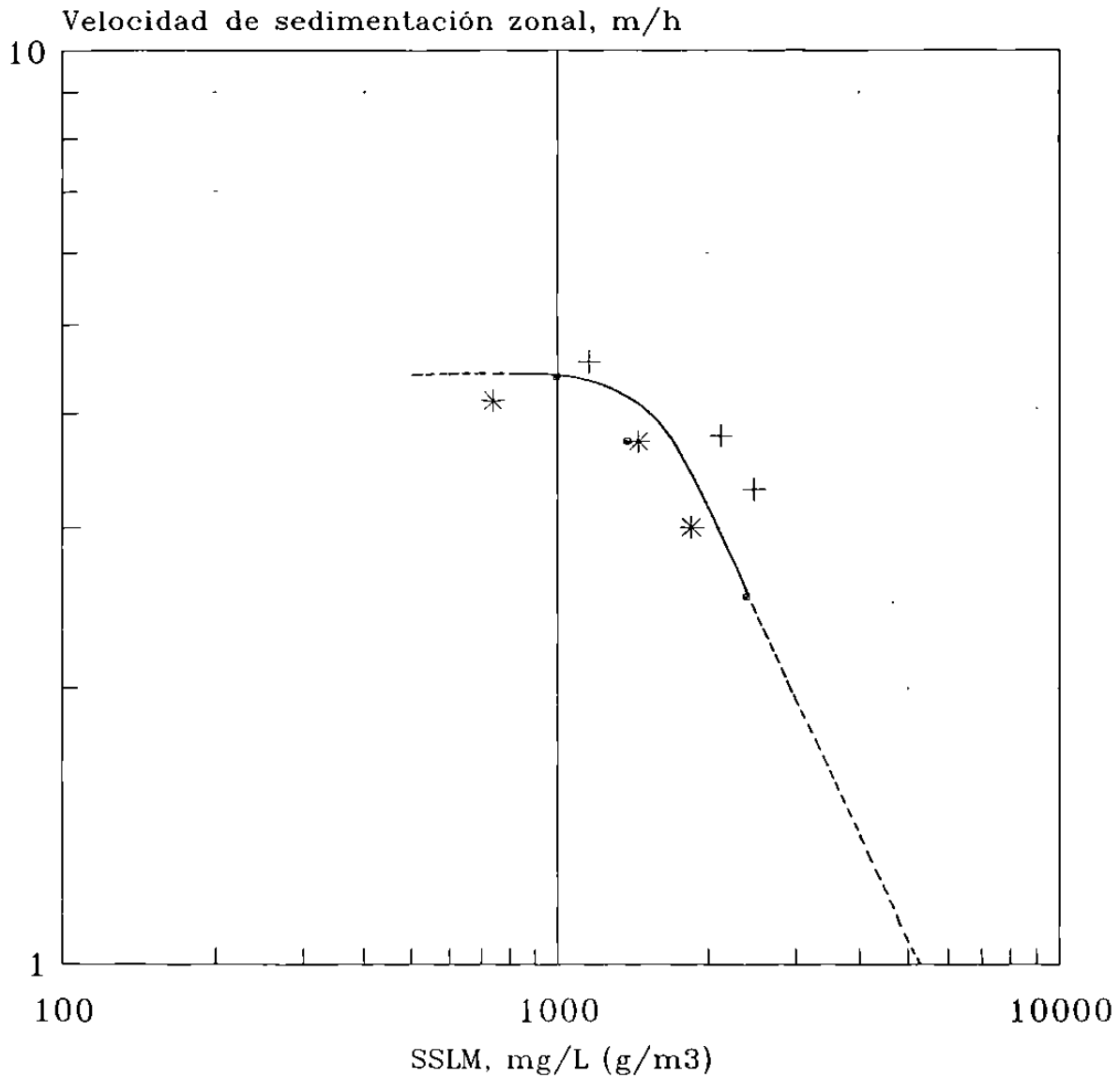
Segundo muestreo

Figura 2.2 Relación de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM

Fuente: Tabla 1.3 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.4 anexo 1

Planta 1 CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.



Fecha de muestreo:

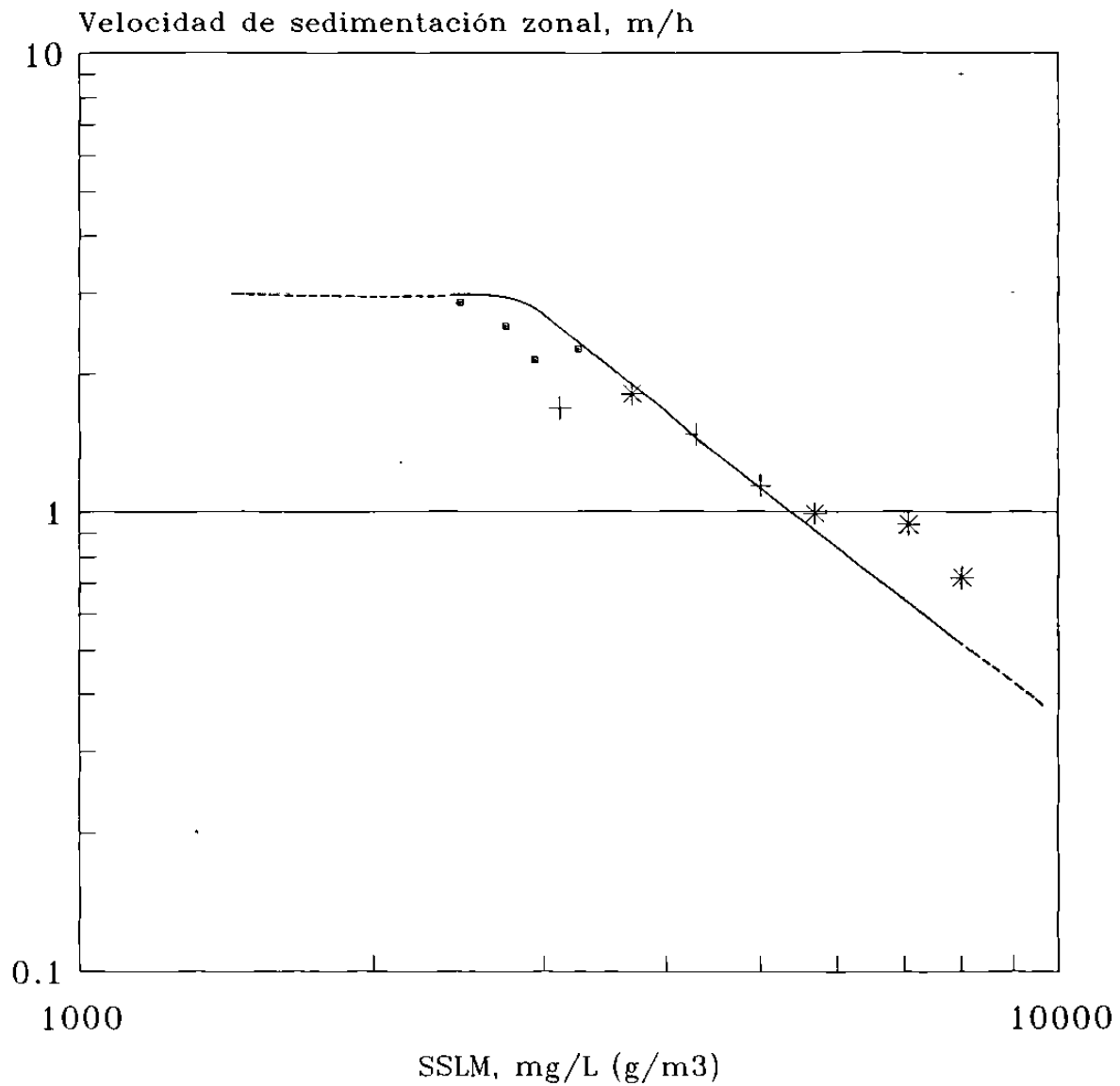
▪ 9/jun/93 + 10/jun/93 * 11/jun/93

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 2 AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A. DE C.V.



