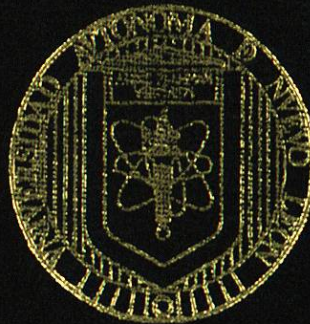


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
SEDIMENTACION DEL LICOR MEZGLADO, EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE
MONTERREY, N. L.

Por

ELISA MARGARITA GOMEZ PAEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL

DICIEMBRE DE 2009

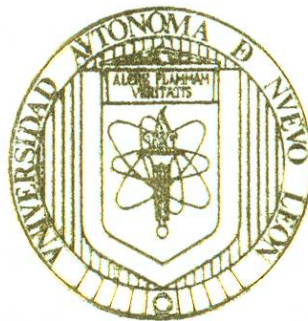
T
TD767.7
G6
2009
c.1



1090020234

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



T
TD767.7
SG
2009
c.1

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE
MONTERREY, N. L.

Por

ELISA MARGARITA GÓMEZ PÁEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAestrÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL

DICIEMBRE DE 2009

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
P r e s e n t e.-

Por este medio me permito comunicar a usted, que la Ing. Elisa Margarita Gómez Páez, Pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su trabajo de tesis titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L."**, por lo que no hay ningún inconveniente para atender la solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones para el trámite correspondiente.



Agradeciendo de antemano la atención que sirva brindar a la presente, mes es grato despedirme de usted.

ATENTAMENTE
"ALERE FLAMMAM VERITATIS"
Cd. Universitaria, Octubre del 2009

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'J' followed by several vertical lines and a flourish.

DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA
Director de Tesis



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

San Nicolás de los Garza, N.L. a 18 de noviembre de 2009.

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Postgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.

Presente.-

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de tesis **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L."**, que presenta la Ing. **Elisa Margarita Gómez Páez**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

Atentamente.-


DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ
Jefe del Depto. de Ingeniería Ambiental





SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY I.P.D.

GERENCIA DE TRATAMIENTO

Monterrey, N.L. a 17 de noviembre de 2009

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.

Presente.

En atención a su Oficio N° SDEPI 396-09 de fecha 13 de octubre de 2009 en el que me informa que el comité de Maestrías de la Subdirección de Estudios de Posgrado e Investigación me asignó como Evaluador Externo de la tesis "**Evaluación de las características de sedimentación del licor mezclado, en una planta de tratamiento de agua residual municipal, en la zona metropolitana de Monterrey, N. L.**", que presenta la **Ing. Elisa Margarita Gómez Páez**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a usted que he revisado, examinado y evaluado el contenido de la tesis, considerándola **APROBADA**.

Sin más por el momento y agradeciendo su cordial invitación a participar en el programa de posgrado de nuestra Facultad de Ingeniería Civil, quedo a sus ordenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR SÁENZ SILLER
AUXILIAR DE LA GERENCIA DE TRATAMIENTO

San Nicolás de los Garza, N.L. a 19 de Noviembre de 2009

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
P r e s e n t e.-

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de tesis **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L."**, que presenta la Ing. Elisa Margarita Gómez Páez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como **APROBADA.**

POSGRADO



Agradeciendo de antemano la atención que sirva brindar a la presente, me es grato despedirme de usted.

Atentamente.-

DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA

Director de Tesis

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL
LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE
MONTERREY, N. L.**

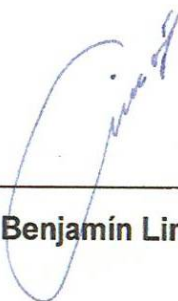
Aprobación de Tesis:



Director: Dr. Jimmy Luis Loiza Navia



Co Director: Ing. Salvador Sáenz Siller



Evaluador: Dr. Benjamín Limón Rodríguez



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: ELISA MARGARITA GÓMEZ PÁEZ

Tema de la tesis: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDI-
MENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATA-
MIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLI-
TANA DE MONTERREY, N. L.

**Este documento certifica la corrección DEFINITIVA.
Del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico,
metodológico y estilístico.**

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

Ciudad Universitaria, a 23 de NOVIEMBRE de 2009.

San Nicolás de los Garza, N.L. a 30 de Noviembre de 2009

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L

Presente.-

Estimado Dr. Valdez:

Habiendo concluido mi trabajo de tesis titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L."**, elaborado como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, y habiendo sido aprobado en el aspecto técnico por mi asesor, el Dr. Jimmy L. Loaiza Navia y, en los aspectos ortográfico, metodológico y estilístico por el Arq. Ramón Longoria Ramírez; por medio de la presente, solicito de la manera mas atenta, se sirva efectuar los trámites correspondientes para sustentar mi examen de grado.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano sus atenciones a la presente, quedo de Usted.

Atentamente.-



Ing. Elisa Margarita Gómez Páez

DEDICATORIA

A mi Dios por ser la luz que ilumina mi vida, gracias por permitirme llegar a este momento de mi vida y lograr otra meta más en mi carrera.

A mis padres por guiarme y ser la fuerza que me alienta cada día, para seguir adelante y alcanzar mis sueños.

A mis tres hermanos, gracias por su cariño, comprensión, paciencia y apoyo.

A mis niños Estrella y Josué, que son la melodía que toca a mi corazón.

A mis amigos, que Dios ha puesto en mi camino como un regalo, gracias por brindarme de su amistad y confianza en forma desmedida.

A todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de este trabajo



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

Al Dr. Jimmy Luis Loaiza Navia, por su disposición permanente e incondicional, así como su valiosa asesoría en la realización del presente proyecto.

Al Ing. Salvador Sáenz Siller, por su interés, comentarios y experiencias para la consolidación del presente.

Al Dr. Benjamín Limón Rodríguez, por su apoyo y substanciales sugerencias durante la revisión del presente trabajo, así como también por formar parte del Comité de Tesis.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, que por medio de la Facultad de Ingeniería Civil, proporciona los medios académicos, humanos, e infraestructura para la formación de profesionistas.

A Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., por su apoyo y facilidades brindadas para el uso del equipo y la información requerida en el presente trabajo, así como a las siguientes personas, LQI Laura Martínez García, Ing. Juan Ángel Vargas, Biól. Antonio Reyes Sifuentes por su valiosa colaboración en la realización de este proyecto.



RESUMEN

Ing. Elisa Margarita Gómez Páez

Candidato para el grado de
Maestra en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Título: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L.

Campo de Estudio: Ingeniería Ambiental

Resumen: En el presente trabajo se llevó a cabo la evaluación del licor mezclado en una planta de tratamiento de agua residual ubicada en la zona metropolitana de la Ciudad de Monterrey, N.L. Se realizaron pruebas de sedimentación en columna, en diferentes escenarios con el fin de analizar si el funcionamiento de los clarificadores secundarios es el óptimo. Se pretendió conocer las características de sedimentación para establecer las condiciones actuales en que sedimenta el licor mezclado y analizar el proceso de lodos activados de la Planta, para evaluar qué tan eficiente es el tratamiento del agua residual. El método utilizado consistió en la práctica de diferentes escenarios o experimentos, así como el desarrollo de una secuencia específica de calibración del modelo, con base a una serie de métodos y recomendaciones dispersadas en la bibliografía. Se realizaron pruebas de sedimentación en columna, para así predecir el mejor efluente teórico. Para cada prueba se registró la variación de la altura cada 2 minutos de la interfase sólido-líquido en función del tiempo, en el aparato columna de sedimentación, para posteriormente utilizar estos datos en el cálculo de la velocidad de sedimentación zonal para cada concentración inicial de sólidos. Una vez determinada experimentalmente la velocidad de sedimentación, se determinaron los parámetros y se determinó también el índice volumétrico de los lodos (IVL) para los diferentes escenarios.

Conclusiones y recomendaciones: Las posibles causas de un mal funcionamiento del proceso de lodos activados puede radicar en el que el mismo se abulte, o la denitrificación, o a la posible presencia de organismos filamentosos. Cabe aclarar que las pruebas se realizaron con la operación de un solo clarificador. Es necesario comentar que gracias a la tecnología del mecanismo con que se cuenta, la calidad del efluente es buena. En el futuro, se recomienda realizar periódicamente la evaluación de los lodos, así como la verificación de las condiciones operacionales, para F/M, edad de lodos, concentración del licor mezclado, así como en la tasa de retorno, ya que esto mejorará para el rendimiento de la misma planta. Además de determinar los sólidos suspendidos para la evaluación de la concentración de los residuos, así como para medir la efectividad de las unidades de tratamiento.

POSGRADO



BIBLIOTECA



ABSTRACT

Abstract: The evaluation of the mixed liquor, that was made in this work, was carried out in a waste water treatment facility located in the metropolitan zone of the City of Monterrey, N.L. They were realized in the same the tests of sedimentation in column, in different scenes with the purpose of analyze if the operation of the secondary clarifiers is optimal. It was tried to know the sedimentation features to establish the current conditions in which the mixed liquor is settled and to analyze the sludge process activated in the facility, to evaluate what is the level of efficiency of the treatment of the waste water. The used method consisted of the development of different scenes or experiments, as well as the development of a specific sequence of model calibration, based on a sort of methods and recommendations disclosed through literature. They were realized tests of sedimentation in column, in several scenes of mixed liquor concentration, thus in order to predict in this way the best theoretical effluent. For each test the height variation was recorded every 2 minutes of the solid-liquid interface based on the time, in the apparatus sedimentation column, in order to use later these data in the calculation of the zonal sedimentation velocity for each initial solid concentration. Once determined experimentally the sedimentation velocity, the parameters were determined. It was also determined the volumetric sludge index (VSI) for the different scenes. The results obtained by using the afore-said method, comes up with in theory, that the clarifier does have good operation conditions.



Conclusions and recommendations: Possible causes of activated sludge process wrong operation may be that the same is agglutinated or due to the denitrification, or the possible presence of filamentous organisms. It is appropriate to say that the tests were carried out with the operation of only one clarifier. It is necessary to mention that the effluent quality is good, regardless the afore-mentioned problems, due to the technology that this mechanism provides. Periodical sludge evaluations, in addition to operational conditions verifications, are recommended to be performed in the future for F/M, sludge age, mixed liquor concentration, as well as in the return rate, since this will improve yield of these facilities. Also, solids suspended of residual concentration evaluation are determined, as well as measuring of treatment units efficiency.

INDICE
CONTENIDO



Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia de la Sedimentación	2
1.2. Sedimentación tipo III	3
2. ANÁLISIS DEL LICOR	5
2.1. El agua residual	7
2.2. Tipos de tratamientos de Aguas Residuales	8
2.3. La sedimentación	9
2.3.1. Sedimentación tipo III	10
2.4. Principios de sedimentación de partículas sólidas	11
2.4.1. Sedimentación por gravedad	11
2.4.2. Sedimentación por flotación	12
2.4.3. Sedimentación por centrifugación	13
2.4.4. Sedimentación por filtración	14
2.4.5. Sedimentación por coagulación	15
2.4.6. Sedimentación por decantación	16
2.4.7. Sedimentación por sedimentación diferencial	17
2.4.8. Sedimentación por sedimentación por gravedad	18
2.4.9. Sedimentación por sedimentación por gravedad	19
2.4.10. Sedimentación por sedimentación por gravedad	20
2.4.11. Sedimentación por sedimentación por gravedad	21
2.4.12. Sedimentación por sedimentación por gravedad	22
2.4.13. Sedimentación por sedimentación por gravedad	23
2.4.14. Sedimentación por sedimentación por gravedad	24
2.4.15. Sedimentación por sedimentación por gravedad	25
2.4.16. Sedimentación por sedimentación por gravedad	26
2.4.17. Sedimentación por sedimentación por gravedad	27
2.4.18. Sedimentación por sedimentación por gravedad	28
2.4.19. Sedimentación por sedimentación por gravedad	29
2.4.20. Sedimentación por sedimentación por gravedad	30
2.4.21. Sedimentación por sedimentación por gravedad	31
2.4.22. Sedimentación por sedimentación por gravedad	32
2.4.23. Sedimentación por sedimentación por gravedad	33
2.4.24. Sedimentación por sedimentación por gravedad	34
2.4.25. Sedimentación por sedimentación por gravedad	35
2.4.26. Sedimentación por sedimentación por gravedad	36
2.4.27. Sedimentación por sedimentación por gravedad	37
2.4.28. Sedimentación por sedimentación por gravedad	38
2.4.29. Sedimentación por sedimentación por gravedad	39
2.4.30. Sedimentación por sedimentación por gravedad	40
2.4.31. Sedimentación por sedimentación por gravedad	41
2.4.32. Sedimentación por sedimentación por gravedad	42
2.4.33. Sedimentación por sedimentación por gravedad	43
2.4.34. Sedimentación por sedimentación por gravedad	44
2.4.35. Sedimentación por sedimentación por gravedad	45
2.4.36. Sedimentación por sedimentación por gravedad	46
2.4.37. Sedimentación por sedimentación por gravedad	47
2.4.38. Sedimentación por sedimentación por gravedad	48
2.4.39. Sedimentación por sedimentación por gravedad	49
2.4.40. Sedimentación por sedimentación por gravedad	50
2.4.41. Sedimentación por sedimentación por gravedad	51
2.4.42. Sedimentación por sedimentación por gravedad	52
2.4.43. Sedimentación por sedimentación por gravedad	53
2.4.44. Sedimentación por sedimentación por gravedad	54
2.4.45. Sedimentación por sedimentación por gravedad	55
2.4.46. Sedimentación por sedimentación por gravedad	56
2.4.47. Sedimentación por sedimentación por gravedad	57
2.4.48. Sedimentación por sedimentación por gravedad	58
2.4.49. Sedimentación por sedimentación por gravedad	59
2.4.50. Sedimentación por sedimentación por gravedad	60
2.4.51. Sedimentación por sedimentación por gravedad	61
2.4.52. Sedimentación por sedimentación por gravedad	62
2.4.53. Sedimentación por sedimentación por gravedad	63
2.4.54. Sedimentación por sedimentación por gravedad	64
2.4.55. Sedimentación por sedimentación por gravedad	65
2.4.56. Sedimentación por sedimentación por gravedad	66
2.4.57. Sedimentación por sedimentación por gravedad	67
2.4.58. Sedimentación por sedimentación por gravedad	68
2.4.59. Sedimentación por sedimentación por gravedad	69
2.4.60. Sedimentación por sedimentación por gravedad	70
2.4.61. Sedimentación por sedimentación por gravedad	71
2.4.62. Sedimentación por sedimentación por gravedad	72
2.4.63. Sedimentación por sedimentación por gravedad	73
2.4.64. Sedimentación por sedimentación por gravedad	74
2.4.65. Sedimentación por sedimentación por gravedad	75
2.4.66. Sedimentación por sedimentación por gravedad	76
2.4.67. Sedimentación por sedimentación por gravedad	77
2.4.68. Sedimentación por sedimentación por gravedad	78
2.4.69. Sedimentación por sedimentación por gravedad	79
2.4.70. Sedimentación por sedimentación por gravedad	80
2.4.71. Sedimentación por sedimentación por gravedad	81
2.4.72. Sedimentación por sedimentación por gravedad	82
2.4.73. Sedimentación por sedimentación por gravedad	83
2.4.74. Sedimentación por sedimentación por gravedad	84
2.4.75. Sedimentación por sedimentación por gravedad	85
2.4.76. Sedimentación por sedimentación por gravedad	86
2.4.77. Sedimentación por sedimentación por gravedad	87
2.4.78. Sedimentación por sedimentación por gravedad	88
2.4.79. Sedimentación por sedimentación por gravedad	89
2.4.80. Sedimentación por sedimentación por gravedad	90
2.4.81. Sedimentación por sedimentación por gravedad	91
2.4.82. Sedimentación por sedimentación por gravedad	92
2.4.83. Sedimentación por sedimentación por gravedad	93
2.4.84. Sedimentación por sedimentación por gravedad	94
2.4.85. Sedimentación por sedimentación por gravedad	95
2.4.86. Sedimentación por sedimentación por gravedad	96
2.4.87. Sedimentación por sedimentación por gravedad	97
2.4.88. Sedimentación por sedimentación por gravedad	98
2.4.89. Sedimentación por sedimentación por gravedad	99
2.4.90. Sedimentación por sedimentación por gravedad	100
2.4.91. Sedimentación por sedimentación por gravedad	101
2.4.92. Sedimentación por sedimentación por gravedad	102
2.4.93. Sedimentación por sedimentación por gravedad	103
2.4.94. Sedimentación por sedimentación por gravedad	104
2.4.95. Sedimentación por sedimentación por gravedad	105
2.4.96. Sedimentación por sedimentación por gravedad	106
2.4.97. Sedimentación por sedimentación por gravedad	107
2.4.98. Sedimentación por sedimentación por gravedad	108
2.4.99. Sedimentación por sedimentación por gravedad	109
2.4.100. Sedimentación por sedimentación por gravedad	110