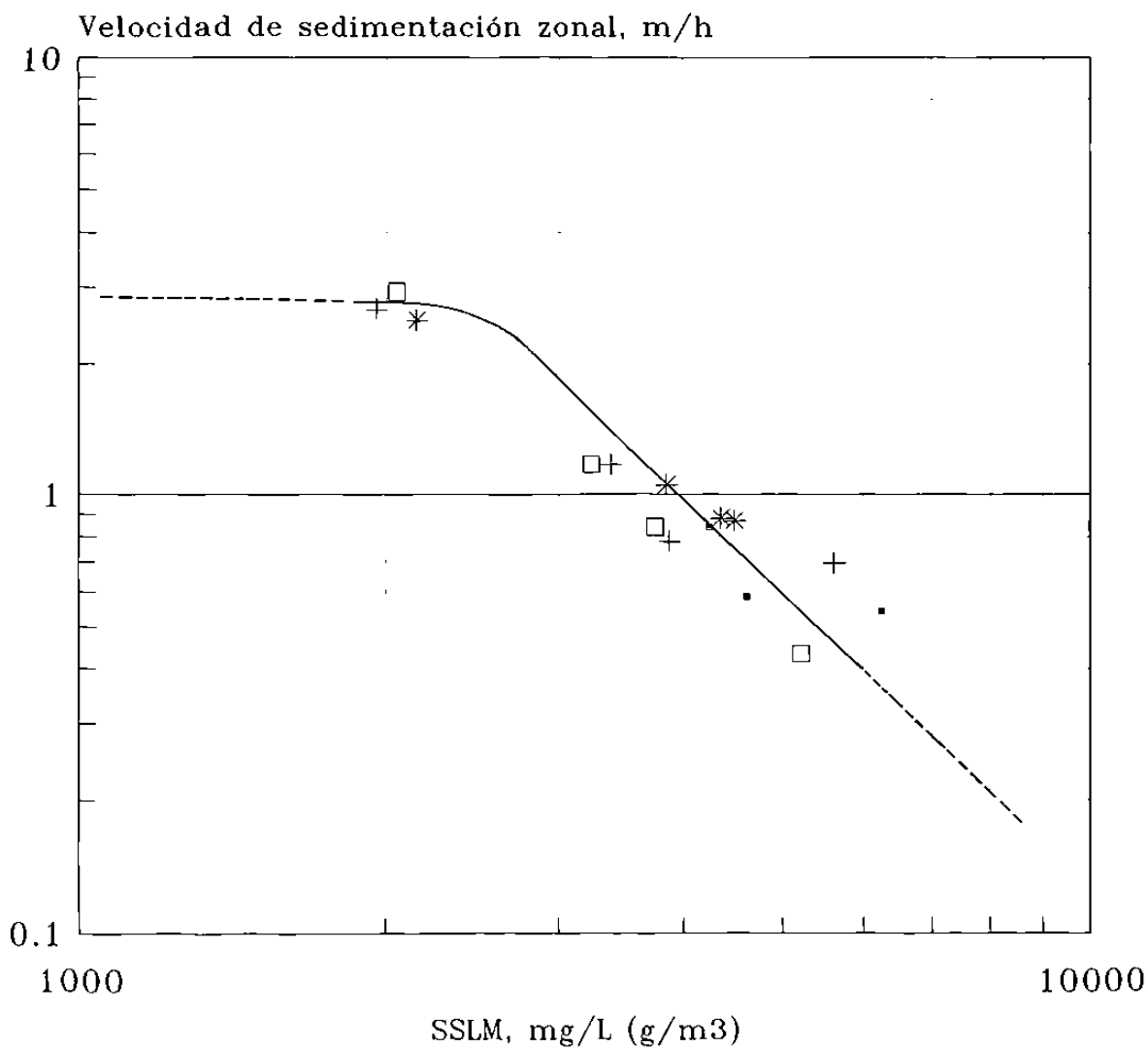
Fecha de muestreo:
 ■ 16/jun/93 + 17/jun/93 * 18/jun/93

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 3 AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.



Fecha de muestreo:	
• 7/jul/93	+ 8jul/93
* 9/jul/93	□ 10/jul/93

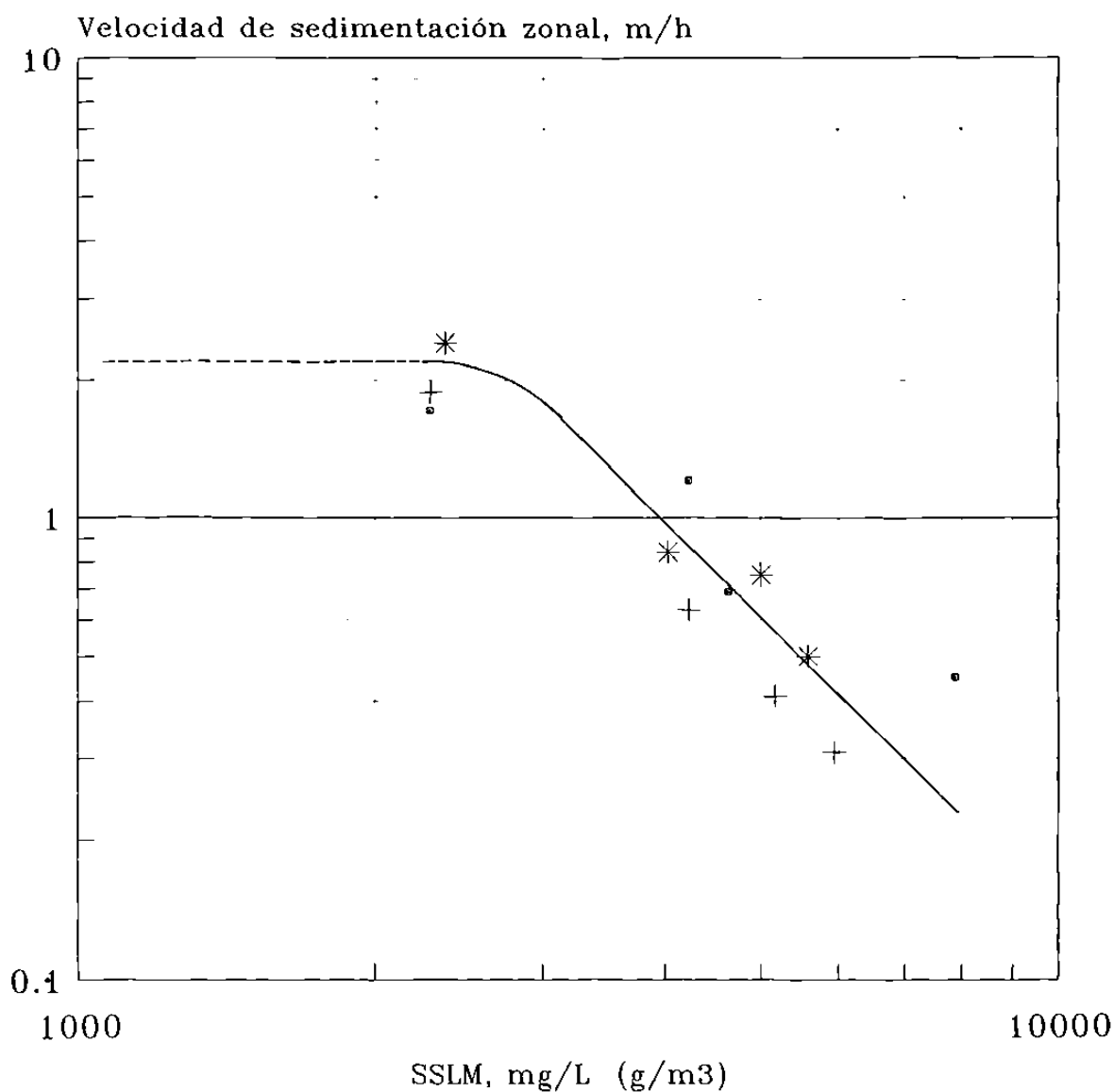
Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 4

PEMEX PLANTA SAN RAFAEL



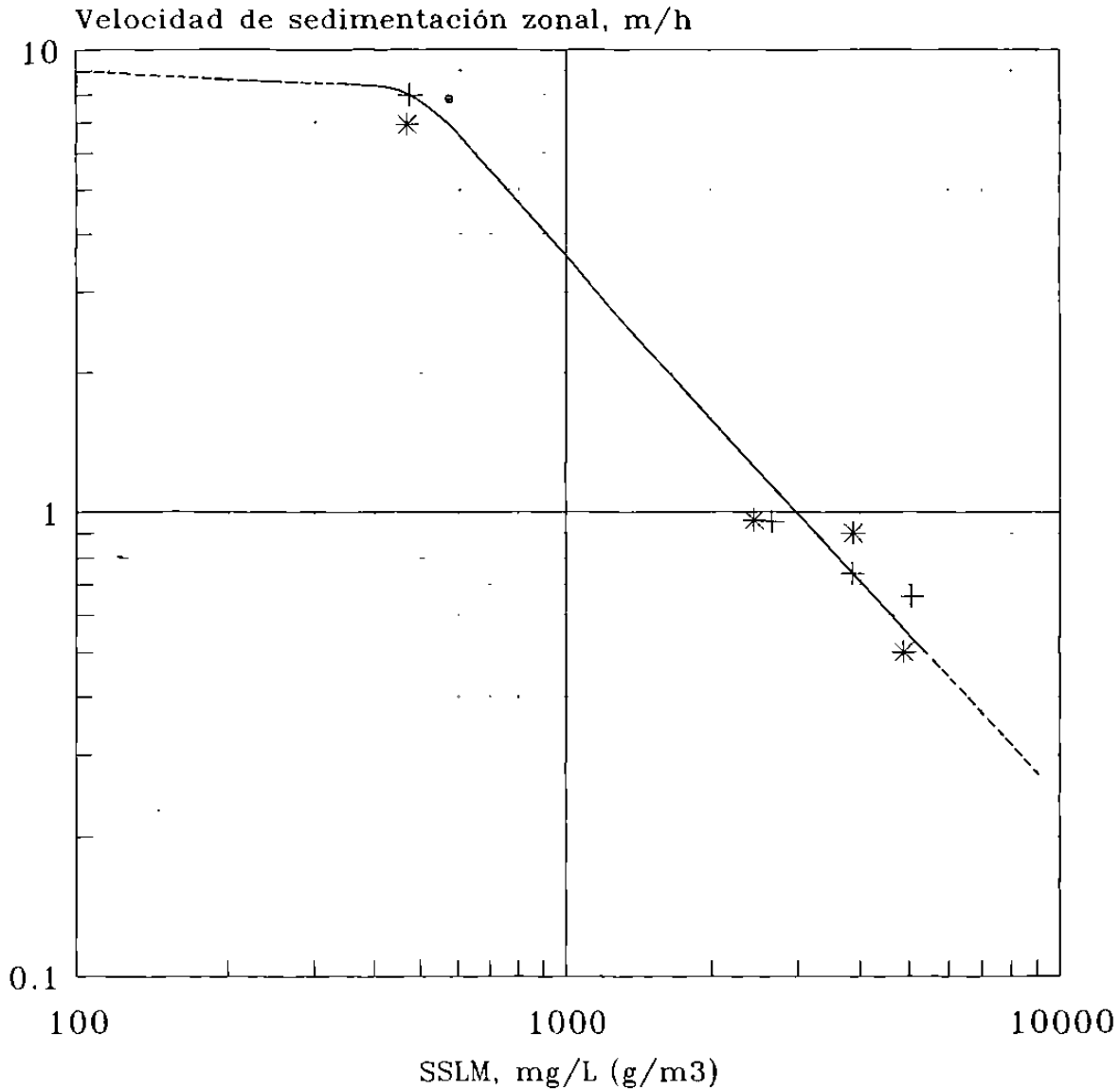
Fecha de muestreo:
 • 14/jul/93 + 15/jul/93 * 16/jul/93

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM
 Fuente: Tabla 1.3 anexo 1 Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 6 C.F.E. PLANTA TERMoeLECTRICA MONTERREY