ÍNDICE DE CONTENIDO



ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1 INTRODUCCION.....	1
1.1 Importancia de la separación: sólido-líquido.....	2
1.2 Sedimentación Tipo III.....	3
2 ANTECEDENTES	6
2.1 El agua residual.....	7
2.2 Tipos de tratamientos de Aguas Residuales	8
2.3 La sedimentación.....	9
2.3.1 Sedimentación Tipo III.....	10
2.4 Principio del proceso de lodos activados	11
2.4.1 Crecimiento de heterótrofos	11
2.4.2 Crecimiento de autótrofos	14
2.5 Presentación de la planta	16
2.5.1 Proceso Verticell.....	19
2.5.1.1 Reactor VLR.....	19
2.5.1.2 Tanque de burbuja fina.....	21
2.5.2 Clarificador existente	22
2.5.2.1 Descripción del mecanismo.....	23
2.5.2.2 Características y ventajas del mecanismo	24
2.5.2.3 Diseño del mecanismo	25
2.5.3 Datos operativos históricos.....	26
3 MARCO TEÒRICO	28
3.1 Balance de masa.....	29
3.1.1 Principio del balance de masa.....	29
3.2 Sedimentabilidad.....	30
3.3 Sedimentación para los lodos activados.....	31
3.3.1 Descripción de la superficie del sedimento	32
3.4 Teoría del Flujo de Sólidos	33
3.5 La teoría de Vesilind.....	35
3.6 Clarificador	36
3.6.1 Diseño y optimización	36



3.6.2	Aplicación de la teoría	37
4	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	38
4.1	Objetivos del proyecto	39
4.2	Hipótesis del proyecto	39
5	MATERIALES Y METÓDOS	41
5.1	Pruebas de sedimentabilidad	42
5.1.1	Método de las pruebas de sedimentación en columna	42
5.2	Conceptos para la calibración del sedimentador	44
5.2.1	Calibración del modelo de sedimentación	45
5.3	Análisis de flujo de sólidos	45
5.4	Análisis de punto de estado.....	50
5.4.1	Obtención del punto de estado y la curva de flujo de sólidos	56
6	RESULTADOS	59
6.1	Experimentación.....	60
6.2	Velocidades de sedimentación zonal.....	62
6.3	Determinación de las velocidades zonales.....	64
6.3.1	Experimento 1.....	64
6.3.2	Experimento 2.....	65
6.3.3	Experimento 3.....	66
6.4	Índice volumétrico de los lodos.....	70
6.5	Flujo de sólidos.....	71
6.6	Punto de estado	73
7	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	79
7.1	Discusión de los resultados	82
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
8.1	Conclusiones.....	86
8.2	Recomendaciones.....	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	ANEXOS.....	92



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. MARCO TEÓRICO	4
5. METODOLOGÍA	5
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
7. CONCLUSIONES	7
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
9. ANEXOS	9
10. GLOSARIO	10
11. BIBLIOGRAFÍA	11
12. ANEXOS	12
13. GLOSARIO	13
14. BIBLIOGRAFÍA	14
15. ANEXOS	15
16. GLOSARIO	16
17. BIBLIOGRAFÍA	17
18. ANEXOS	18
19. GLOSARIO	19
20. BIBLIOGRAFÍA	20
21. ANEXOS	21
22. GLOSARIO	22
23. BIBLIOGRAFÍA	23
24. ANEXOS	24
25. GLOSARIO	25
26. BIBLIOGRAFÍA	26
27. ANEXOS	27
28. GLOSARIO	28
29. BIBLIOGRAFÍA	29
30. ANEXOS	30
31. GLOSARIO	31
32. BIBLIOGRAFÍA	32
33. ANEXOS	33
34. GLOSARIO	34
35. BIBLIOGRAFÍA	35
36. ANEXOS	36
37. GLOSARIO	37
38. BIBLIOGRAFÍA	38
39. ANEXOS	39
40. GLOSARIO	40
41. BIBLIOGRAFÍA	41
42. ANEXOS	42
43. GLOSARIO	43
44. BIBLIOGRAFÍA	44
45. ANEXOS	45
46. GLOSARIO	46
47. BIBLIOGRAFÍA	47
48. ANEXOS	48
49. GLOSARIO	49
50. BIBLIOGRAFÍA	50
51. ANEXOS	51
52. GLOSARIO	52
53. BIBLIOGRAFÍA	53
54. ANEXOS	54
55. GLOSARIO	55
56. BIBLIOGRAFÍA	56
57. ANEXOS	57
58. GLOSARIO	58
59. BIBLIOGRAFÍA	59
60. ANEXOS	60
61. GLOSARIO	61
62. BIBLIOGRAFÍA	62
63. ANEXOS	63
64. GLOSARIO	64
65. BIBLIOGRAFÍA	65
66. ANEXOS	66
67. GLOSARIO	67
68. BIBLIOGRAFÍA	68
69. ANEXOS	69
70. GLOSARIO	70
71. BIBLIOGRAFÍA	71
72. ANEXOS	72
73. GLOSARIO	73
74. BIBLIOGRAFÍA	74
75. ANEXOS	75
76. GLOSARIO	76
77. BIBLIOGRAFÍA	77
78. ANEXOS	78
79. GLOSARIO	79
80. BIBLIOGRAFÍA	80
81. ANEXOS	81
82. GLOSARIO	82
83. BIBLIOGRAFÍA	83
84. ANEXOS	84
85. GLOSARIO	85
86. BIBLIOGRAFÍA	86
87. ANEXOS	87
88. GLOSARIO	88
89. BIBLIOGRAFÍA	89
90. ANEXOS	90
91. GLOSARIO	91
92. BIBLIOGRAFÍA	92
93. ANEXOS	93
94. GLOSARIO	94
95. BIBLIOGRAFÍA	95
96. ANEXOS	96
97. GLOSARIO	97
98. BIBLIOGRAFÍA	98
99. ANEXOS	99
100. GLOSARIO	100
101. BIBLIOGRAFÍA	101
102. ANEXOS	102
103. GLOSARIO	103
104. BIBLIOGRAFÍA	104
105. ANEXOS	105
106. GLOSARIO	106
107. BIBLIOGRAFÍA	107
108. ANEXOS	108
109. GLOSARIO	109
110. BIBLIOGRAFÍA	110
111. ANEXOS	111
112. GLOSARIO	112
113. BIBLIOGRAFÍA	113
114. ANEXOS	114
115. GLOSARIO	115
116. BIBLIOGRAFÍA	116
117. ANEXOS	117
118. GLOSARIO	118
119. BIBLIOGRAFÍA	119
120. ANEXOS	120
121. GLOSARIO	121
122. BIBLIOGRAFÍA	122
123. ANEXOS	123
124. GLOSARIO	124
125. BIBLIOGRAFÍA	125
126. ANEXOS	126
127. GLOSARIO	127
128. BIBLIOGRAFÍA	128
129. ANEXOS	129
130. GLOSARIO	130
131. BIBLIOGRAFÍA	131
132. ANEXOS	132
133. GLOSARIO	133
134. BIBLIOGRAFÍA	134
135. ANEXOS	135
136. GLOSARIO	136
137. BIBLIOGRAFÍA	137
138. ANEXOS	138
139. GLOSARIO	139
140. BIBLIOGRAFÍA	140
141. ANEXOS	141
142. GLOSARIO	142
143. BIBLIOGRAFÍA	143
144. ANEXOS	144
145. GLOSARIO	145
146. BIBLIOGRAFÍA	146
147. ANEXOS	147
148. GLOSARIO	148
149. BIBLIOGRAFÍA	149
150. ANEXOS	150
151. GLOSARIO	151
152. BIBLIOGRAFÍA	152
153. ANEXOS	153
154. GLOSARIO	154
155. BIBLIOGRAFÍA	155
156. ANEXOS	156
157. GLOSARIO	157
158. BIBLIOGRAFÍA	158
159. ANEXOS	159
160. GLOSARIO	160
161. BIBLIOGRAFÍA	161
162. ANEXOS	162
163. GLOSARIO	163
164. BIBLIOGRAFÍA	164
165. ANEXOS	165
166. GLOSARIO	166
167. BIBLIOGRAFÍA	167
168. ANEXOS	168
169. GLOSARIO	169
170. BIBLIOGRAFÍA	170
171. ANEXOS	171
172. GLOSARIO	172
173. BIBLIOGRAFÍA	173
174. ANEXOS	174
175. GLOSARIO	175
176. BIBLIOGRAFÍA	176
177. ANEXOS	177
178. GLOSARIO	178
179. BIBLIOGRAFÍA	179
180. ANEXOS	180
181. GLOSARIO	181
182. BIBLIOGRAFÍA	182
183. ANEXOS	183
184. GLOSARIO	184
185. BIBLIOGRAFÍA	185
186. ANEXOS	186
187. GLOSARIO	187
188. BIBLIOGRAFÍA	188
189. ANEXOS	189
190. GLOSARIO	190
191. BIBLIOGRAFÍA	191
192. ANEXOS	192
193. GLOSARIO	193
194. BIBLIOGRAFÍA	194
195. ANEXOS	195
196. GLOSARIO	196
197. BIBLIOGRAFÍA	197
198. ANEXOS	198
199. GLOSARIO	199
200. BIBLIOGRAFÍA	200



LISTA DE TABLAS



LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
I Diversas modalidades del proceso de lodos activados	13
II Ficha técnica de la planta de tratamiento de agua residual municipal	18
III Características de diseño del influente y calidad del efluente	18
IV Operación de SST del Año 2008 en la PTAR	26
V Preparación de mezclas a varias concentraciones Experimento 1	60
VI Preparación de mezclas a varias concentraciones Experimento 2	60
VII Preparación de mezclas a varias concentraciones Experimento 3	61
VIII Pruebas de sedimentabilidad experimento 2	62
IX Velocidades vs concentración. Experimento 1	68
X Velocidades vs concentración. Experimento 2	68
XI Velocidades vs concentración. Experimento 3	69
XII IVL de los 3 experimentos	71
XIII Valores para la curva de flujo de sólidos	71
XIV Datos mes de julio, de la PTAR	73
XV Datos mes de septiembre, de la PTAR	73
XVI Datos del clarificador	74
XVII Datos para el ploteo del punto de estado. Experimento 1	74
XVIII Datos para el ploteo del punto de estado. Experimento 2	75
XIX Datos para el ploteo del punto de estado. Experimento 3	76
XX Operación de SST del año 2008, en la PTAR	78



LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 Diagrama paragénético	10
2.2 Definición del bosquejo de la sedimentación interferida (zona): (a) sedimentación en columna en la cual la suspensión es transicional en el sitio a través de varias fases de sedimentación y (b) la correspondiente a la interfase de la curva de sedimentabilidad.	10
2.3 Esquema del proceso de los lodos activados	14
2.4 Plano de la PTAR	17
2.5 Foto (2005) y foto aérea de la PTAR	17
2.6 Diagrama del proceso Verticell	19
2.7 Reactor VLR. Vista de planta	20
2.8 Reactor VLR. Vista de perfil	21
2.9 Fotos del clarificador existente en la PTAR	22
2.10 Ilustración del mecanismo	23
2.11 Removedor de los lodos	25
2.12 Corte transversal del cabezal del sedimentador	26
3.1 Pruebas de sedimentación en columna	32
3.2 Procedimiento de obtención del gráfico del flujo de sólidos debido a la gravedad, en función de la concentración de sólidos	35
5.1 Fotografía del aparato "columna de sedimentación"	43
5.2 Esquema de un tanque de sedimentación que opera en forma estacionara	46
5.3 Gráfica típica del flujo de sólidos en un clarificador	48
5.4 Definición alternativa para el análisis de los datos de sedimentación utilizando el flujo de sólidos como método de análisis	49
5.5 Análisis del punto de estado para las condiciones de operación: (a) punto de estado en la intersección de las líneas de corriente de fondo y la de desbordamiento y (b) sobrecargado y críticamente cargado (A) relativos al punto de estado con la curva de flujo de sedimentación	51
5.6 Curva para el análisis del punto de estado	53
5.7 Curva para el análisis del punto de estado	54



5.8 Sistema responsable al clarificador secundario sobrecargado con respecto al punto de estado desplazado de A a B como resultado de la transferencia neta de los sólidos de la aeración en el clarificador secundario	55
5.9 Grafica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h).....	56
5.10 Grafica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h)	56
5.11 Grafica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h)	57
5.12 Grafica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h)	57
5.13 Grafica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h)	58
6.1 Gráfica de la altura de interfase en función del tiempo. Experimento 1	63
6.2 Gráfica de la altura de interfase en función del tiempo. Experimento 2	63
6.3 Gráfica de la altura de interfase en función del tiempo. Experimento 3	64
6.4 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 1.....	64
6.5 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 2.....	64
6.6 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 3.....	65
6.7 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 4.....	65
6.8 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 5.....	65
6.9 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) Vs altura (m). Muestra 6	65
6.10 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 1.....	65
6.11 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 2.....	65
6.12 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) Vs altura (m). Muestra 3	66
6.13 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 4.....	66
6.14 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 5.....	66
6.15 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 6.....	66
6.16 Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 1.....	66



6.17	Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 2.....	66
6.18	Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 3.....	67
6.19	Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 4.....	67
6.20	Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 5.....	67
6.21	Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m). Muestra 6.....	67
6.22	Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 1)	68
6.23	Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 2)	69
6.24	Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 3)	69
6.25	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 1)	72
6.26	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 2)	72
6.27	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 3)	72
6.28	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 1)	75
6.29	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 2)	76
6.30	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 3)	77
6.31	Gráfica operativa de SST del año 2008.....	78
7.1	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Con un solo clarificador)	81
7.2	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Con dos clarificadores).....	81
7.3	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 1)	82
7.4	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 2)	82
7.5	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h) (Experimento 3)	83
7.6	Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m ² /h). Promedio de los experimentos con un clarificador.	83
7.7	Gráfica operativa de SST del año 2008.....	84



NOMENCLATURA



NOMENCLATURA

SST	Sólidos Suspendidos Totales.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
SRT	Tiempo de retención de sólidos, (siglas en inglés).
F/M	Relación alimento-microorganismos, (siglas en inglés).
SSLM	Sólidos Suspendidos de Licor Mezclado.
Q	Gasto nominal, m^3/h .
Q_r	Gasto de Retorno de lodos, m^3/h .
Q_e	Gasto nominal en el efluente, m^3/h .
Q_w	Gasto nominal en la purga, m^3/h .
S_e	Substrato en el efluente.
S_o	Substrato en el influente.
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles.
X	Biomasa.
X_o	Biomasa en el influente.
X_e	Biomasa en el efluente.
X_r	Biomasa en el retorno de los lodos.
OD	Oxígeno Disuelto.
hp	Caballos de fuerza.
SSE	Sólidos Suspendidos del Efluente.
SSF	Sólidos Suspendidos Floculados.
SSD	Sólidos Suspendidos Dispersos.
IVL	Índice Volumétrico de Lodos.



mg/L	Miligramos por litro.
C_i	Concentración de sólidos en el punto en el que se trate.
V_i	Velocidad de sedimentación de los sólidos con Concentración.
V_s	Velocidad de sedimentación zonal
V_o	Velocidad máxima de sedimentación.
e	Parámetro de Vesilind.
n	Parámetro de Vesilind.
SF	Flujo de sólidos.
t	Tiempo.
LAR	Lodo Activado de Retorno.
SF_g	Flujo de sólidos debido a la gravedad.
SF_L	Flujo límite de sólidos, $kg/m^2 h$.
SF_Q	Flujo de sólidos debido a la gravedad, $kg/m^2 h$.
SF_t	Flujo de sólidos total, $kg/m^2 h$.
SF_u $kg/m^2 h$.	Flujo de sólidos debido al caudal extraído por el fondo,
U_b	Velocidad descendente de la masa, m/h.





CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de la separación sólido-líquido.

El papel de la clarificación secundaria es vital en los sistemas de tratamiento con biomasa suspendida. Este proceso separa los sólidos suspendidos del licor mezclado previo a la descarga final del efluente y el espesamiento del lodo activado, para su retorno al proceso o a su purgado. Se requiere, por tanto, de una clarificación, a continuación de un proceso de biomasa suspendida (lodos activados), para llevar a cabo ambas funciones: producir un efluente claro y obtener un lodo de retorno espeso, (MOP FD-8, 1985).

Para cumplir estas dos funciones, se aprovecha el proceso natural de decantación por gravedad. Los requerimientos de área y de profundidad del tanque dependen de la sedimentabilidad del licor mezclado, de la tasa de flujo nominal y de la tasa de retorno de lodos. Cualquier falla en esta operación puede afectar una o ambas fases del proceso.

Cumplir la primera función es vital, ya que generalmente la norma requiere valores de SST y DQO para la descarga. (NOM-001-SEMARNAT-1996). Los sólidos que escapan con el efluente incrementan la DQO y DBO del agua tratada. Para lograr la segunda función (espesamiento y compactación del lodo), se requiere del tiempo y la profundidad adecuados para asegurar una concentración del lodo de retorno que permita mantener el inventario de los sólidos suspendidos de licor mezclado en el reactor.

1.2 Sedimentación Tipo III.

En el proceso de lodos activados tiene lugar una sedimentación del Tipo III, también conocida como sedimentación por zonas o sedimentación interferida. Las sedimentaciones del tipo II y del tipo IV también pueden tener lugar, pero en forma más limitada; por lo que la sedimentación de tipo III es la que gobierna el diseño (Metcalf & Eddy, 2003).