Fecha de muestreo:
 □ 25/ago/93 + 27/ago/93 * 28/ago/93

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM

Fuente: Tabla 1.3 anexo 1

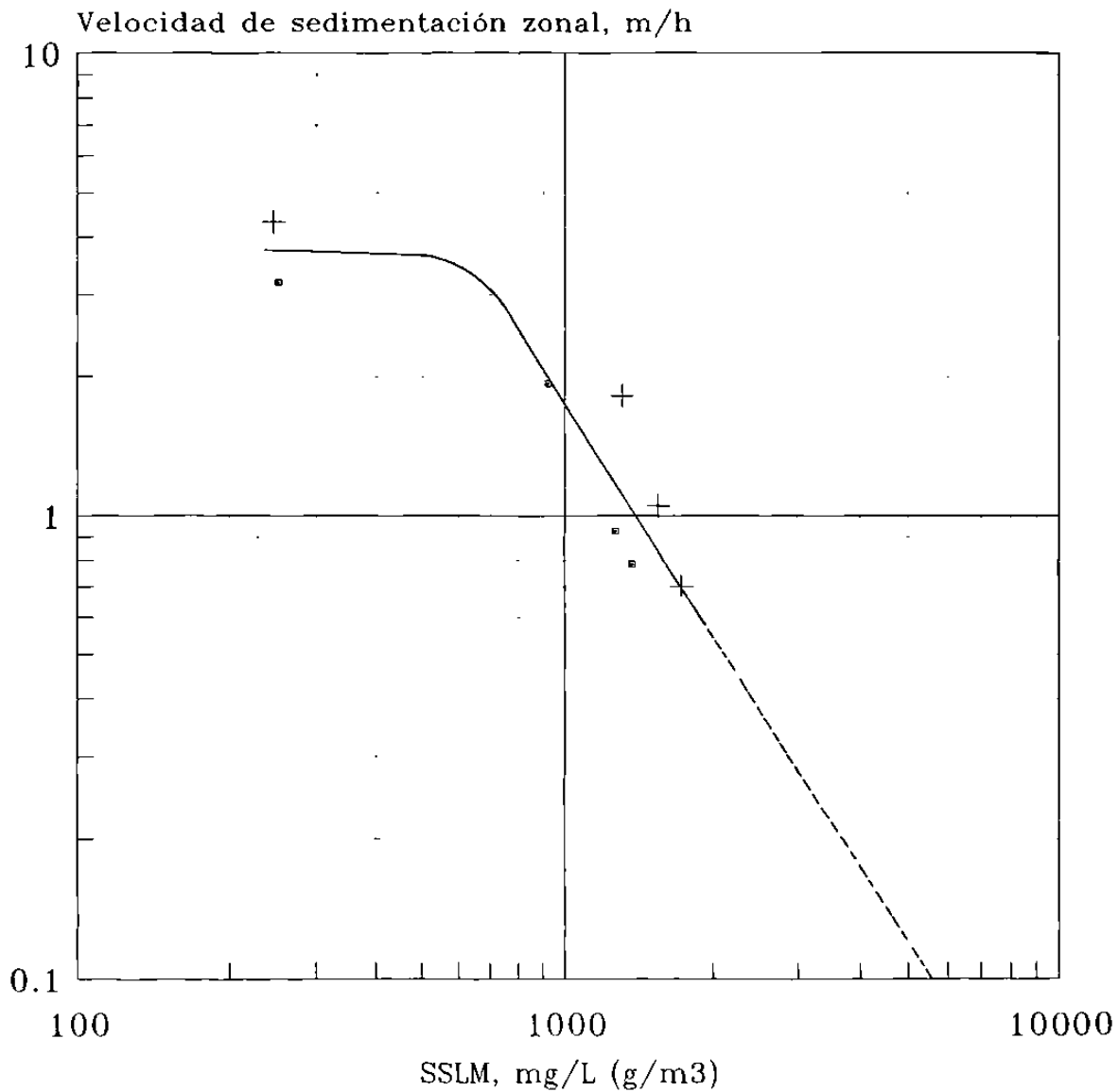
Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 7

CYDSA PLANTA COPROPIEDAD



Fecha de muestreo:
 ■ 2/sep/93 + 3/sep/93

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM

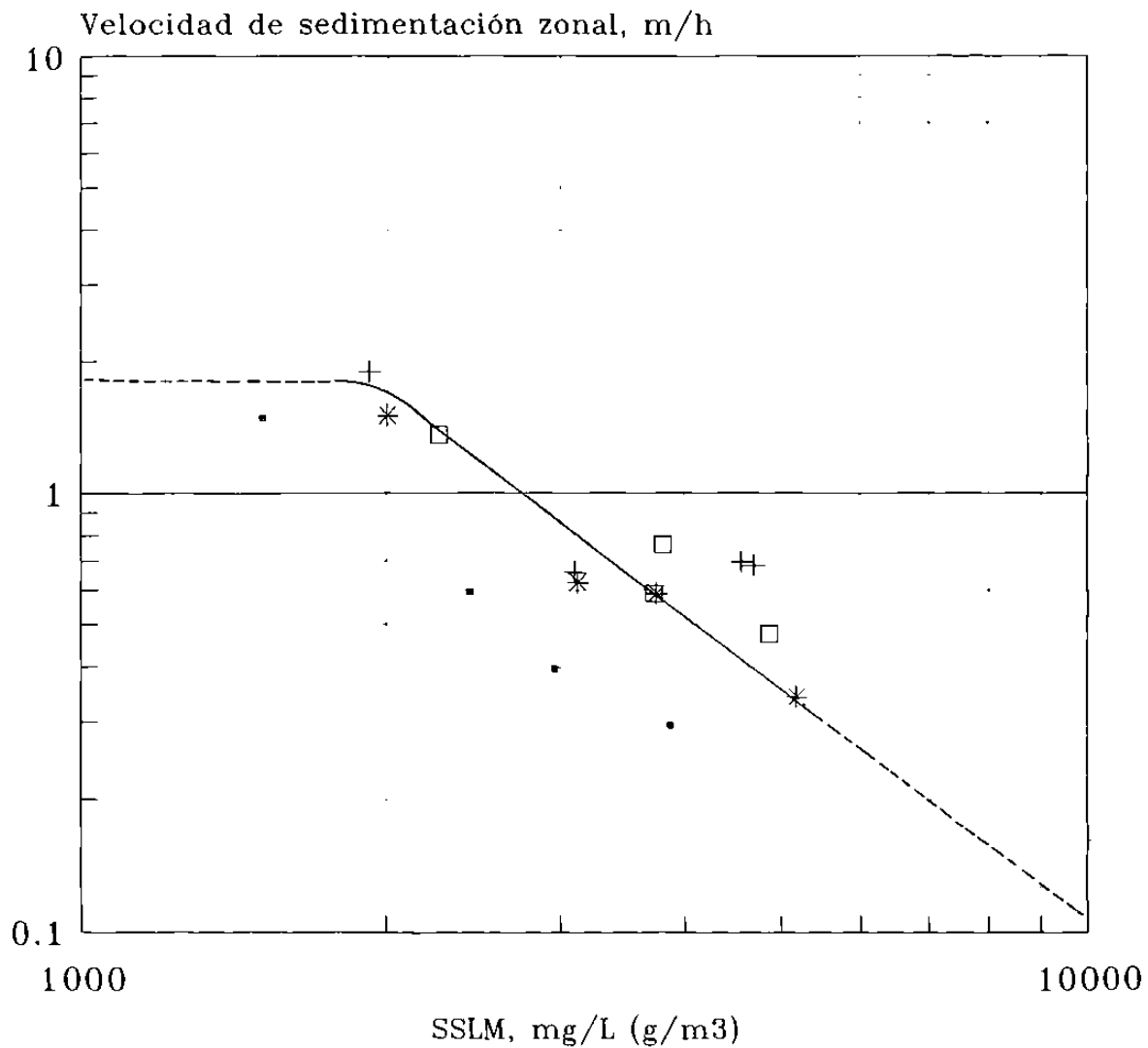
Fuente: Tabla 1.3 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Continúa

Figura 2.3 Continuación

Planta 8 PAPELERA MALDONADO, S.A.