En suspensiones sometidas a sedimentación interferida (tipo III), la concentración de sólidos en la entrada es mayor que en los procesos de sedimentación tipo I y II (partículas discretas o floculentas). De esta forma, la elevada concentración de sólidos suspendidos de licor mezclado, tiende a establecer una zona o manto de lodos, donde las partículas se mantienen en una posición relativa con respecto a la otra fase (sobrenadante).

Cuando los biosólidos sedimentan en condiciones normales, sin afectación de organismos filamentosos, se produce un sobrenadante de agua relativamente claro, encima de la región de sedimentación. Al continuar la sedimentación, los sólidos cerca del fondo se comprimen y hacen contacto físico entre sí, (Sedimentación tipo IV).

La zona de sedimentación interferida contiene una graduación de partículas que oscilan desde las que se encuentran en la interfase de las regiones de sedimentación floculenta e interferida, hasta las que están en la parte superior de la región de compresión. (MOP FD-8, 1985)

El método de diseño de "flujo de sólidos" considera la masa total de sólidos que se puede aplicar al clarificador. Este flujo de sólidos consta de dos componentes:

- la sedimentación del lodo inducida por la gravedad, y
- el movimiento del manto inducido por la extracción del fondo del clarificador.

El componente de la gravedad se calcula con la velocidad de sedimentación del lodo, que se asume igual a la velocidad de sedimentación de la interfase. El componente de flujo por bombeo se calcula con la tasa de extracción. Estos dos componentes se suman para obtener el flujo total de sólidos que se puede aplicar al clarificador, para producir la concentración adecuada del lodo de retorno.

Se utilizan, en general, pruebas de laboratorio (columnas de sedimentación) para evaluar las velocidades de sedimentación. En los procedimientos de diseño de laboratorio, algunos factores no se alcanzan a considerar dentro de los límites de utilidad de la teoría para predecir el desempeño de los sedimentadores. Entre estos factores están: la turbulencia en la zona de entrada, la tasa de remoción de los lodos, la carga en el vertedor, y las corrientes de la densidad y corrientes, entre otros.

El presente trabajo de tesis de maestría está estructurado de la siguiente forma: el capítulo 2 son los antecedentes donde se entra lo que antecede a esta tesis de maestría. En el capítulo 3 se menciona el marco teórico, y con esta base se entra al Capítulo 4 para hacer el planteamiento de los objetivos y de la Hipótesis. El capítulo 5 la Metodología realizada es en base a la literatura para posteriormente llegar al capítulo 6 que son los resultados de la experimentación que se realizó.



El capítulo 7 se discutirá sobre los resultados que se obtuvieron y por último en el capítulo 8 se plantea las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis.

CAPÍTULO 2
ANTECEDENTES



CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

2.1 El agua residual.

La disposición de agua ha representado el mayor de los desafíos para la sociedad. El manejo integral del agua debe incluir todas las variables del ciclo: desde los medios de obtención del líquido, su almacenamiento, su distribución, su tratamiento, su saneamiento y su disposición final, previniendo en todas las partes del proceso cualquier distorsión que provoque su contaminación.

Se consideran aguas residual a todos los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios). Comúnmente el agua residual suele clasificarse como:

- Agua residual municipal. Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población para ser tratados en una planta de tratamiento.
- Agua residuales industrial. El aguas residual proveniente de las descargas de industrias de manufactura o transformación.

En la ingeniería ambiental, el término "tratamiento de aguas" se refiere al conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables del agua, bien sea esta: natural, de abastecimiento, de proceso o residual —llamadas, en el caso de las urbanas, "aguas negras"—.

En el caso del agua municipal, los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia:

- pretratamiento
- tratamiento primario
- tratamiento secundario
- tratamiento avanzado

Las operaciones realizadas en el tratamiento del agua residual se llevan a cabo a través de la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos; las más comúnmente utilizadas en el tratamiento de agua residual incluyen: desbaste, desarenado, homogenización, tratamiento primario, secundario y avanzado, tratamiento de lodos, en su caso. (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2 Tipos de tratamiento de agua residual.

- **El pretratamiento**, busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación y los equipos de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores.
- **El tratamiento primario** o tratamiento físico-químico busca reducir la cantidad de materia suspendida, por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos.
- **El tratamiento secundario** o tratamiento biológico se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta o finamente particulada y suele aplicarse después de los anteriores procesos. Consiste en la transformación de la biomasa y la oxidación aerobia de la materia orgánica, en sus diversas variantes del proceso de lodos activados; sistemas que, dependiendo del tiempo de retención de los sólidos, producen lodo en mayor o menor medida que, a su vez, debe ser tratado para su reducción, acondicionamiento y disposición final.

En el proceso de biomasa fija, los microorganismos son responsables de que si por la conversión de la materia orgánica o nutrientes son fijados a un empaque material inerte. El material orgánico y los nutrientes son removidos del agua residual, fluyendo de la biomasa fija, también conocida como un biofilm. Los materiales utilizados en el proceso de biomasa fija incluyen; rocas, gravas, arena, y una amplia gama de plásticos y otros materiales sintéticos. Este proceso puede ser operado como un proceso aerobio.

- **El tratamiento avanzado** es de carácter físico-químico o biológico: desde el punto de vista conceptual, utiliza técnicas de ambos tipos, destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea, puede hacer que el agua quede apta para el abastecimiento de necesidades industriales y agrícolas.

2.3 La sedimentación.

La sedimentación se utiliza para la remoción de SST en el tanque de sedimentación primaria, la remoción biológica del floc en los tanques de lodos activados, y en la remoción química del floc, cuando se utiliza el proceso de coagulación química. (Metcalf & Eddy, 2003).

La existencia de diferentes tipos de partículas en concentraciones distintas hace que sea necesario considerar tipos desiguales de sedimentación, de acuerdo con la clase de concentración de partículas. Con base en la concentración, la tendencia e interacción de las partículas, hay cuatro tipos de sedimentación gravitacional que pueden ocurrir: (1) partículas discretas, (2) floculentas, (3) interferida (también llamada zonal), y (4) compresión (Metcalf & Eddy, 2003). (Ver Figura 2.1)

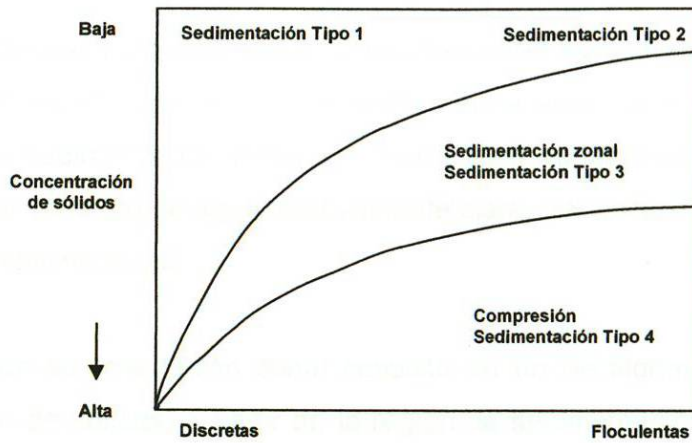


Figura 2.1. Diagrama paragènético. Fuente: Romero, 1999.

2.3.1 Sedimentación Tipo III.

En los sistemas que contienen elevadas concentraciones de sólidos suspendidos, además de la sedimentación libre, se suele producir la sedimentación zonal (tipo III) y la sedimentación por compresión (tipo IV). El fenómeno de sedimentación ocurre cuando una suspensión es concentrada, inicialmente, de concentración uniforme, y se coloca en un cilindro, como se esquematiza en la figura 2.2.

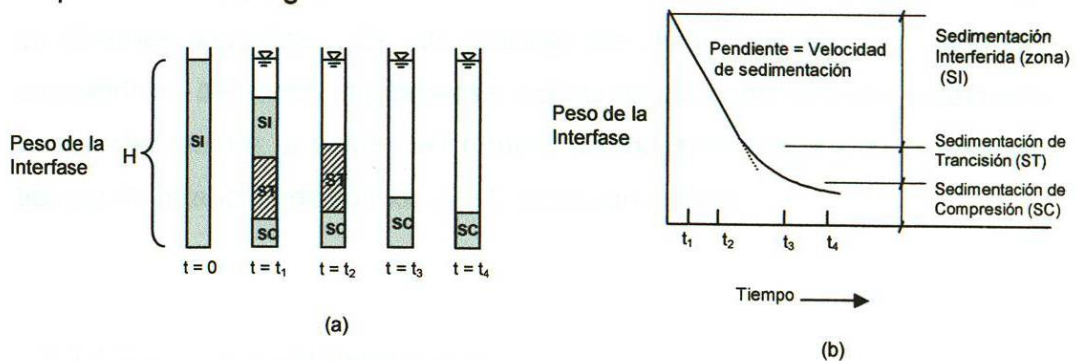


Figura 2.2. Definición del bosquejo de la sedimentación interferida (zona): (a) sedimentación en columna en la cual la suspensión es transicional en el sitio a través de varias fases de sedimentación y (b) la correspondiente a la interfase de la curva de sedimentabilidad. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

Debido a las características del flujo alrededor de las partículas y de las fuerzas interparticulares, aquéllas se depositan como en una zona o en una capa, manteniendo la misma posición relativa entre ellas. Este fenómeno se conoce como sedimentación zonal. Conforme esta zona va sedimentando, se produce un volumen de agua relativamente clara, por encima de la región de la sedimentación zonal.

La región de sedimentación zonal consiste en un escalonamiento de la concentración de sólidos, a partir de la región de sedimentación interferida, hasta la región de sedimentación por compresión. Las fuerzas de la interacción física entre las partículas que son especialmente fuertes en la región de sedimentación por compresión, disminuyen progresivamente con la altura. Dichas fuerzas pueden existir, en alguna cantidad, en la región de la sedimentación zonal.

2.4 Principio del proceso de Lodos Activados.

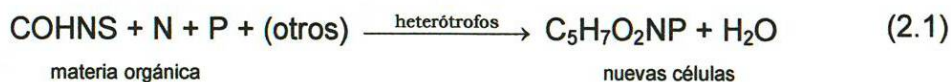
El proceso de lodos activados involucra simplemente la puesta en contacto del agua residual con un cultivo de microorganismos bajo condiciones aeróbicas. Es un proceso de flujo continuo, con biomasa suspendida, debiendo mantenerse constante la concentración adecuada dentro del reactor, a través del retorno de lodos, la purga y el control del tiempo de retención de sólidos (SRT, siglas en inglés).

2.4.1 Crecimiento de heterótrofos.

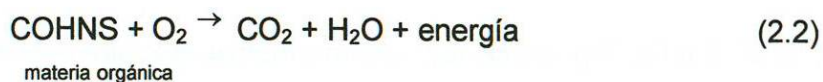
La remoción de la fracción carbonácea está definida a través del crecimiento de los microorganismos heterótrofos, que utilizan la materia orgánica como fuente de carbono, para la síntesis de células nuevas (crecimiento) y la oxidación de otra fracción de la materia orgánica y otros

productos simples, (MOP OM-9, 1987). La materia orgánica se transforma en biomasa activa y CO_2 . Estos organismos serán capaces de agruparse formando flóculos biológicos, con características adecuadas de sedimentación y pasar al clarificador donde tiene lugar la separación por gravedad. En el fondo del tanque se concentra la fase sólida (lodo) para retornar al proceso, mientras que el sobrenadante (efluente clarificado) desborda por la canaleta, con la calidad acorde al límite de descarga. Otra porción pequeña de lodo es purgada desde la línea de retorno. La cantidad a purgar corresponde a la producción diaria de lodo. La composición de la biomasa (base seca) es de un 80% orgánico y el resto inorgánico, la fracción volátil suele definirse como $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{NP}$. La parte inorgánica incluye K, Na, Mg, S, Ca, Fe y otros elementos (trazas). La biomasa heterótrofa lleva a cabo la conversión de la materia orgánica (COHNS), según las relaciones estequiométricas (ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3):

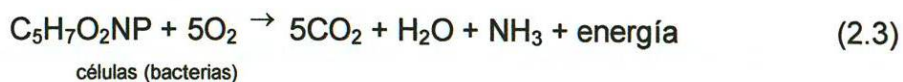
Síntesis celular:



Oxidación del substrato:



Metabolismo endógeno:



El proceso original ha sido modificado en el transcurso de los años, en función del factor de carga (F/M), por la manera de alimentación y/o de suministrar el oxígeno y por las características del influente (proceso de Krauss). La tabla I presenta una relación parcial de dichas modalidades, (Metcalf & Eddy, 2003).

TABLA I
DIVERSAS MODALIDADES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

PROCESO	θ_c , d	F/M, d-1	CV, Kg/m ³ /d	SSLM, g/l	$\theta = V/Q$, h	Qr/Q
Convencional tipo pistón	3-15	0.2-0.5	20-40	1-3	4-8	0.25-0.75
Mezcla completa	1-15	0.2-1.0	50-120	1-6.5	3-5	0.25-1.0
Alimentación escalonada	3-15	0.2-0.5	40-60	1.5-3	3-5	0.25-0.75
Estabilización por contacto (*)	5-15	0.2-0.6	60-75	1-3 4-9	0.5-1 3-6	0.50-1.50
Aeración extendida	20-30	0.05-0.2	10-25	1.5-5	18-36	0.50-1.50
Proceso alta tasa	5-10	0.4-1.5	100-1,000	3-6	2-4	1.0-1.50
Proceso Krauss	5-15	0.3-0.8	40-100	2-3	4-8	0.50-1.0
Oxígeno puro	3-10	0.25-1.0	100-200	3-8	1-3	0.25-0.50
Zanja de oxidación	10-30	0.05-0.3	5-30	1.5-5	8-36	0.75-1.50

(*) Se refieren los tanques de contacto y estabilización.

Respecto a la tasa de carga orgánica; hay tres tipos de modalidades: baja, media y de alta carga, referida a la masa diaria de substrato (F) aplicada a una cantidad de biomasa activa (M). Esta relación se llama F/M (ecuación 2.4):

$$F/M = \frac{S_0}{\theta * X} \quad (2.4)$$

Donde: F/M = relación alimento-microorganismos, g DQO/g SSV/d; S_0 = concentración de substrato aplicado (inicial), g DQO/m³; θ = tiempo de retención hidráulico, V/Q, d y X = biomasa, g SSV/m³.

Las características del influente, las condiciones ambientales, el tipo de reactor (grado de mezclado) y la forma de operación determinan, en gran medida el tipo de población que se desarrollará. Un aspecto importante constituye el suministro de oxígeno, necesario para el soporte del crecimiento de la biomasa heterótrofa y autótrofa, así como para la oxidación de la fracción carbonácea y del nitrógeno amoniacal y para mantener un adecuado nivel de OD. (Ver figura 2.3)

Los caudales, en general, son notados con (Q). Las concentraciones de la biomasa y del substrato se denotan por X y S, respectivamente. Para referirse al influente (condiciones de entrada) se suele utilizar el subíndice (o), para el efluente el subíndice (e); para el retorno de lodos, el subíndice (r) y para la purga, el subíndice (w).

En la figura siguiente, se presenta el esquema del proceso.

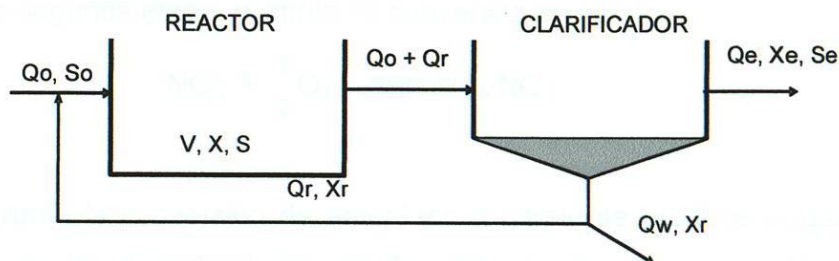


Figura 2.3. Esquema del proceso de lodos activados.

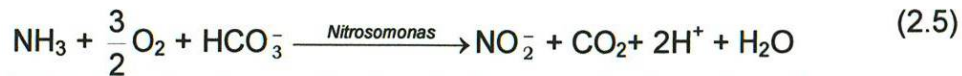
2.4.2 Crecimiento de autótrofos.

Las bacterias autótrofas que oxidan el amoníaco a nitritos y nitratos, utilizan la materia inorgánica (CO_2) como fuente de carbono. Siendo autótrofos estos organismos, obtienen su energía a partir de la oxidación del amoníaco (NH_3) a nitrato (NO_3); por lo cual, su tasa de reproducción es más lenta, comparada con los heterótrofos; la energía disponible es relativamente pequeña, pero suficiente, ya que los organismos nitrificantes están presentes en cantidades limitadas, pero son suficientes para completar la nitrificación. Además requieren condiciones aeróbicas y una temperatura acorde.

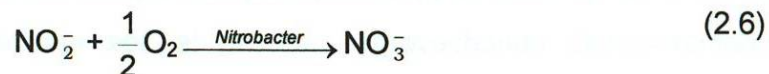
En la demanda bioquímica de oxígeno total existe una fracción asociada con la oxidación del nitrógeno amoniacal; esto ocurre cuando la edad del lodo es mayor y el sistema tiene capacidad para suministrar el oxígeno suplementario. Las bacterias autótrofas de los géneros *Nitrosomonas* y

Nitrobacter son responsables de la conversión que se da en dos etapas, ecuaciones 2.5 y 2.6 (Metcalf & Eddy, 2003).

En la primera de ellas, el amoníaco es convertido en nitrito:



En la segunda etapa, el nitrito es convertido en nitrato:

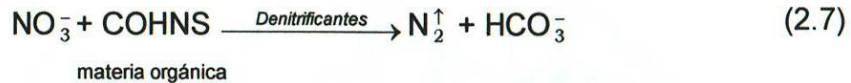


Durante la conversión de amoníaco a nitrato se produce acidez mineral; pero si la alcalinidad es insuficiente, el descenso de pH inhibirá la nitrificación. Por cada kg de amoníaco que se oxida, se consumen 7.14 kg de alcalinidad (CaCO_3), 4.6 kg de O_2 , se producen 0.15 kg de células nuevas y se consumen 0.09 kg de CO_2 . La concentración aceptable de OD es de 2.0 a 2.5 g/m^3 . Metcalf & Eddy, (2003) menciona que $\text{SRT} > 8$ d, previene el sostenimiento adecuado de la población de organismos nitrificantes evitando que escapen del sistema vía purga de lodos.

Estrictamente, la nitrificación no representa la remoción del nitrógeno, es solamente un cambio de forma con una consiguiente eliminación de la demanda de oxígeno y toxicidad, asociados con el amoníaco. Para remover el nitrógeno es necesaria la denitrificación, que se da en un ambiente anóxico, por bacterias heterótrofas, donde los nitratos se reducen a nitrógeno gaseoso (N_2), que escapa del sistema a la atmósfera.

Cuando ocurre denitrificación, la alcalinidad y la demanda de oxígeno se benefician con un crédito (recuperan en parte lo que se consumió durante la nitrificación). Sin embargo, este proceso no opera con una nitrificación intermedia del NH_3 , (40 a 80%); la condición de estabilidad se alcanza cuando ocurre la oxidación completa del amoníaco (>90%). La denitrificación

se describe de la siguiente manera (ecuación 2.7):



El desempeño exitoso de una planta de tratamiento depende de la rapidez con que el substrato es adsorbido, sintetizado y oxidado por la biomasa activa, así como del tiempo que permanece en el sistema (edad de lodo); cuanto más eficiente sea el proceso, aprovechando dichos factores y condiciones, tanto más eficiente resultará el tratamiento. Para lo cual es fundamental el control del tiempo de retención de sólidos (SRT), la concentración del licor mezclado, la tasa de retorno de lodos, el volumen de la purga y el mantenimiento de las condiciones aeróbicas a través del oxígeno disuelto.

2.5 Presentación de la Planta.

A continuación se describe, en un resumen, de la planta bajo estudio. Se trata de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Santa Rosa", que es la cuarta planta del área metropolitana de Monterrey, ubicada en Camino del Ferrocarril y Anillo Periférico, Mpio. de Apodaca, NL, a orillas del Río Pesquería. (Ver Figura 2.4)

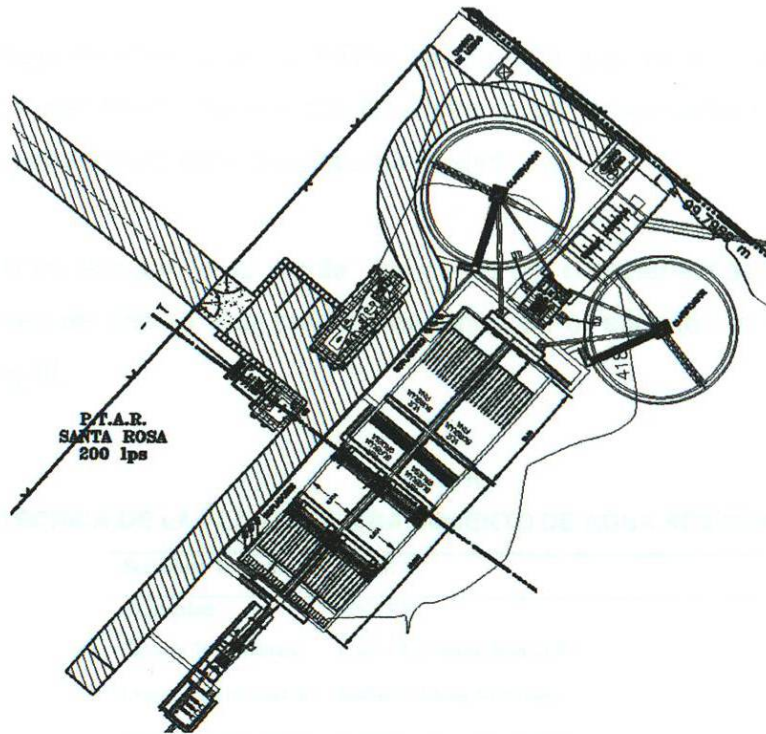


Figura 2.4. Plano de la PTAR. Fuente: PTAR.

Esta planta realiza un pretratamiento que incluye un cárcamo de bombeo de influente, seguido por una rejilla de limpieza automática y un desarenador de tipo vórtex. El proceso continúa en un reactor del tipo Verticell™, en dos trenes, mismo que consiste en un reactor VLR de 4000 m^3 por cada reactor, seguido por un tanque de burbuja fina de 2130 m^3 por cada uno. El licor mezclado pasa por gravedad, posteriormente, a dos clarificadores de 22.5 m de diámetro.



Figura 2.5. Foto (2005) y Foto Aérea de la PTAR. Fuente: PTAR y Google Earth.

El flujo de diseño de la PTAR es de 200 lps. El lodo excedente es purgado del fondo de los clarificadores y es desaguado en un equipo espesador y filtro banda, en una sola unidad.

La ficha técnica de la planta, así como las características del influente, para fines de diseño y la calidad requerida en el efluente se indican en la tabla II y III.

TABLA II
FICHA TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

Superficie Terreno:	18,207 m ²	
Capacidad:	200 LPS	
Tipo de Tratamiento:	Lodos Activados Tipo VLR	
Disposición de Lodos:	Relleno Dulces Nombres	
Período Construcción:	Febrero – Agosto del 2004	
Inicio de Operación:	Septiembre del 2005	
Habitantes:	65,900 Habs	
Coordenadas:	Latitud N 100° 13' 01"; Longitud W 25° 49' 52"	
Altura:	430 msnm	
Temperaturas ° C:	Medio Ambiente	Agua
Máxima	40	28
Minima	0	20
Promedio	29	25
Tipo de influente:	90 %	Domestica
Cuerpo Receptor:	Río Pesquería	

Fuente: PTAR

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL INFLUENTE Y CALIDAD DEL EFLUENTE

Parámetro	Unidad	Calidad Influyente	Calidad efluente NOM-001-SEMARNAT-1996
DBO	mg/L	276	150
DQO	mg/L	417	N.D.
SST	mg/L	115	150
N	mg/L	71.9	40
P	mg/L	12	20
pH	Unidades	7.5	5-10
G&A	mg/L	23	15
SAAM	mg/L	ND	N.D.

Fuente: PTAR

2.5.1 El Proceso Verticell.

De acuerdo con la información del desarrollador de esta tecnología (Envirex Siemens), el proceso de Verticell ahorra energía y espacio, y produce un efluente con calidad. Se adapta bien para las plantas tratadoras de agua residual con flujos mayores que (2 MGD ò 88 lps).

El diseño del proceso de Verticell consiste en un tanque aerado-anóxico seguido de un tanque aerobio. Este diseño, puede mantener diversos ambientes en cada reactor para la remoción del fósforo y del nitrógeno.

El sistema combina la aeración mecánica en el tanque anóxico con la aeración difusa en las zonas aerobias. La aeración del proceso eficiente se optimiza con este arreglo.

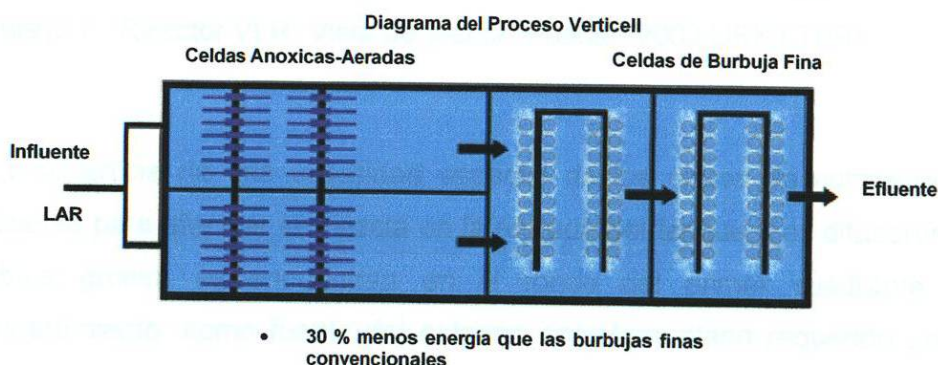


Figura 2.6. Diagrama del proceso Verticell. Fuente: 2003 USFILTER.

2.5.1.1 Reactor VLR.

El proceso del reactor VLR es un diseño basado en reactores en serie, que permite la estratificación de niveles de OD, por lo que se adapta bien para la nitrificación y denitrificación simultáneas. El VLR se instala en un tanque rectangular, y es similar a una zanja de oxidación, pero con movimiento vertical. Hay una parte superior y otra inferior, separadas por una placa

horizontal con un largo menor que el largo del tanque, dejando huecos en los extremos.

Para el caso de la planta bajo estudio, las dimensiones del Reactor VLR son: 8.53 m x 35.99 m x 7.10 m y además cuenta con 50 difusores circulares de burbuja gruesa por cada reactor VLR.

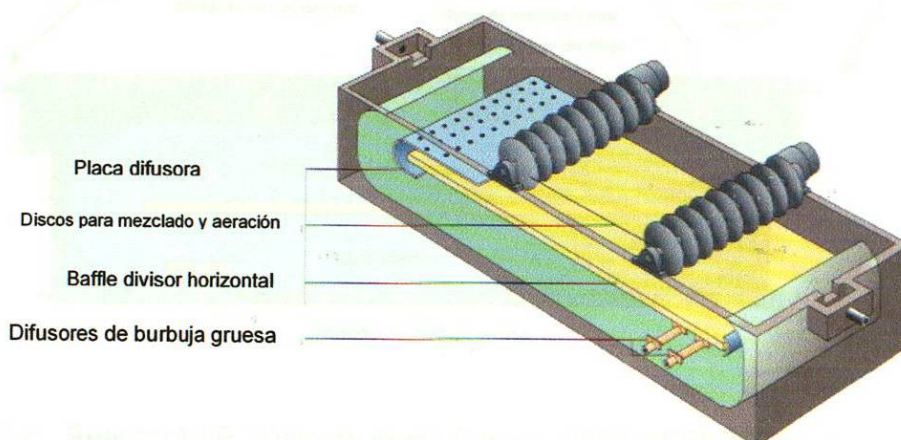


Figura 2.7. Reactor VLR. Vista de planta. Fuente: 2003 USFILTER.

La superficie de una rugosidad especial de los discos es normalmente suficiente para efectuar la mezcla en la entrada del tanque. Los difusores de burbuja gruesa se encuentran en el fondo del primer cuadrante del compartimiento, como fuente del oxígeno complementario requerido por el proceso.

El baffle horizontal previene que la burbuja gruesa alcance inmediatamente la superficie, lo que tomaría sólo algunos segundos; la burbuja de aire viaja en la longitud del tanque y después, a través de una placa perforada, alcanza la superficie, incrementando la eficiencia de transferencia de oxígeno. El proceso VLR proporciona al aire un tiempo de retención de uno a dos minutos. Esto incrementa la eficiencia de transferencia de oxígeno de los difusores de burbuja gruesa hasta 4 Lb O₂/bhp/h, ver figura 2.7.

Los dispositivos turbulentos, como los aeradores de disco y los difusores de burbuja gruesa, impiden que los agentes activos acumulen una película, y por lo tanto, son más eficientes que los difusores de burbuja fina en la parte final. El Proceso Verticell utiliza menos energía que otros tipos de dispositivos de aeración.

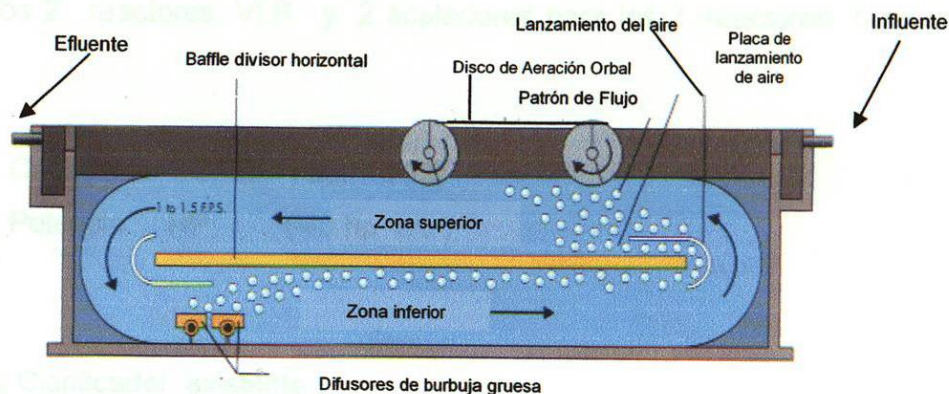


Figura 2.8. Reactor VLR. Vista de perfil. Fuente: 2003 USFILTER.

La planta bajo estudio tiene el siguiente equipo:

- N° de discos aeración (144 discos, distribuidos en 4 unidades motrices con 36 discos c/u) (son 72 discos para cada reactor VLR) (2 unidades motrices para cada reactor VLR).
- Potencia HP (20 hp cada unidad motriz)
- N° de difusores Burbuja Gruesa (50 pzas. Permacap (MR). Los 50 difusores circulares son por cada reactor VLR)
- N° de difusores Burbuja Fina (1,200 pzas. diametro 9"). Los 1,200 difusores circulares son por cada reactor burbuja fina.

2.5.1.2 Tanque de Burbuja Fina.

Los difusores de burbuja fina son un medio muy eficaz como dispositivo para la transferencia de oxígeno.

Las dimensiones del Tanque de Burbuja Fina son: 8.53 m x 19.2 m x 7.10 m.

- Además, cuenta con 6 Sopladores tipo desplazamiento positivo de 40 hp en operación. El N° de sopladores originales 6 unidades (3 en burbuja fina y 3 en burbuja gruesa, se considera 1 en reserva) (son 2 sopladores para los 2 reactores VLR y 2 sopladores para los 2 reactores burbuja fina)

- Capacidad SCFM (600 - 700)
- Potencia HP (40 hp c/u)

2.5.2 Clarificador existente.

El mecanismo clarificador con el que cuenta la planta es la marca Envirex, modelo Tow-Bro FEDWA.

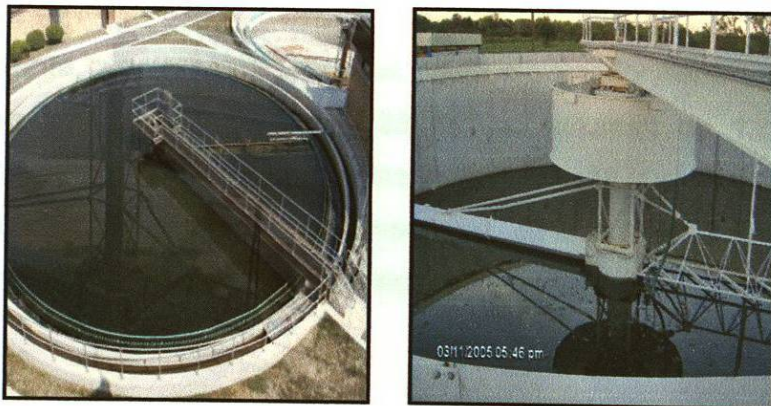


Figura 2.9. Fotos del clarificador existente en la PTAR. Fuente: PTAR.

En la foto de la izquierda se puede visualizar, en una vista panorámica, el clarificador, así como el puente que da acceso a la tornamesa (el cual tiene la función de dar movimiento circular, para así recolectar el lodo y enviarlo al retorno. En la figura de la derecha se aprecia el sistema del baffle del FEDWA, así como parte de la tornamesa.