Fecha de muestreo:	
• 14/sep/93	+ 15/sep/93
* 18/sep/93 *	□ 18/sep/93 **

Figura 2.3 Relación logarítmica de la velocidad de sedimentación y la concentración de SSLM

Fuente: Tabla 1.3 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.5 anexo 1

Planta 1 CLUB CAMPESTRE DE MONTERREY, A.C.

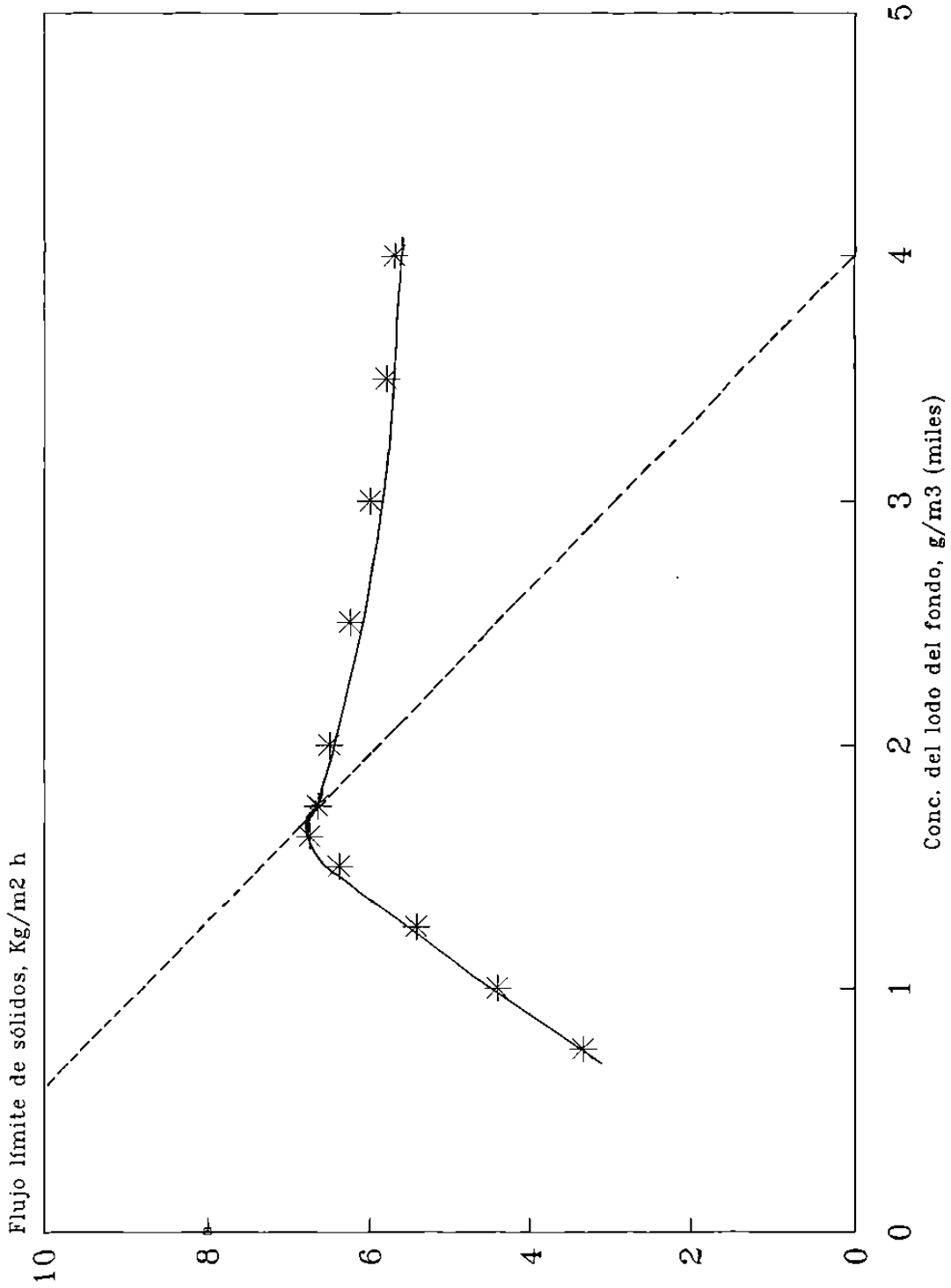


Fig. 2.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

Planta 2 AGUA IND. DEL PONIENTE, S.A DE C.V.