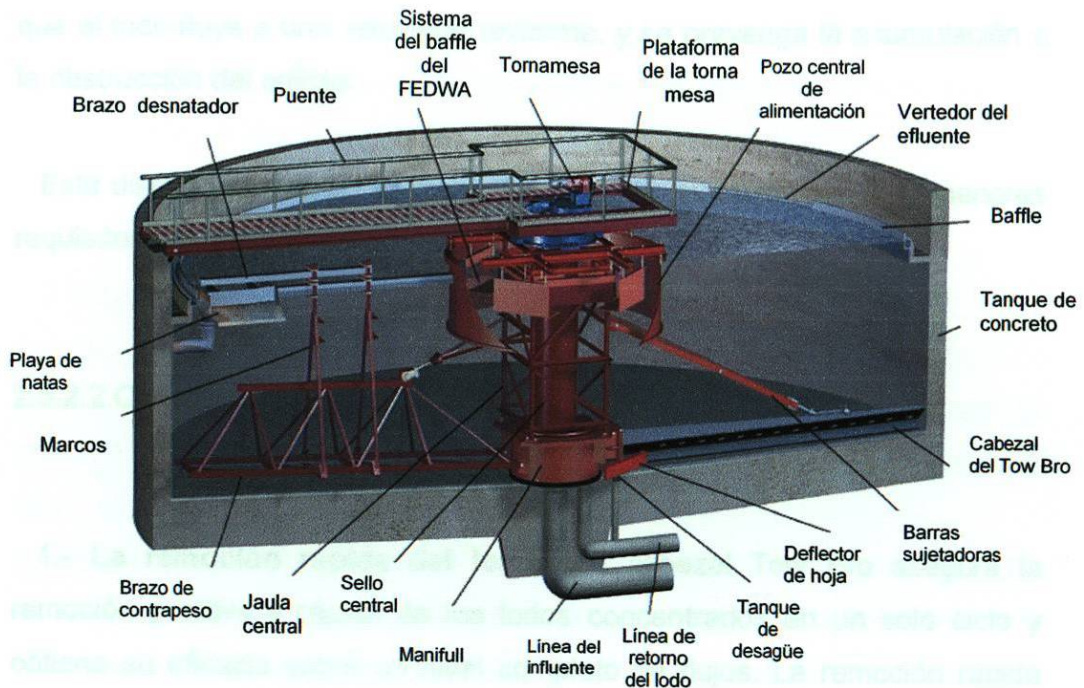


Figura 2.10. Ilustración del mecanismo. Fuente: 2003 USFILTER.

La planta cuenta con 2 unidades: cada clarificador tiene un diámetro de 22.5 m, una profundidad de 4.23 m., un volumen de 1, 681 m³ con alimentación central, un mecanismo de cabezal de succión y un control de retorno de lodos por medio de telescópica, en un cárcamo de volumen total de 21 m³ y con una playa de recolección superficial.

2.5.2.1 Descripción del mecanismo.

El sistema FEDWA (por sus siglas en inglés, Flocculating Energy Dissipating Well Arrangement), es un mecanismo promotor de floculación y disipación de energía en la entrada; permite incrementar la velocidad de la sedimentación, tiene un brazo rectangular con un diseño afilado que permite

que el lodo fluya a una velocidad uniforme, y se prevenga la acumulación o la obstrucción del orificio.

Este diseño asegura resultados eficaces, una operación simple y menores requisitos de mantenimiento.

2.5.2.2 Características y ventajas del mecanismo.

1.- **La remoción rápida del lodo.** El cabezal Tow Bro asegura la remoción positiva y rápida de los lodos concentrados en un solo ciclo y obtiene su eficacia sobre un nivel completo de flujos. La remoción rápida significa lodo fresco, menor oportunidad de la septicidad, y menor requerimiento de aeración.

2.- **Una concentración máxima de sólidos y menor bombeo requerido.** Esto significa que los sistemas de aeración y manejo de sólidos, pueden ser diseñados y operados para un menor bombeo, debido a que el lodo no se diluye y los volúmenes de líquido se reducen.

3.- **Un diseño hidráulico balanceado.** Debido a que la capa de lodo se asienta uniformemente sobre el fondo del tanque, el cabezal de lodo debe retirar los sólidos asentados en forma proporcional al área cubierta.

4. **La operación y el mantenimiento flexible.** El Mecanismo a través de una válvula telescópica controla el retorno del lodo, una ventaja importante particularmente cuando se requieren cambios en los rangos de retorno. El control individual permite al clarificador final ser más flexible en hacer que las condiciones de los procesos cambiantes sean adecuadas. La conexión en los orificios ocurre de forma poco usual. No se presenta ninguna obstrucción en comparación con otros dispositivos y se requiere menor mantenimiento.

El cabezal de succión diseñado por computadora proporciona el máximo de rapidez, una remoción uniforme y lodos floculados en el sedimentador final.

2.5.2.3 Diseño del mecanismo.

El cabezal Tow Bro es un brazo rectangular construido en una placa de acero. El cabezal tiene un diseño final en punta, con una sección en cruz que se reduce a partir del centro del tanque (donde el total del volumen de lodo es el máximo) hasta la punta de salida (donde el total del volumen del lodo es menor), para lograr la velocidad de extracción uniforme del lodo. Las velocidades constantes evitan la posibilidad de que el cabezal contenga lodo o que se obstruya el orificio. El cabezal está montado en un ángulo de cuarenta y cinco grados, para atrapar el lodo de forma física e hidráulica.

El lodo activado debe volver a fluir, con el fin de ser transportado dentro del dispositivo de transferencia de lodo. Una paleta hace fluir al lodo dentro del área de influencia de los orificios. (Ver Figura 2.11)

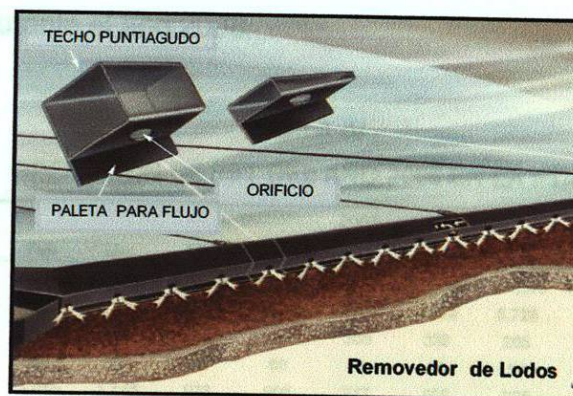


Figura 2.11. Removedor de lodos. Fuente: 2003 USFILTER.

El tamaño de los orificios corresponde a la cantidad de lodo que cada orificio debe remover, para asegurar el balance hidráulico requerido para los volúmenes proporcionales de lodo removido al fondo del tanque. El tamaño del orificio dependerá tanto del flujo que debe aceptar, como de la caída de presión hasta aquel punto, en el cabezal. (Ver figura 2.12)

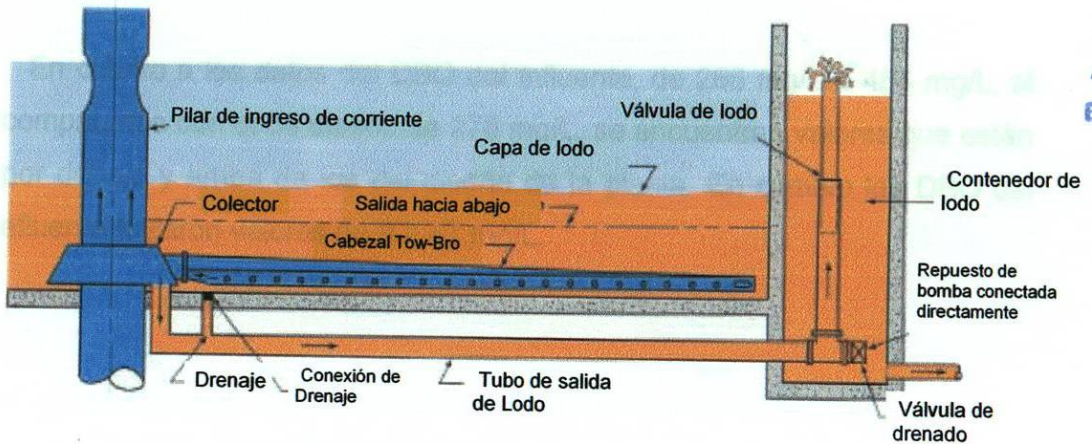


Figura 2.12. Corte transversal del cabezal del sedimentador. Fuente: 2003 USFILTER.

2.5.3 Datos operativos históricos.

En la siguiente tabla se presentan los datos operativos que se obtuvieron de la Planta, durante el año 2008.

TABLA IV
OPERACIÓN DE SST DEL AÑO 2008 EN LA PTAR.

PTAR	2008											PROM
	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	
Vol, m ³ /mes	175,910	169,002	177,336	177,351	177,483	173,002	177,599	177,570	171,022	189,407	184,360	177,277
Vol, m ³ /d	5,675	5,828	5,721	5,912	5,725	5,767	5,729	5,728	5,701	6,110	6,145	5,822
DBO inf, mg/L	436	445	464	432	392	368	338	266	290	265	328	366
NH3 inf, mg/L	64	66	67	57	60	52	56	56	53	57	66	59
DQO inf, mg/L	908	1,019	1,155	973	905	947	805	895	964	919	914	946
SST inf, mg/L	330	396	384	358	453	318	322	275	457	258	326	352
DBO eff, mg/L	47	35	16	29	35	32	13	10	9	13	12	23
NH3 eff, mg/L	51	22	17	36	32	37	11	22	12	12	4	23
DQO eff, mg/L	277	86	71	83	99	89	64	57	47	57	58	90
SST eff, mg/L	53	19	11	22	26	34	12	11	12	15	12	21



Como se puede observar en la tabla anterior, los SST del influente alcanzaron valores entre 275 mg/L y 457 mg/L. Al compararlos con los del diseño de 115 mg/L, se encuentran valores que sobrepasan a los del diseño de la planta. En cambio los SST del efluente tuvieron valores de 11 a 53 mg/L.

En cuanto a los datos del DBO del influente, de 266 mg/L a 464 mg/L, al compararlos con el de diseño de 276 mg/L, se encuentran valores que están por debajo y arriba de los del diseño de la planta. En cambio los DBO del efluente tuvieron valores de 9 a 47 mg/L.

CAPÍTULO 3
EL MARCO TEÓRICO

3 EL MARCO TEÓRICO

3.1 Balance de masa

El criterio fundamental que se utiliza para estudiar las características de flujo del reactor y para delimitar los cambios que se producen cuando una reacción se está produciendo en un reactor (por ejemplo, un contenedor), o, en algunas definiciones causadas por un cuerpo de líquido, es el análisis del balance de masa, (Metcalf & Eddy, 2003)

3.1.1 Principio del balance de masa

El análisis del balance de masa se basa en el principio de que la materia no se crea ni se destruye, pero la forma de la masa puede alterarse (por ejemplo, de un líquido a gas). El análisis del balance de masa ofrece una manera conveniente de definir lo que ocurre dentro de un tratamiento de reacciones en función del tiempo. Para ilustrar los conceptos básicos que intervienen en la preparación de un análisis del balance de masa, el sistema se basa en la frontera para identificar todos los constituyentes del flujo y las corrientes de entrada y salida del sistema. El control del volumen se utiliza para identificar el volumen real en el que el cambio se está produciendo. En la mayoría de los casos, el sistema de control de volumen y los límites coinciden. Para un determinado reactivo, el análisis de masa está dado por

CAPÍTULO 3 EL MARCO TEÓRICO

1. Palabras clave

3. EL MARCO TEÓRICO

3.1 Balance de masa.

El criterio fundamental que se utiliza para estudiar las características de flujo del reactor y para delinear los cambios que se producen cuando una reacción se está produciendo en un reactor (por ejemplo, un contenedor), o, en algunas definiciones causadas por un cuerpo de líquido, es el análisis del **balance de masa**. (Metcalf & Eddy, 2003)

3.1.1 Principio del balance de masa.

El análisis del balance de masa se basa en el principio de que la materia no se crea ni se destruye, pero la forma de la masa puede alterarse (por ejemplo, de un líquido a gas). El análisis del balance de masa ofrece una manera conveniente de definir lo que ocurre dentro de un tratamiento de reactores en función del tiempo. Para ilustrar los conceptos básicos que intervienen en la preparación de un análisis del balance de masa; el sistema se basa en la frontera para identificar todos los constituyentes del flujo y las corrientes de entrada y salida del sistema. El control del volumen se utiliza para identificar el volumen real en el que el cambio se está produciendo. En la mayoría de los casos, el sistema de control de volumen y los límites coinciden. Para un determinado reactivo, el análisis general del balance de masa está dado por:

Las datos básicos para realizar un análisis se obtienen a partir de una serie de pruebas de sedimentación (po batch), midiendo las velocidades de sedimentación por sí en diferentes concentraciones. Esto da el fin de

1. Palabra general.

$$\begin{array}{cccccc}
 \text{La tasa de acumulación} & = & \text{La tasa de flujo de} & - & \text{La tasa de flujo del} & + & \text{La tasa de} \\
 \text{del reactivo dentro} & & \text{reactivo en el} & & \text{reactivo del} & & \text{generación de} \\
 \text{del sistema frontera} & & \text{sistema de frontera.} & & \text{reactivo del} & & \text{reactivo en el} \\
 & & & & \text{sistema de la} & & \text{sistema de frontera} \\
 & & & & \text{frontera} & & \\
 (1) & & (2) & & (3) & & (4) & (3.1)
 \end{array}$$

2. La correspondiente declaración, simplificada, es:

$$(\text{Acumulación}) = (\text{Influyente}) - (\text{efluente}) + (\text{reacción}) \quad (3.2)$$

El balance de masa está integrada por los cuatro términos citados anteriormente. Dependiendo del flujo de régimen o proceso de tratamiento, uno o varios de los términos pueden ser iguales a cero. (Metcalf & Eddy, 2003)

3.2 Sedimentabilidad.

La sedimentabilidad de un lodo es un parámetro importante, ya que es una prueba fácil y económica para el control de la operación de la planta.

La prueba que se utiliza es la del índice volumétrico de lodos (IVL). La profundidad del lodo se mide en mL, se divide entre la concentración de sólidos suspendidos (mg/L) y se define como el volumen de lodo ocupado por un gramo de sólidos. (Metcalf & Eddy, 2003)

$$\text{IVL} = \frac{\text{ml}}{\text{mg/L}} \frac{\text{X } 1000}{\text{SSLM}} \quad (3.3)$$

Los datos básicos para realizar un análisis se obtienen a partir de una serie de pruebas de sedimentación tipo batch, midiendo las velocidades de sedimentación zonal en diferentes concentraciones. Estos con el fin de

producir suficientes datos cuantificables en diversos escenarios de concentración de licor mezclado, para predecir el mejor efluente teórico en que podría trabajar y para así diagnosticar deficiencias. (Ver Capítulo 5, 6)

3.3 La sedimentación para los lodos activados.

La manera básica para determinar las concentraciones, en las pruebas de sedimentación de la curva de sedimentabilidad, es dada por el bosquejo que se muestra en la Figura 3.1, que puede representar el comportamiento de la sedimentabilidad de los lodos activados. Al comienzo de la prueba, el tiempo $(t) = 0$, y la concentración del SSLM es uniforme a través de la columna de sedimentación. Mientras se incrementa el tiempo se identifican dos diferentes regiones en la sedimentación, si el período del retraso se asume como insignificante, la interfase de sólido/líquido logra una tarifa de sedimentación constante bajo condiciones en la zona de sedimentación, la concentración es constante, a través de la región que es igual a la concentración inicial de SSLM. Durante esta etapa hay equilibrio entre las fuerzas gravitacionales que hacen que los flocs sedimenten y las fuerzas hidráulicas de fricción que resisten este movimiento, haciendo que los flocs sedimenten a la velocidad de la sedimentación zonal. (Kazmi, *et al.*, 2000)

Los flocs del lodo que alcanzan la parte inferior del cilindro de la sedimentación son como la acumulación de una compactación o capa del sedimento. En la región de la compactación, cada capa de partículas proporciona la ayuda mecánica para las capas sobre ella. En la interfase del lodo, con concentraciones más densas, aparecen asociados con la disminución de la velocidad de sedimentación (zona de transición de la sedimentación). La etapa de la transición cesa cuando la capa del último se baja o tiene un hundimiento en la capa de la compactación $(t = t_2)$. Aunque la

compactación ocurre ya en la parte inferior del cilindro, al comienzo de la prueba de sedimentación en columna, la etapa de la compactación aparece solamente cuando la etapa de la transición cesa; es decir, cuando la capa superior de la compactación forma la capa de la interfase de sólido/líquido. (Kazmi, *et al.*, 2000)

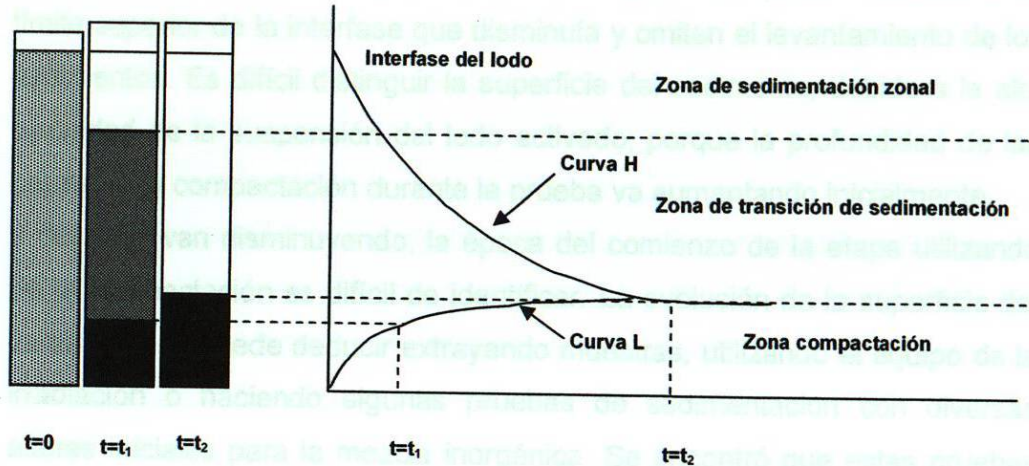


Figura 3.1 Pruebas de sedimentación en columna. Fuente: Kazmi, *et al.*, 2000.

3.4 Teoría del flujo de sólidos

3.3.1 Descripción de la superficie del sedimento.

La velocidad de sedimentación del lodo es función única de la... La descripción del proceso de sedimentación del lodo requiere el acoplamiento de tres componentes característicos, a saber los sólidos de sedimentación en la suspensión, los sólidos constantes en la superficie del sedimento y los sólidos variables en la parte inferior. Estos tres componentes independientes se han integrado para formular el modelo. Un elemento importante de este modelo es el que considera el acoplador de los componentes de la capa de la suspensión y del sedimento. La interacción de estos componentes se da tomando en consideración la continuidad, para el

efecto de: (1) disminución continua de la interfase del lodo; (2) lodo nuevamente depositado en la capa del sedimento. (Kazmi, *et al.*, 2000)

Los experimentos de sedimentación del laboratorio (Curva L) se han realizado con frecuencia en uno o dos litros de cilindros graduados. La mayoría de los datos divulgados en la bibliografía se refieren solamente al límite superior de la interfase que disminuye y omiten el levantamiento de los sedimentos. Es difícil distinguir la superficie del sedimento, debido a la alta turbiedad de la suspensión del lodo activado; porque la profundidad de las capas de la compactación durante la prueba va aumentando inicialmente, y después van disminuyendo, la época del comienzo de la etapa utilizando de la compactación es difícil de identificar. La evolución de la superficie del sedimento se puede deducir extrayendo muestras, utilizando el equipo de la irradiación o haciendo algunas pruebas de sedimentación con diversas alturas iniciales para la mezcla inorgánica. Se encontró que estas pruebas resultaron ineficaces para la deducción de la superficie del sedimento, para el lodo activado. (Kazmi, *et al.*, 2000)

3.4 Teoría del flujo de sólidos.

La velocidad de sedimentación del lodo es función única de la concentración de los sólidos; el flujo de sólidos, el producto de la velocidad de sedimentación y la concentración de los sólidos. Su curva se puede trazar con la curva de flujo de los sólidos. Esta curva generalizada del flujo se puede calcular de las correlaciones estándar, para el índice volumétrico de los lodos (IVL). (Burt, *et al.*, 2005)

El modelo utiliza un método polifásico, donde el lodo es capaz de moverse independientemente con respecto al agua, pero solamente en la dirección de un vector. (Burt, *et al.*, 2005)

La teoría del flujo da solamente la dirección en la probable superficie requerida para efectuar la clarificación, esto puede ser una estimación inferior significativa. Hay muchos diseños de clarificador circular, usando diversas formas y profundidades. Aunque pudiese haber mérito en diseños profundos (éste sigue siendo un caso de la investigación), las técnicas de modelado aplicadas se han utilizado, en gran parte, para conocer el funcionamiento máximo de la parte inferior plana o de clarificadores bajos del ángulo, con varias formas de sistema de remoción del lodo activado. (Burt, *et al.*, 2005)

La aplicación de la teoría del flujo de sólidos al análisis del clarificador ha sido apoyada por el uso de medidas en el sitio de los parámetros del espesamiento del lodo. Para un trabajo más confiable, con la medida real de las velocidades de sedimentación zonal en función de niveles de los SST se recomienda utilizar, como ya se ha mencionado, las pruebas de sedimentación de columna (1.5 m). Sin embargo, para el trabajo de diagnóstico preliminar hay varias relaciones publicadas que muestran las velocidades de sedimentación zonal en función de la concentración de SSLM y una de las varias medidas es, como ya se ha mencionado, el índice volumétrico de los lodos (IVL). (Parker, *et al.*, 2000)

El problema en la aplicación de la teoría del flujo de sólidos (punto de estado o de otra manera) es que la experiencia indica que la carga crítica prevista de los sólidos puede no estar prácticamente alcanzada, eso es un manto que se puede formar, para los valores más bajos de la velocidad de carga de los sólidos predicha. Esta probabilidad ocurre debido a una limitación no modelada por la teoría del flujo, tal como las limitaciones en el transporte del lodo, al punto del retiro del clarificador secundario.

Desafortunadamente, allí se han dado relativamente pocas determinaciones de esto. (Parker, *et al.*, 2000)

El método del punto de estado utiliza los datos del flujo de sólidos por gravedad, sin requerir el cálculo del flujo total. (Wahlberg 1996). Además, provee un método para la evaluación de los clarificadores, con tasas del flujo de lodo de retorno, y concentraciones de SSLM que finalizan con la curva de flujo de gravedad, que representa las características de sedimentación de los lodos activados presentes en la planta bajo estudio. (Metcalf & Eddy, 2003)

3.5 La teoría de Vesilind.

El modelo más utilizado que relaciona la concentración del lodo (X en mg/L) con velocidad de sedimentación zonal (Vs en m/h), es el de Vesilind:

$$V_s = V_0 e^{-nX} \quad (3.4)$$

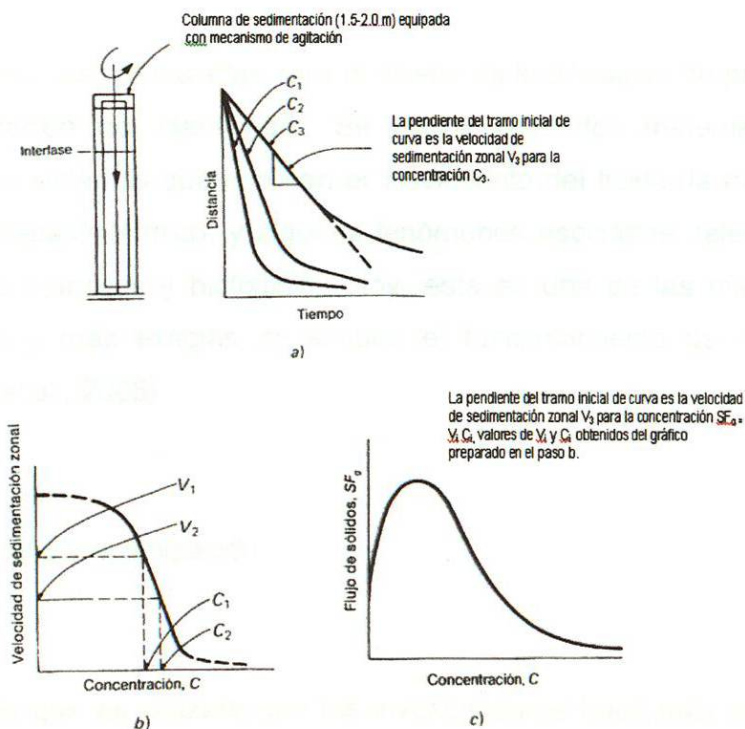


Figura 3.2. Procedimiento de obtención del gráfico del flujo de sólidos debido a la gravedad, en función de la concentración de los sólidos. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

Donde V_0 es velocidad máxima de sedimentación, (m/h), n es el parámetro de Vesilind (m^3/kg). El procedimiento utilizado para desarrollar una curva de flujo de sólidos, a partir de un ensayo de sedimentación por columna, se ilustra en la figura 3.2. (Metcalf & Eddy, 2003)

3.6 El Clarificador.

El funcionamiento y la eficiencia del clarificador dependen de varios factores correlacionados: la hidrodinámica, las características de sedimentabilidad, la turbulencia, la floculación, y la reología de los sólidos tiene un impacto, al igual que las condiciones atmosféricas, la geometría del tanque, las características internas, y las condiciones de carga. (Griborio, *et al.*, 2008)

Existen técnicas avanzadas para el diseño, la localización de problemas, y la optimización del clarificador. Se utilizan métodos matemáticos para analizar los sistemas que implican el movimiento del fluido, la transferencia total, el traspaso térmico, y algunos fenómenos asociados, tales como las reacciones químicas y biológicas. Hoy, esta es una de las maneras más avanzadas y más exactas de simular el funcionamiento del clarificador. (Griborio, *et al.*, 2008)

3.6.1 Diseño y optimización.

El diseño que es utilizado por los investigadores hace más de 30 años, para estudiar los tanques de clarificación. Desde entonces, el conocimiento de los procesos del clarificador y la velocidad del procesador de la computadora han avanzado. El análisis de punto de estado es un

acercamiento del modelo que explica las características de sedimentación, pero no para las características importantes, tales como la hidrodinámica del tanque, la configuración interna, y las corrientes de la densidad. El análisis del punto de estado no puede predecir los sólidos suspendidos del efluente del clarificador (SSE) o la posición del manto del lodo. (Griborio, *et al.*, 2008)

3.6.2 Aplicación de la teoría.

Los modelos se pueden utilizar para identificar las mejoras a la infraestructura existente del clarificador, que aumentan el funcionamiento y la capacidad del mismo. Un modelo calibrado puede servir para comprobar los conceptos y las consideraciones de diseño, dando por resultado un diseño optimizado de un proceso y de la perspectiva de la rentabilidad. El modelo también puede determinar el diseño y las deficiencias operacionales no identificados por métodos de evaluación tradicionales del clarificador y permite el desarrollo del tiempo mojado específico del sitio y de las estrategias del lodo que abultan. El funcionamiento del clarificador predice quizás el factor más importante que afecta a la capacidad del clarificador secundario, que es la adaptabilidad de los sólidos. (Griborio, *et al.*, 2008)

Los flujos en los clarificadores secundarios son caracterizados por un surgimiento actual de la energía del influente, que conduce una capa radial sobre el manto de sedimentación del lodo. Varias características del flujo existen y éste debe ser diseñado para optimizar el funcionamiento del tanque. (Parker, *et al.*, 2000)

Se debe utilizar cautelosamente y con una buena comprensión los procesos y los factores que afectan, en este caso, al funcionamiento del clarificador. (Griborio, *et al.*, 2008)

1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1.1 Objetivo general del proyecto

El objetivo principal del proyecto es evaluar las características de sedimentación del licor mezclado (LM) así como determinar los parámetros del modelo de Vesilind en una planta de tratamiento de aguas residuales para determinar la curva del flujo de sólidos y el punto de estado para establecer las condiciones actuales en que se encuentran las instalaciones.

Concretamente obtener los datos del índice de sedimentación y el punto de estado para determinar las características de sedimentación del LM en la planta.

Además del flujo de sólidos se pretende determinar los parámetros del modelo de Vesilind en una planta de tratamiento de aguas residuales para determinar la curva del flujo de sólidos y el punto de estado para establecer las condiciones actuales en que se encuentran las instalaciones.

Además de evaluar el desempeño de la planta y el comportamiento de los sólidos en la planta de tratamiento.

1.1.2 Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto son los siguientes: evaluar las características de sedimentación del LM en la planta de tratamiento de aguas residuales para determinar la curva del flujo de sólidos y el punto de estado para establecer las condiciones actuales en que se encuentran las instalaciones. Además del flujo de sólidos se pretende determinar los parámetros del modelo de Vesilind en una planta de tratamiento de aguas residuales para determinar la curva del flujo de sólidos y el punto de estado para establecer las condiciones actuales en que se encuentran las instalaciones. Además de evaluar el desempeño de la planta y el comportamiento de los sólidos en la planta de tratamiento.

CAPÍTULO 4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1 Objetivos del proyecto.

El objetivo principal del proyecto es evaluar las concentraciones de sedimentación del licor mezclado (SSLM), así como determinar los parámetros del modelo de Vesilind, en una planta de tratamiento de aguas residuales, para determinar la curva del flujo de sólidos y el punto de estado, para establecer las condiciones actuales en que sedimenta el licor mezclado.

- Se pretende obtener los datos del índice volumétrico de lodos, para así lograr evaluar la sedimentación del lodo en la planta.
- También se trata de identificar las posibles causas de un mal funcionamiento; en su caso, del proceso de lodos activados, en general (reactores y clarificador).
- Además de evaluar el desempeño, la calidad y el comportamiento de los lodos activados en la planta de tratamiento.

4.2 Hipótesis del proyecto.

Dado que la aplicación de las pruebas de sedimentación en la Planta, permitirá conocer las características de sedimentación del lodo, y esto tiene importancia debido, a que la calidad del lodo ayuda a evaluar qué tan eficiente es el tratamiento del agua residual, y esto provee los elementos necesarios para seleccionar el mejor tratamiento, además de que este es un criterio importante para elegir el sistema de disposición o aprovechamiento, el cual puede ser útil para futuras aplicaciones de evaluación, capacitación, optimización e, incluso, en el diseño de nuevas Plantas, podemos proponer



la siguiente hipótesis:

La Planta en estudio fue diseñada para un flujo de 200 lps, por lo que ésta es la carga normal a la que debe de trabajar y está diseñada para obtener una calidad de sobrenadante (efluente) adecuado 30:30, por lo que la hipótesis final es que sobre este proyecto se afirme que el clarificador de la Planta está funcionando según lo supuesto en el diseño, (a pesar de que se ha observado que se abulta el "colchón" de lodos) y con esto afirmar que con el funcionamiento de la planta si se dan estas características de sedimentación del lodo, entonces la planta efectuará con éxito el tratamiento de agua residual.

CAPÍTULO 5
MATERIALES Y MÉTODOS



CAPÍTULO 5 MATERIALES Y MÉTODOS

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Pruebas de sedimentación.

Para obtener la evaluación de las características de la planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario realizar las pruebas tipo batch o de sedimentación.

Las pruebas de sedimentación consisten en:

- 1.- Utilizar un aparato llamado: "Columna de sedimentación" para la medición de la sedimentación.
- 2.- Realizar mezclas a diferentes concentraciones de licor mezclado (SSLM), lodo de retorno (RAS, siglas en inglés) y del agua tratada (Efl).

Se realizaron tres pruebas de sedimentación, en las siguientes fechas:

- El 31 de julio de 2008.
- El 13 de septiembre de 2008.
- El 22 de septiembre de 2008.

5.1.1 Método de las pruebas de sedimentación en columna.

Para efectuar esas pruebas se tomó una muestra de 7 L de licor mezclado en la salida del reactor. Posteriormente, la muestra se dejó sedimentar durante 1 hora, con la finalidad de concentrar al máximo el licor mezclado. Después de este tiempo se separó el sobrenadante, mismo que fue mezclado con agua del efluente de los sedimentadores secundarios, respectivamente, para su posterior uso en la dilución del licor concentrado.

Una vez que se encontraba el licor concentrado, se procedió a agregar este licor a la columna de sedimentación. Esta prueba correspondió a la curva de velocidad de sedimentación para un lodo concentrado. Al finalizar la primera corrida, el licor utilizado fue diluido, suponiendo que la concentración del licor utilizado en la primera prueba tenía una concentración aproximada de 7 g/L de SST. La duración de las seis corridas (para trazar las seis curvas) fue establecida a 1 hora, tiempo suficiente para lograr que los sólidos de las muestras más diluidas sedimentaran casi por completo.

La columna utilizada (ver Figura 5.1) mide 1.5 m de altura, 0.07 m de diámetro interno y está acondicionada con un mezclador lento (1 rpm) para simular el movimiento de las rastras de los sedimentadores secundarios reales.

Para cada corrida se registró la variación de la altura de la interfase sólido-líquido en función del tiempo, para posteriormente utilizar estos datos en el cálculo de la velocidad de sedimentación zonal, para cada concentración inicial de sólidos (1.5 a 7 g/L aproximadamente).



Figura 5.1. Fotografía del aparato "Columna de sedimentación".
Fuente: PTAR.

5.2 Conceptos sobre la calibración del sedimentador.

Con respecto a la selección de modelos para describir la sedimentación en los clarificadores secundarios, existen actualmente dos variantes que se pueden utilizar (Hulsbeek, *et al.*, 2002 y Langergraber, *et al.*, 2004).

- Un modelo simple de separación sólido-líquido ideal, sin acumulación de sólidos, aplicable cuando el caudal y la carga de sólidos se pueden considerar como pseudo-estacionarios.
- Un modelo dinámico, capaz de predecir las variaciones del manto de lodo asociadas con los eventos de retorno, y donde las proporciones de masa de lodo entre el reactor y el clarificador tienen mucha variación.

Cuando el sedimentador funciona con cargas no críticas, la concentración en el lodo de retorno es más bien dictada por el balance de masa del sistema. En este caso, un modelo más complejo, basado en los modelos de flujo másico, no aporta más información (WERF, 2003).

La calibración del sedimentador consiste simplemente en igualar la cantidad de sólidos suspendidos en el efluente del modelo con las concentraciones medidas (introduciendo una eficiencia adecuada de remoción).

Cuando la denitrificación es significativa, está tendrá que considerarse en el modelo, introduciendo un tanque virtual en la línea de retorno de lodo. La importancia de la denitrificación se evalúa comparando la concentración de nitratos en el efluente con la del lodo de retorno (Hulsbeek, *et al.*, 2002).

5.2.1. Calibración del modelo de sedimentación.

Una vez determinada (experimentalmente) la velocidad de sedimentación, se determinaron los parámetros. El ajuste se realizó en el software Excel, para tener una aproximación de los parámetros de cada modelo. A partir de esto, fue posible realizar el análisis de flujo de sólidos, para finalmente realizar el análisis de punto de estado y definir si el clarificador secundario funcionaba correctamente y si es capaz de soportar cargas hidráulicas y de sólidos más grandes, sin que su funcionamiento y calidad del efluente se vean afectados.