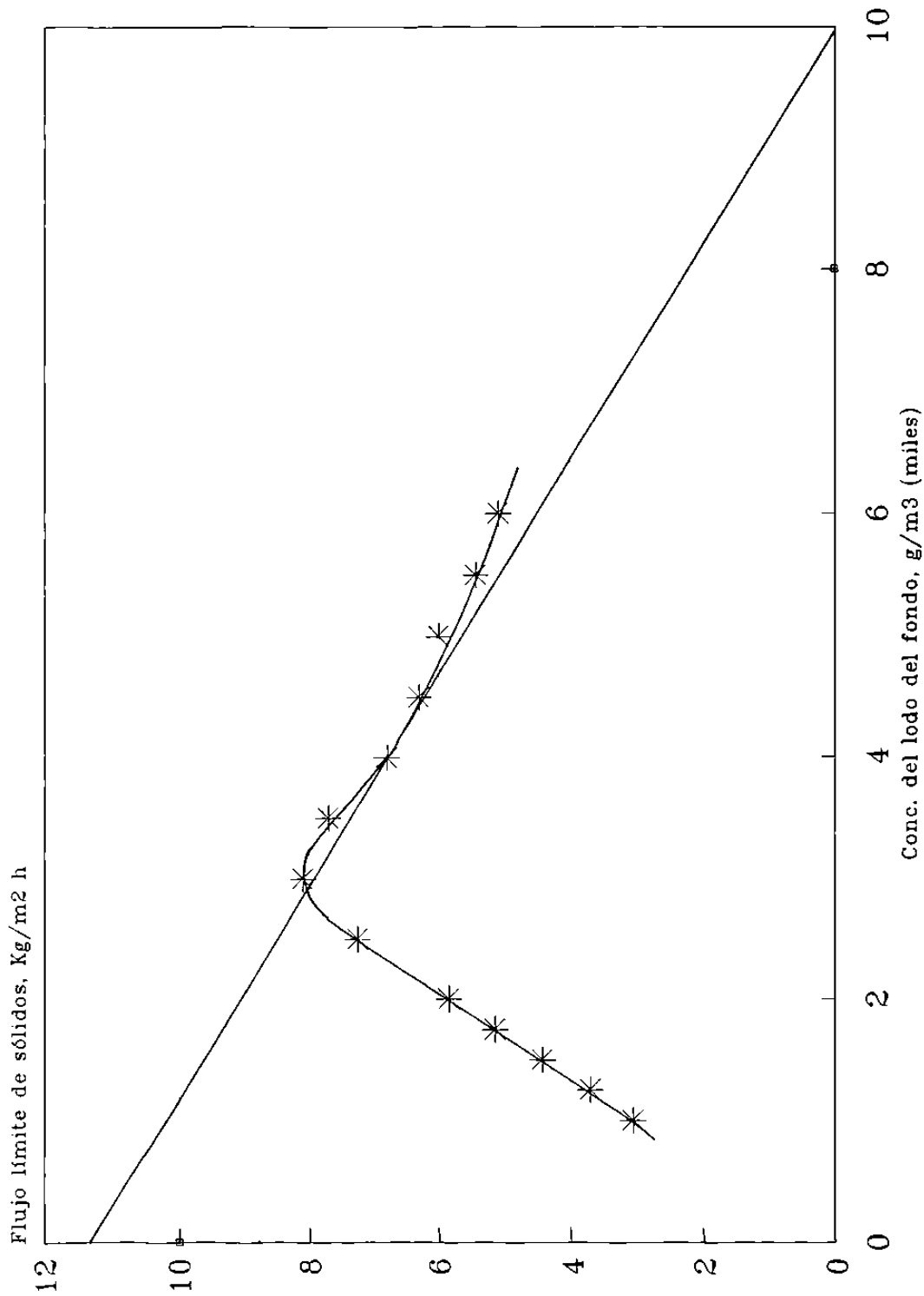


Fig. 2.4 Curva de flujo de solidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

Planta 3 AGUA INDUSTRIAL DE MONTERREY, S. DE U.