5.3 Análisis del flujo de sólidos.

El área requerida para el espesamiento de la aplicación depende del licor mezclado en los límites del flujo de sólidos que pueden ser transportados hasta el fondo en un tanque de sedimentación. Porque el flujo de sólidos, varía con las características de los lodos, las pruebas de sedimentación en columna conducirían a determinar la relación entre la concentración del lodo y la sedimentación. (Metcalf & Eddy, 2003)

Este método, que se basa en el análisis de flujo de masa (movimiento a través de una frontera) de los sólidos en el tanque de sedimentación, exige disponer de datos derivados de ensayos de sedimentación en columna. (Metcalf & Eddy, 2003)

En un tanque de sedimentación que funciona en estado estacionario existe un flujo constante de sólidos como se ve en la Figura 5.2. Dentro del tanque, el flujo descendente de sólidos se produce por sedimentación zonal y por transporte de masa, debido al cual es extraído por el fondo, que es

bombeado y recirculado. En cualquier punto del tanque, el flujo de masa de sólidos debido a la sedimentación zonal es:

$$SF_g = C_i V_i \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (5.1)$$

donde SF_g (siglas en ingles) = Flujo de sólidos debido a la gravedad, $\text{kg/m}^2 \text{ h}$

C_i = concentración de sólidos en el punto en el que se trate, mg/L

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

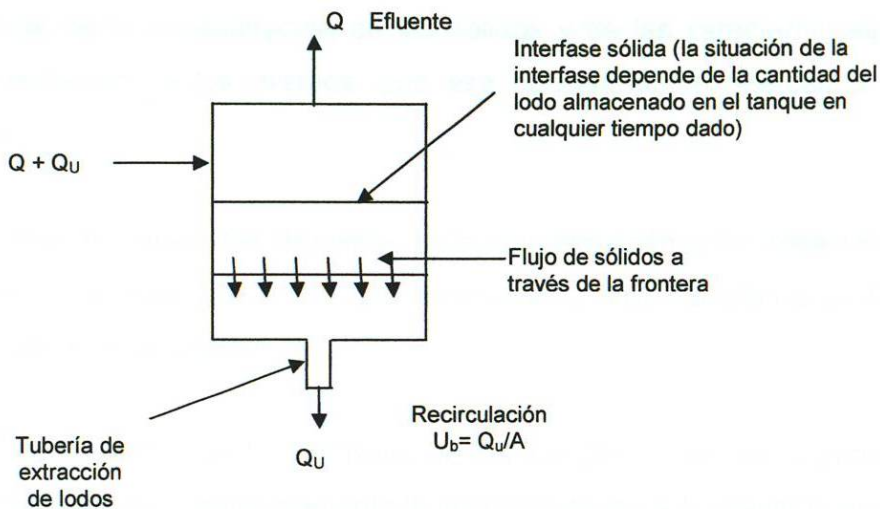


Figura 5.2 Esquema de un tanque de sedimentación que opera en forma estacionaria. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

El flujo de sólidos debido al movimiento de la masa de la suspensión es:

$$SF_u = C_i U_b (10^3 \text{ g/kg})^{-1} = C_i \frac{Q_u}{A} \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (5.2)$$

donde SF_u (siglas en ingles) = Flujo de sólidos debido al flujo extraído por el fondo, $\text{kg/m}^2 \text{ h}$

U_b = velocidad descendente de la masa, m/h

Q_u = flujo extraído por el fondo, m^3/h

A = área de la sección transversal, m^2

El flujo másico total SF_t de sólidos es la suma de los componentes anteriores (es la suma del flujo de masa por gravedad (SF_g) más el flujo másico por extracción (SF_u)), y viene dada por:

$$SF_t = SF_g + SF_u \quad (5.3)$$

$$SF_t = (C_i V_i - C_u U_b) \left(10^3 \text{ g / kg} \right)^{-1} \quad (5.4)$$

En esta ecuación, el flujo de sólidos debido a la sedimentación zonal depende de la concentración de los sólidos y de las características de la sedimentación de los mismos, con esa concentración. (Metcalf & Eddy, 2003)



El flujo por gravedad depende de la concentración y las características del lodo, mientras que el flujo por extracción o flujo de retorno es función lineal de la concentración.

En la figura 5.3, el flujo máximo de sólidos (SF_L) que puede producir el sedimentador se obtiene mediante la intersección de la tangente horizontal a la curva de flujo total en su punto mínimo, (MOP FD-8, 1985). Usando el valor del flujo límite de sólidos, el área requerida para el espesamiento derivada del balance está dada por la ecuación 5.5:

$$A = \frac{(1 + \alpha) * Q * X}{SF_L} \quad (5.5)$$

donde:

- A = área requerida, m^2
- α = relación de recirculación (Q_r/Q)
- X = concentración de sólidos en el influente (X), mg/L
- SF_L = flujo límite de sólidos, $kg/m^2/h$
- Q_r = flujo de retorno de lodos, m^3/h
- Q = flujo nominal, m^3/h

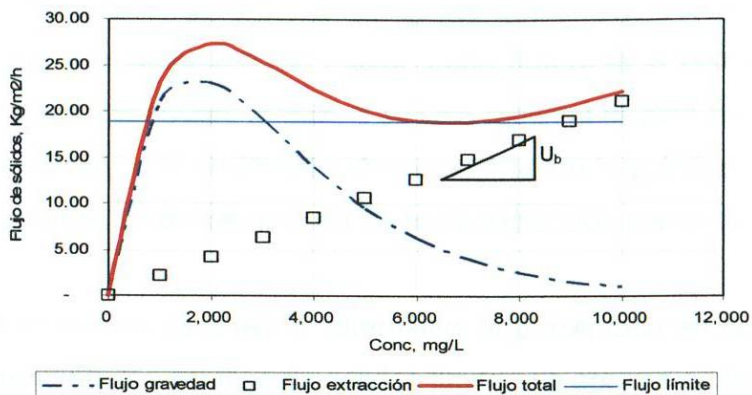


Figura 5.3 Gráfica típica del flujo de sólidos en un clarificador.

El análisis presentado anteriormente es el método tradicional de Dick, basado en el flujo de sólidos, con amplia difusión (Metcalf & Eddy, 2003). Debido a la naturaleza esponjosa del lodo biológico, a las características de sedimentación y a las variaciones diarias de flujo, recientes investigaciones sugieren que el diseño eficiente de clarificadores secundarios requiere considerar valores aceptables en estos parámetros: carga hidráulica superficial, tirante de operación (tiempo de retención), carga en el vertedor y carga de sólidos.

El flujo de sólidos debido al transporte de masa es función lineal de la concentración, con una pendiente igual a U_b , la velocidad de extracción del lodo de retorno por la parte inferior (ver figura 5.3). Un aumento o disminución del flujo de retorno del fondo da lugar a un cambio del sentido de crecimiento de la curva de flujo total, produciendo un ascenso o descenso de la misma. Dado que la velocidad de extracción del fondo puede ser controlada, la misma se utiliza para el control del proceso.

En función de lo anterior, recientemente se está utilizando un método llamado: "Análisis del Punto de Estado" (Whalberg, 1996), que utiliza los mismos datos del flujo de sólidos por gravedad, sin requerir el cálculo del flujo total.

En relación con la figura 5.3, si se quiere que el flujo de extracción del retorno tenga una concentración mayor, debe reducirse la pendiente de la línea del flujo de extracción; lo cual, a su vez, rebajará el valor del flujo límite y aumentará el área de sedimentación necesaria. En la práctica, es preciso hacer una evaluación de los mismos flujos de extracción del fondo a utilizar.

Un método gráfico de análisis, alternativo al presentado en la figura 5.3, para la determinación del flujo de sólidos límite, se aprecia en la figura 5.4. Como se ve en ella, para una concentración deseada e intersectando el eje de las coordenadas se obtiene trazando una tangente a la curva de flujo de sólidos, desde el punto de eje de las abscisas que representa la concentración deseada e intersectando el eje de las ordenadas. La relación geométrica de este método con el representado en la figura 5.3 se ilustra por medio de las líneas de trazos de la figura 5.4. El método detallado en la figura 5.4 es especialmente útil para la evaluación del efecto que tiene el uso de diversas concentraciones de extracción sobre el tamaño de las instalaciones de tratamiento (tanques de aeración y sedimentación).

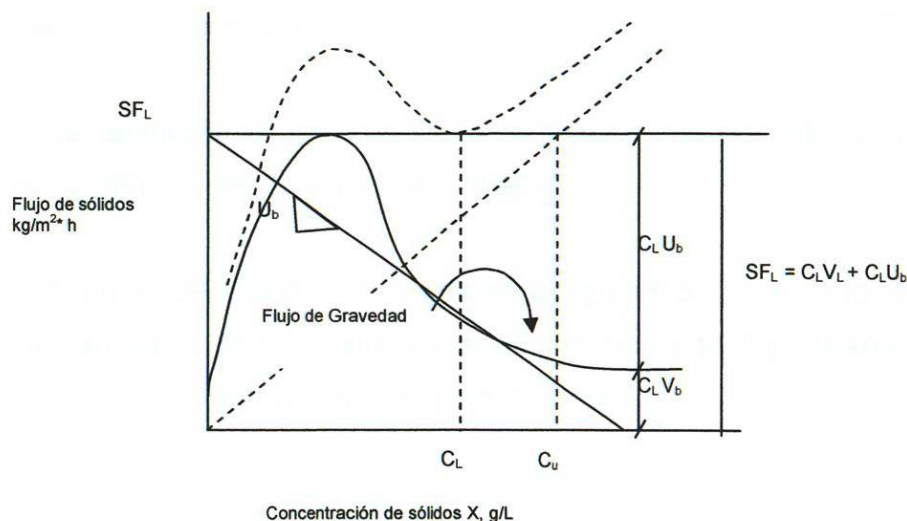


Figura 5.4 Definición alternativa para el análisis de los datos de sedimentación, utilizando el flujo de sólidos como método de análisis. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

5.4 Análisis del punto de estado.

El análisis de punto del estado confirma el tamaño apropiado del clarificador que se debe utilizar, basado en las características de flujo y la cantidad de agua residual real que llega a la planta.

Éste es un procedimiento que extiende los principios del análisis de flujo de sólidos para proveer un significado conveniente para las concentraciones de licor mezclado y las condiciones de operación del clarificador relativas a la condición de operación del límite de flujo de sólidos.

Un análisis de punto del estado es una presentación gráfica de estos factores: (1) Las características de sedimentación del licor mezclado que entra en el clarificador secundario. (2) El flujo efluente al proceso secundario, (3) El flujo de retorno del lodo activado (LAR), (4) La concentración de los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM), y (5) La superficie del clarificador secundario.

La operación de los clarificadores secundarios del lodo activado debe considerar lo anterior. (Wahlberg, 1996)

El punto de estado se muestra en la figura 5.5a, que es la intersección del clarificador de la línea de extracción del fondo del flujo de sólidos, con la línea de extracción superior del flujo de sólidos.

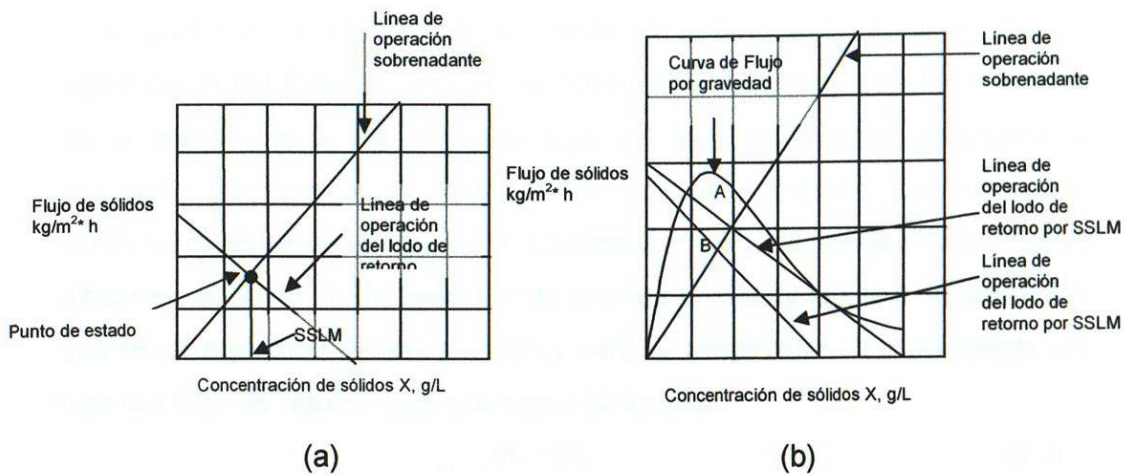


Figura 5.5 Análisis del punto de estado, para las condiciones de operación: (a) punto de estado en la intersección de las líneas de extracción y la de sobrenadante y (b) sobrecargado (B) y críticamente cargado (A) relativos al punto de estado con la curva de flujo de sedimentación. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

Entonces, el análisis por la concentración actual del licor mezclado, las aplicaciones hidráulicas del clarificador, y el retorno y reciclo de los lodos activados, y la combinación de estos parámetros de operación, resultan en una condición que es sin limitaciones del clarificador del flujo de sólidos por un lodo con especificación de características de espesamiento.

$$SF_Q = \left(\frac{Q(X)}{A} \right) \quad (5.6)$$

Donde: SF_Q = Flujo de sólidos debido al sobrenadante, kg/m² d

Q = flujo del influente del clarificador, m³/d

A = Área del clarificador, m²

X = Tanque de aeración con la concentración de los SSLM, mg/L

El grado de concentración de SSLM en el tanque de aeración (X), en algún punto del lodo de retorno, se obtiene construyendo una línea vertical en el eje de las X . La línea de flujo del lodo de retorno representa la pendiente negativa de la velocidad de flujo de extracción del clarificador como se muestra en la figura 5.3. La intersección y de la línea horizontal se dibuja en el punto de intersección de la línea vertical y la línea de operación que es el flujo total de sólidos (SF_x) para el clarificador. La pendiente del flujo del lodo de retorno aparece como U_b igual a:

$$U_b = \frac{SF_t - SF_Q}{0 - X_{SSLM}} \quad (5.7)$$

Para desarrollar la curva de flujo de gravedad del punto de estado se utiliza el concepto del balance de masa (mencionado en el Capítulo 3). Cualquier análisis de un clarificador de lodo debe comenzar con la curva que relaciona la cantidad del lodo "Bueno de Lodo a Calidad Water" (2003) (Ver figura 5-6)

$$U_b = \frac{[(Q + Q_R) * X_{SSLM} / A]}{-X_{SSLM}} \quad (5.8)$$

$$U_b = -\frac{Q_R}{A} \quad (5.9)$$

El punto de estado y la línea de flujo de extracción pueden compararse por la curva de flujo de gravedad, que puede ser determinada por la operación del clarificador, que está sin la limitación del flujo de sólidos (Ver figura 5.5b. La línea de lodo de retorno, en el punto de estado B, es tangente de la curva de flujo de gravedad, la cuál no se muestra en la figura 5.4, que representa el límite de la condición del flujo de sólidos. Entonces, el clarificador es críticamente cargado por la velocidad del flujo del lodo de retorno y el punto de estado con la concentración de SSLM. Si se cambia la concentración para obtener una concentración más alta de SSLM, y la línea del lodo de retorno cruza lo más bajo de la curva de flujo de gravedad, el límite de flujo de sólidos puede ser excedido para el manto del clarificador. En el punto A de la figura 5.5, la concentración de SSLM se utiliza por la línea del lodo de retorno; entonces esto es lo más bajo de la curva de flujo de gravedad. Una operación sobrecargada es relativa para evaluar los sólidos.

El proceso del análisis del punto de estado provee un método para evaluar varios clarificadores de las tasas de la línea de flujo de extracción, y concentraciones de SSLM que dan a la curva de flujo de gravedad, que representa las propiedades de sedimentación de los lodos activados. La técnica del análisis del punto de estado puede utilizarse como prueba de sedimentación de lodos activados del licor mezclado, en una facilidad que existe para determinar la concentración óptima de los SSLM y la tasa del reciclo del lodo de retorno, para dar una condición en el flujo del influente.

Para desarrollar la curva del análisis del punto de estado se utiliza el concepto del balance de masa (mencionado en el Capítulo 3). Cualquier análisis de un clarificador debe determinar la forma de la curva que refleja la calidad del lodo. "Bureau of Land & Quality Water" (2003). (Ver figura 5.6)

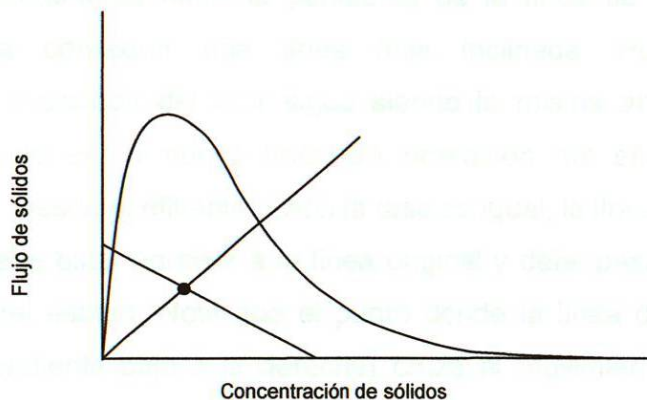


Figura 5.6 Curva para el análisis del punto de estado. Fuente: Bureau of Land & Quality Water 2003.