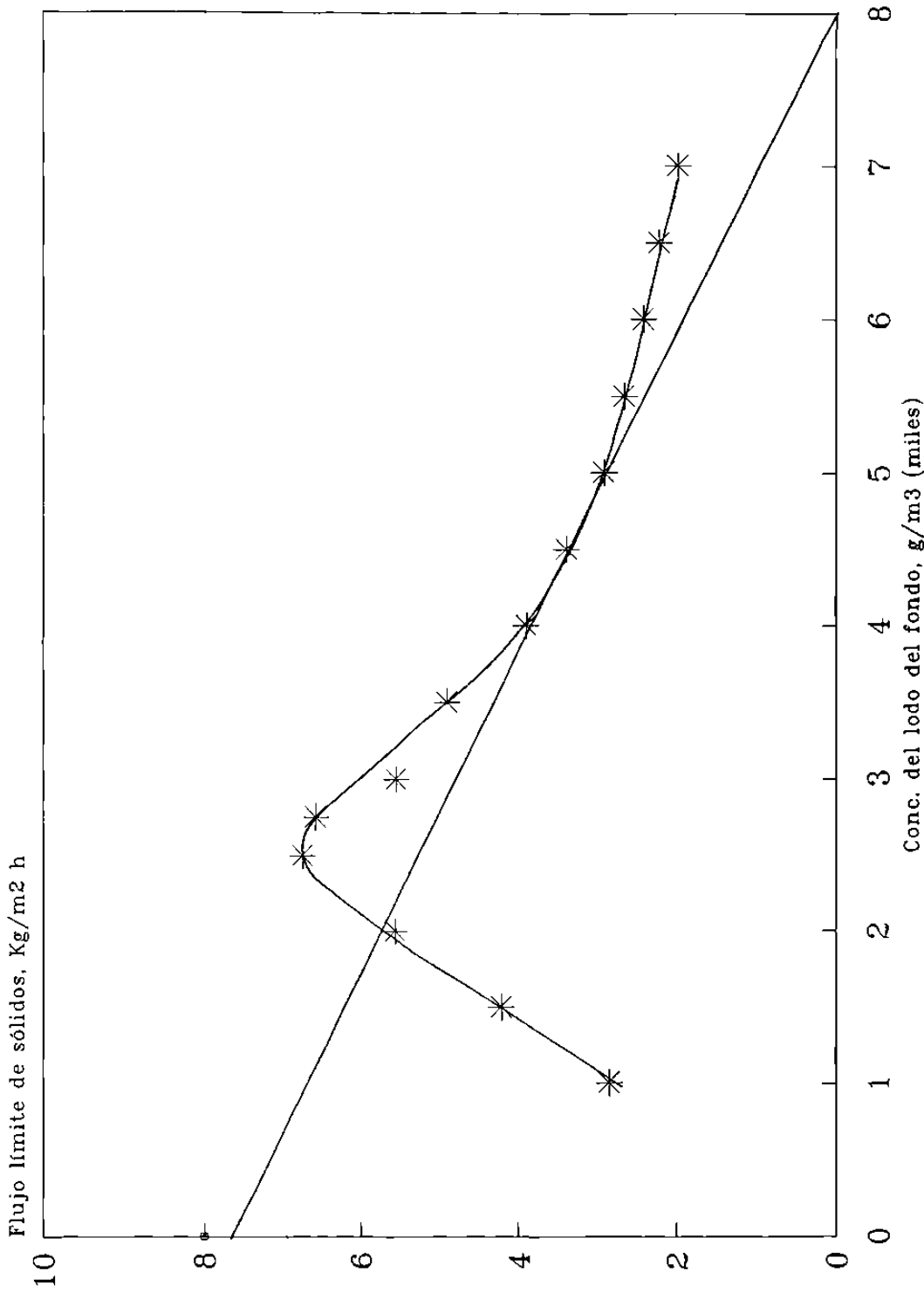


Fig. 2.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

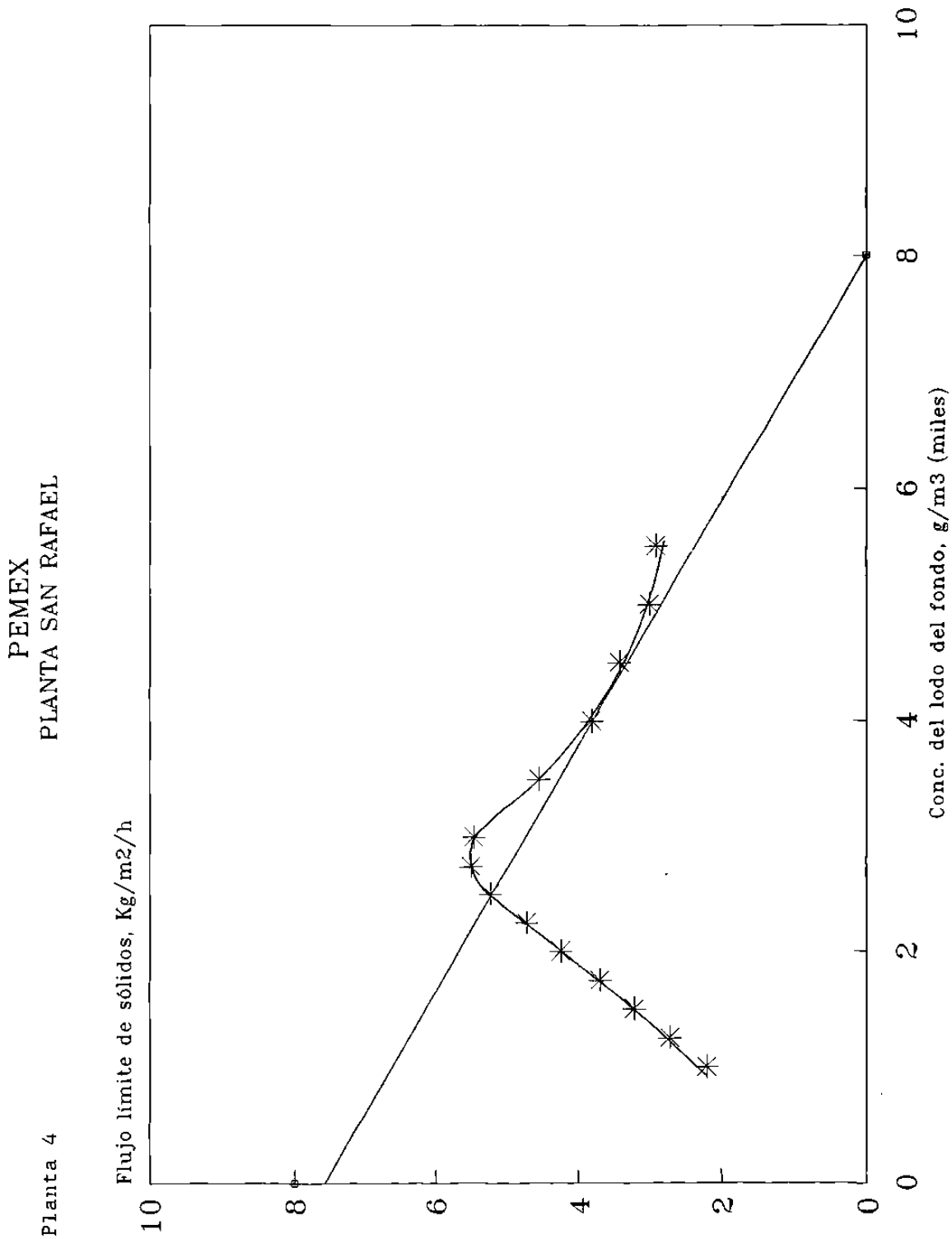


Fig. 2.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

Planta 6
 COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 TERMOELECTRICA MONTERREY

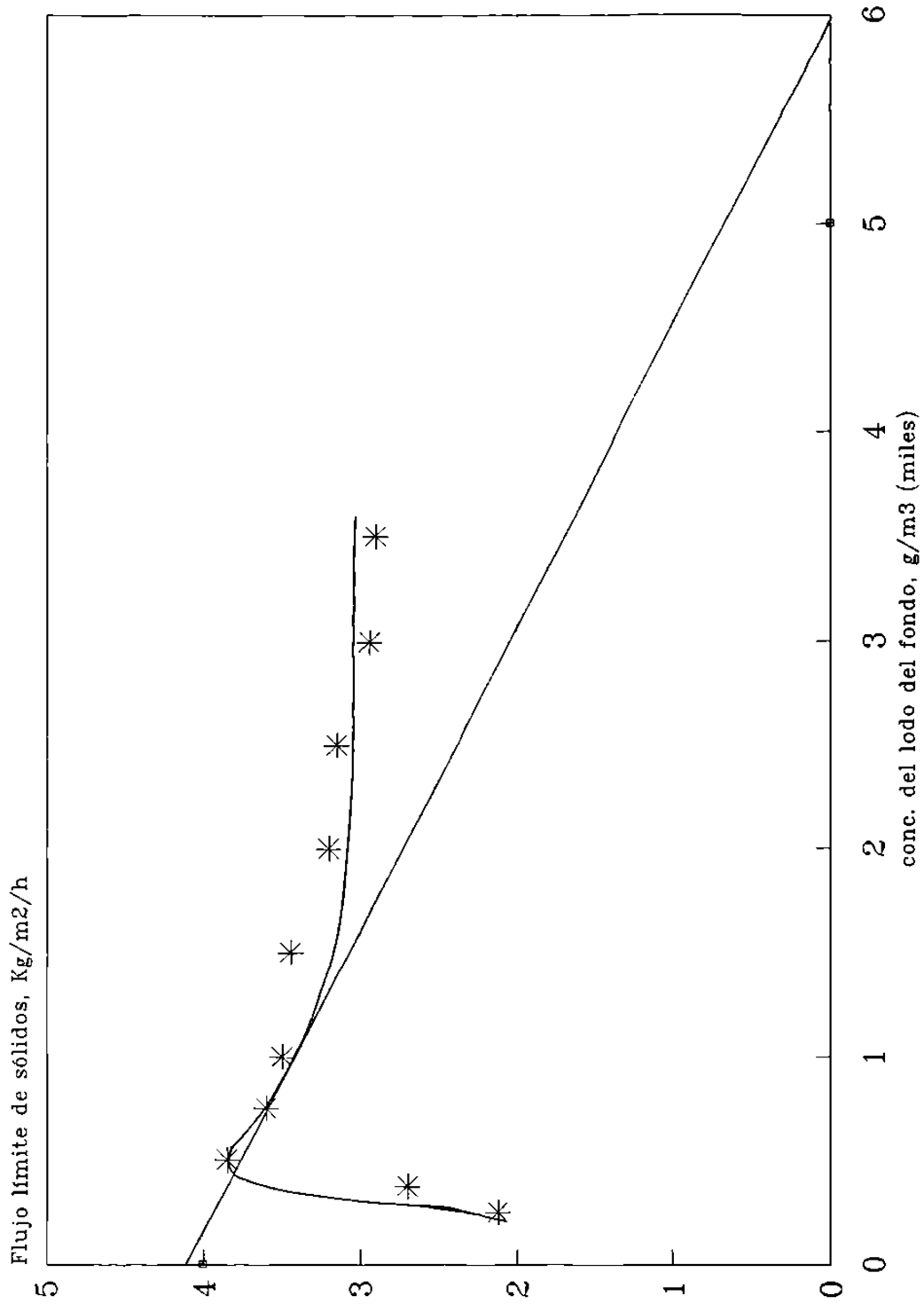


Fig. 2.4 Curva de flujo de solidos por gravedad.

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

Planta 7
 CELULOSA Y DERIVADOS, S.A. DE C.V.
 PLANTA COPROPIEDAD

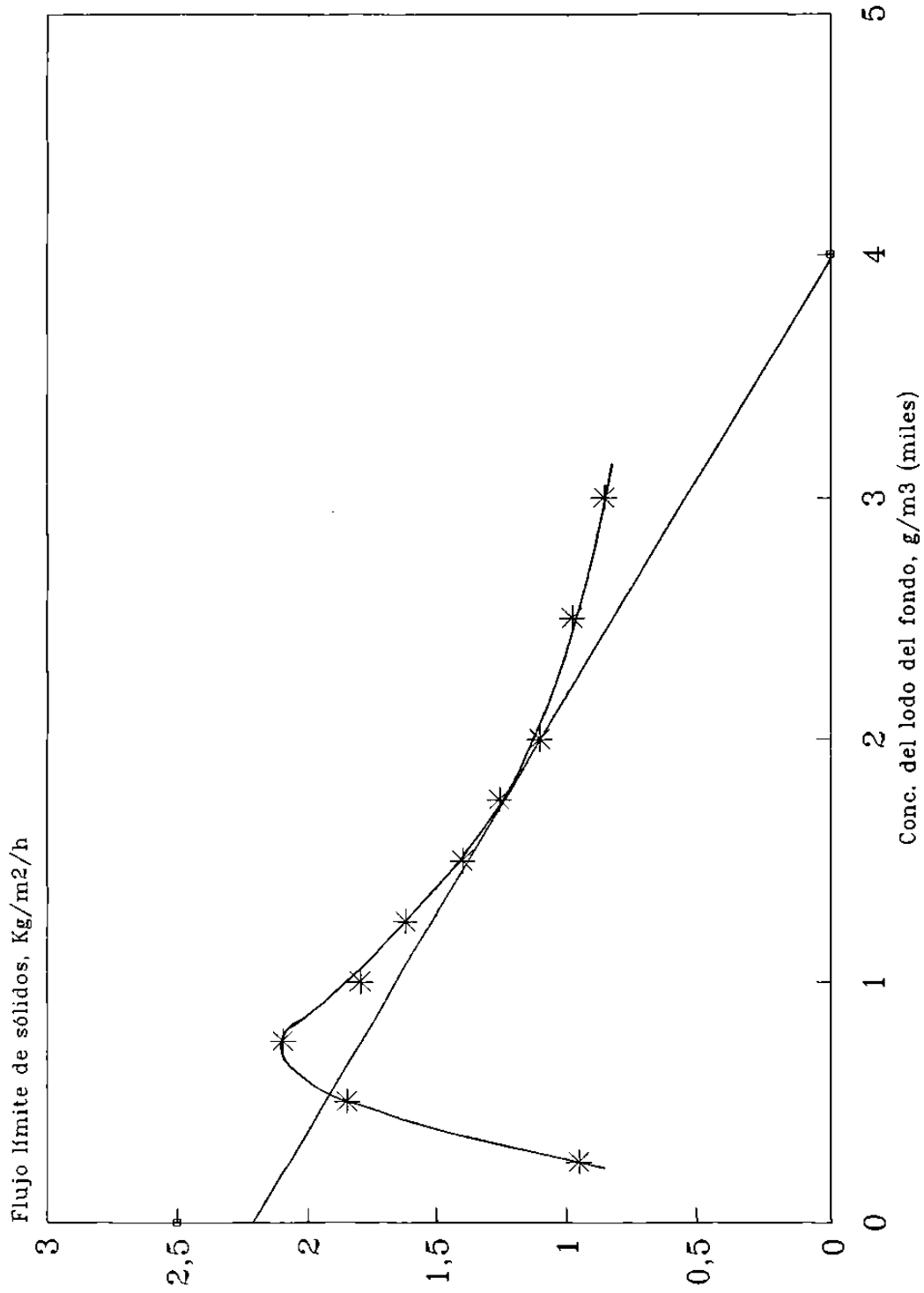


Fig. 2.4 Curva de flujo de sólidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

Continúa

Figura 2.4 Continuación

PAPELERA MALDONADO, S.A.

Planta 8

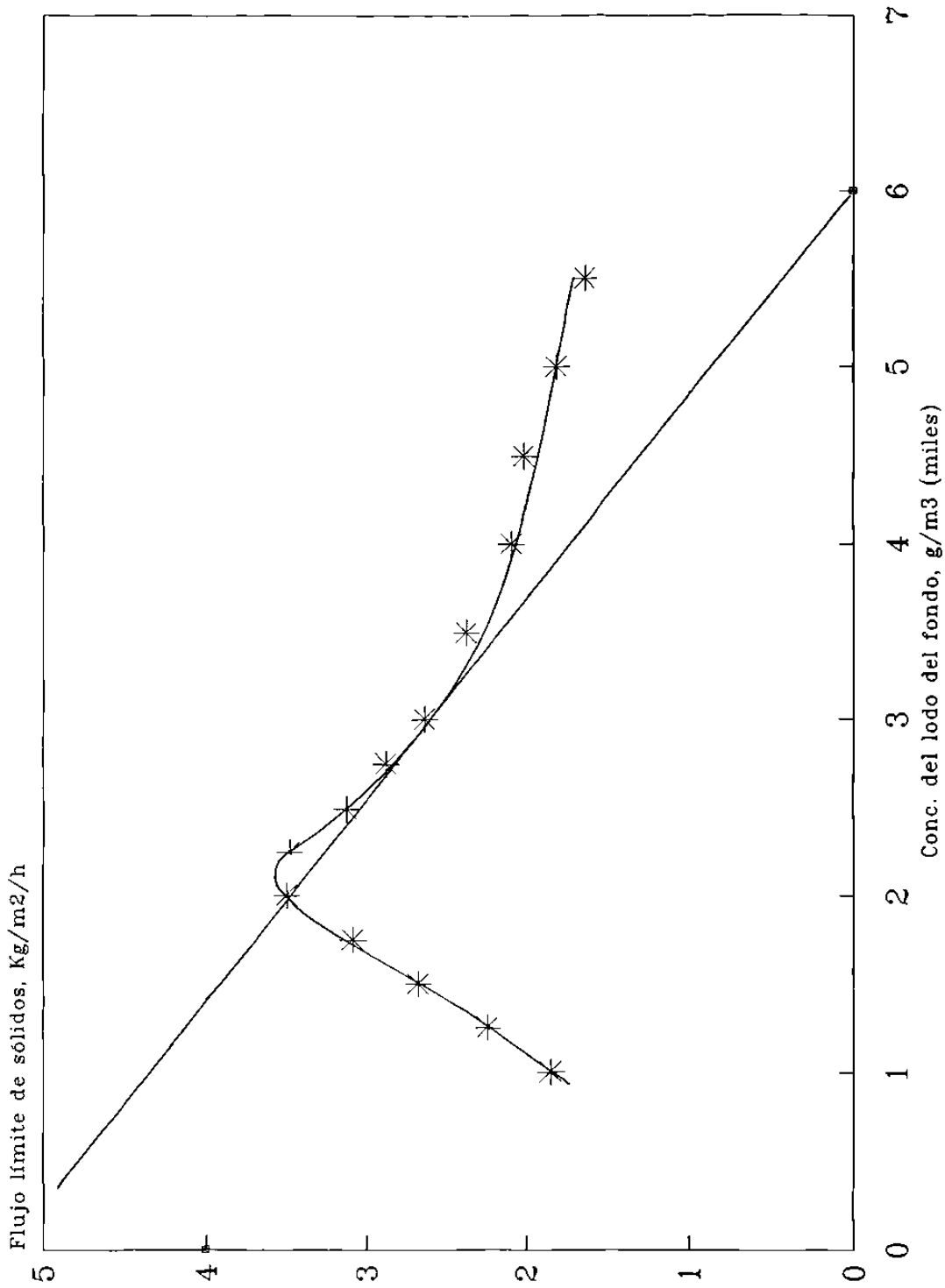


Fig. 2.4 Curva de flujo de solidos por gravedad

Fuente: Tabla 1.5 anexo 1

Correspondiente a la tabla 1.6 anexo 1