Se observa que si el flujo se incrementa y la concentración no cambia, se puede adherir una segunda línea, para que la gráfica muestre los efectos del flujo adicional. La gráfica muestra, en la siguiente figura, algo interesante (y no muy bueno) cosas que le suceden al sistema. Bureau of Land & Quality Water (2003).

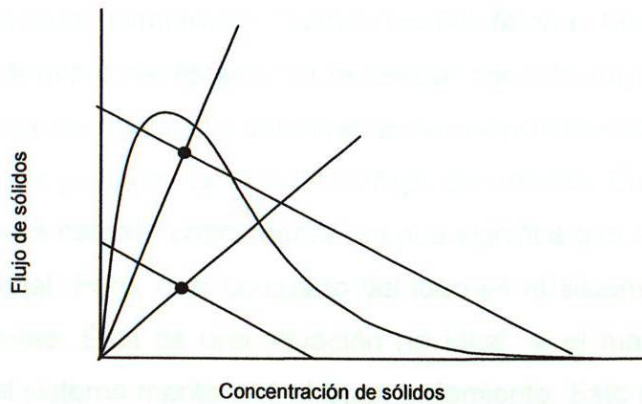


Figura 5.7 Curva para el análisis del punto de estado. Bureau of Land & Quality Water 2003.

El flujo se incrementa hacia la pendiente de la línea de operación del efluente, para conseguir una línea más inclinada. Puesto que la concentración mezclada del licor sigue siendo la misma abscisa, sigue el punto de estado en la nueva línea de operación del efluente en esa concentración. Desde el efluente (LAR) la tasa es igual, la línea de operación del efluente debe estar paralela a la línea original y debe pasar a través del nuevo punto del estado. Note que el punto donde la línea del efluente (la línea de la pendiente bajo a la derecha) cruza el movimiento del flujo de sólidos, se mueve. Note también que la línea de operación del efluente está a la derecha de la curva del flujo de sólidos. Esto significa que los clarificadores están sobrecargados y están recibiendo más sólidos que pueden ser transferidos con éxito al fondo, ser recogidos y ser quitados. Esto suena como un desastre en la fabricación. Bureau of Land & Quality Water (2003).

Afortunadamente, el proceso de los lodos activados está a salvo, porque se sobrecargan los clarificadores, y un manto del lodo se formará. (Ver Figura 5.8). Mientras que el manto del lodo consigue estar más denso, los sólidos en el sistema se transfieren a los clarificadores y los SSLM en el

tanque de aeración disminuyen. Cuando los SSLM en el tanque de aeración disminuyen, el punto del estado "se desplaza" hacia la izquierda y como se mueve, la línea de operación del efluente también tiene movimientos hasta que él los toca justo en la curva del flujo de sólidos. En ese punto, los clarificadores se cargan "críticamente", lo que significa que se ha restaurado el equilibrio total. Pero, casi un cuarto del lodo en el sistema ahora está en los clarificadores. Ésta es una situación no ideal: si el manto no pasa los vertederos, el sistema mantendrá el buen tratamiento. Esto es lo que realiza el mecanismo Tow Bro. Bureau of Land & Quality Water (2003).

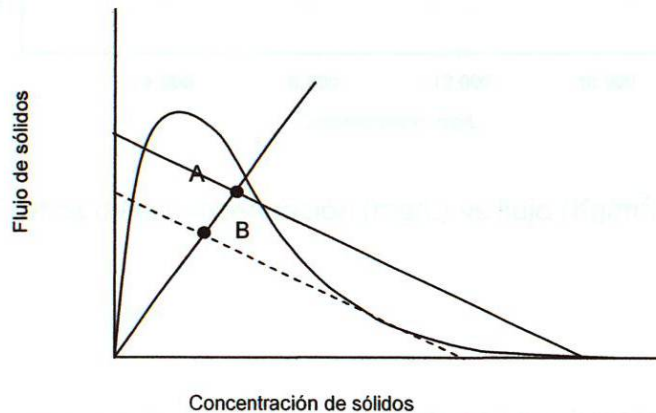


Figura 5.8 Sistema responsable al clarificador secundario sobrecargado con respecto al punto de estado desplazado de A a B, como resultado de la transferencia neta de los sólidos de la aeración en el clarificador secundario. Fuente: Wahlberg, 1996.

5.4.1 Obtención del punto de estado y la curva de flujo de sólidos.

Paso 1. Colocar la plantilla de la gráfica.

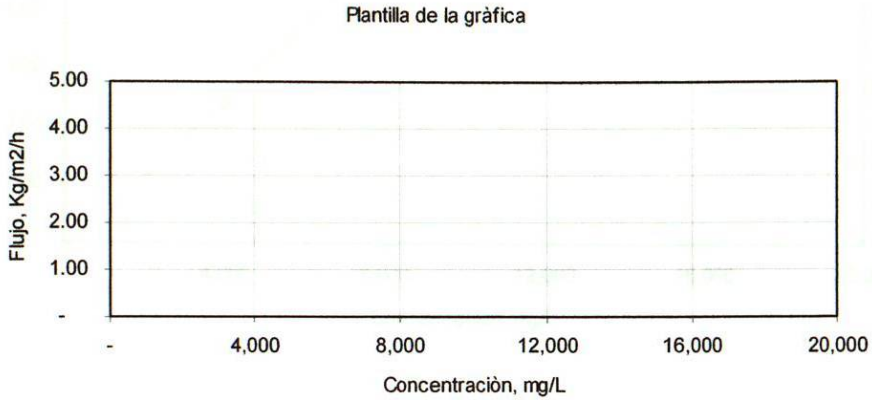


Figura 5.9 Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h).

Paso 2. Ubicación del punto de estado. Esta es la ordenada del licor mezclado de sólidos suspendidos.

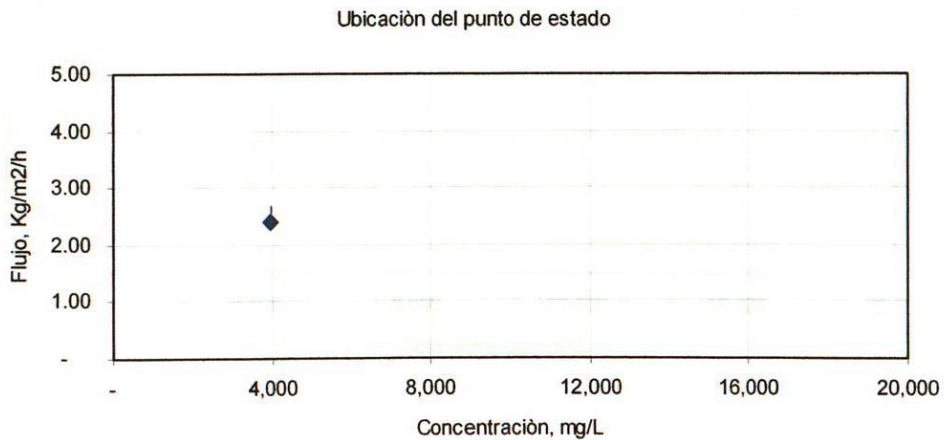


Figura 5.10. Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h).

Paso 3. Pendiente Q/A. Colocar una pendiente al punto de ubicación del punto de estado

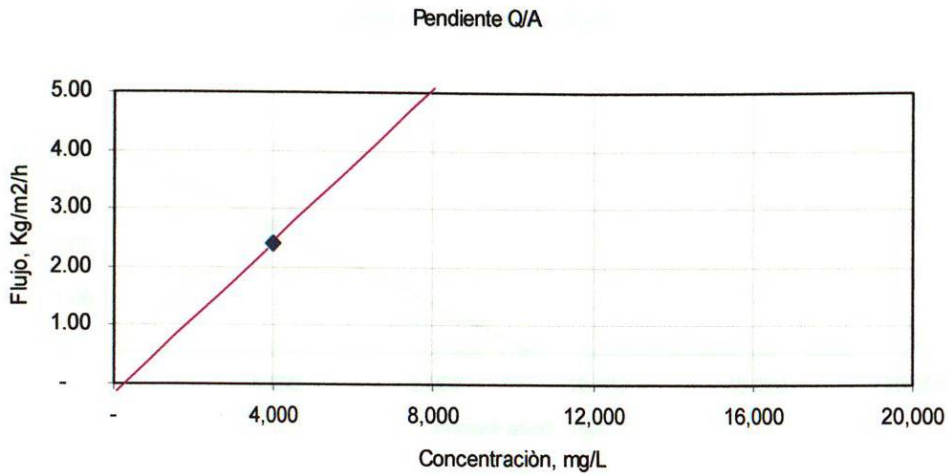


Figura 5.11. Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h).

Paso 4. Punto B. Ubicar el punto 2 del punto de estado.

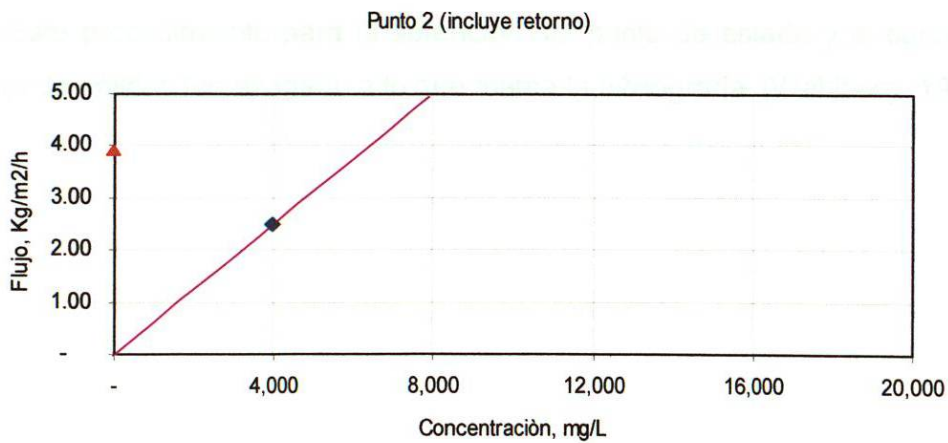


Figura 5.12. Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h).

Paso 5. Posición del punto de estado. Colocar una recta uniendo los 2 puntos de estado.

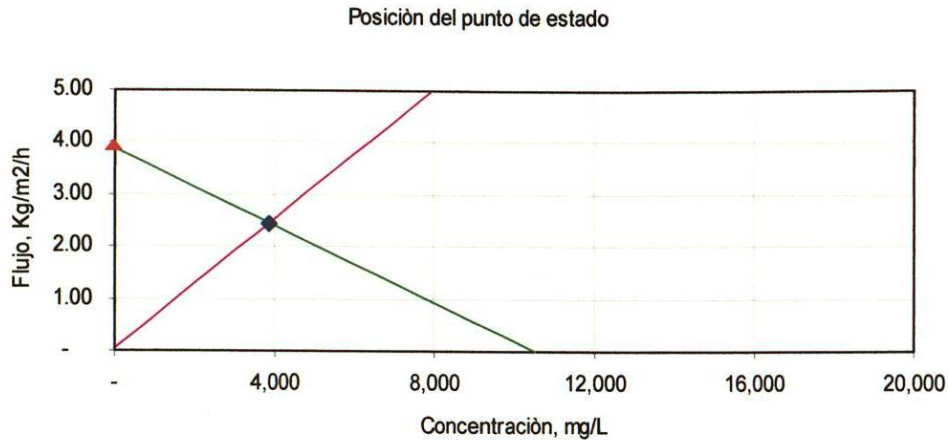


Figura 5.13. Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h).

Paso 6. Punto de estado y curva del flujo de los sólidos. Por último, se coloca la curva de flujo de sólidos. (Ver Figura 6.29)

Este procedimiento para la obtención del punto de estado y la curva de flujo de sólidos fue apegado a lo que marca la bibliografía. (Wahlberg, 1996)

CAPÍTULO 6
RESULTADOS



CAPÍTULO 6 RESULTADOS

6. RESULTADOS

6.1 Experimentación.

Las tablas V, VI y VII muestran las proporciones en que fueron combinadas diferentes muestras de licor mezclado (SSLM), el lodo de retorno (LAR) y el agua tratada (Efl.), para producir mezclas de diferentes concentraciones de sólidos (M1 a M6), para las pruebas de sedimentación. Además, se muestran los resultados de la concentración de los sólidos suspendidos totales.

TABLA V

**PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS, A VARIAS CONCENTRACIONES.
(EXPERIMENTO 1 FECHA: 31 JULIO)**

Mezcla	SSLM	LAR	Effluente	Concentración (mg/L)
M1	45%		55%	1,860
M2	60%		40%	2,470
M4	80%		20%	3,300
M3	100%	0%		4,140
M5	50%	50%		6,120
M6		100%		8,100

TABLA VI

**PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS, A VARIAS CONCENTRACIONES.
(EXPERIMENTO 2 FECHA: 13 SEPTIEMBRE)**

Mezcla	SSLM	LAR	Effluente	Concentración (mg/L)
M1	40%		60%	1,550
M2	60%		40%	2,340
M3	80%		20%	3,120
M4	100%	0%		3,920
M5	49%	51%		6,080
M6		100%		8,150

TABLA VII

**PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS, A VARIAS CONCENTRACIONES.
(EXPERIMENTO 3 FECHA: 22 SEPTIEMBRE)**

Mezcla	SSLM	LAR	Effluente	Concentración (mg/L)
M1	40%		60%	1,650
M2	60%		40%	2,450
M3	80%		20%	3,260
M4	100%	0%		4,080
M5	50%	50%		6,120
M6		100%		8,160

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, para cada una de las pruebas, se registró cada 2 minutos la variación de la altura de la interfase sólido-líquido (Tabla VIII y Anexos).

En la tabla VIII (Ver Anexos) se muestran los datos de las pruebas de sedimentabilidad que se realizaron para la evaluación de las características del licor mezclado en la planta. Estos datos sirvieron para posteriormente calcular la velocidad de sedimentación zonal (V_s) para cada concentración inicial de sólidos, de modo que se dispone de la información necesaria para construir la curva de flujo de los sólidos.

TABLA VIII
PRUEBAS DE SEDIMENTABILIDAD
(EXPERIMENTO 2)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
t, h	1,550 mg/L	2,340 mg/L	3,120 mg/L	3,920 mg/L	6,080 mg/L	8,150 mg/L
-	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
0.03	1.49	1.51	1.51	1.52	1.52	1.51
0.07	1.45	1.47	1.49	1.50	1.51	1.50
0.10	1.39	1.42	1.47	1.49	1.50	1.50
0.13	1.32	1.38	1.43	1.47	1.48	1.50
0.17	1.27	1.32	1.40	1.45	1.47	1.49
0.20	1.21	1.28	1.38	1.42	1.45	1.49
0.23	1.15	1.24	1.35	1.40	1.44	1.48
0.27	1.07	1.19	1.32	1.39	1.43	1.48
0.30	1.01	1.14	1.29	1.38	1.43	1.48
0.33	0.95	1.09	1.26	1.36	1.42	1.47
0.37	0.89	1.05	1.22	1.34	1.40	1.47
0.40	0.83	1.00	1.18	1.32	1.39	1.46
0.43	0.78	0.97	1.16	1.30	1.38	1.46
0.47	0.72	0.92	1.12	1.28	1.37	1.46
0.50	0.68	0.89	1.09	1.26	1.36	1.45
0.53	0.63	0.84	1.06	1.24	1.34	1.45
0.57	0.59	0.81	1.03	1.22	1.33	1.44
0.60	0.55	0.77	1.00	1.20	1.32	1.44
0.63	0.52	0.74	0.96	1.18	1.31	1.44
0.67	0.49	0.71	0.93	1.16	1.30	1.43
0.70	0.47	0.69	0.91	1.15	1.29	1.43
0.73	0.45	0.67	0.88	1.13	1.28	1.42
0.77	0.43	0.64	0.85	1.12	1.27	1.42
0.80	0.41	0.62	0.84	1.11	1.26	1.42
0.83	0.40	0.60	0.81	1.09	1.25	1.41
0.87	0.39	0.59	0.79	1.08	1.25	1.41
0.90	0.36	0.56	0.76	1.06	1.23	1.40
0.93	0.35	0.54	0.74	1.05	1.23	1.40
0.97	0.35	0.55	0.73	1.03	1.21	1.39
1.00	0.34	0.54	0.71	1.03	1.21	1.39

6.2 Velocidades de sedimentación zonal.

En las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se muestra el resultado de los perfiles de variación de la altura de la interfase sólido-líquido, para las seis corridas que se realizaron. La leyenda identifica las concentraciones iniciales correspondientes (en mg/L). Se observó una tardanza al inicio de todas las corridas; por lo que, los datos que se consideran para calcular la velocidad

de sedimentación zonal son los puntos después de esta primera zona, donde la pendiente ya es lineal (velocidad zonal). Cabe aclarar que las herramientas utilizadas para lograr los resultados del proyecto fueron del programa de Excel.

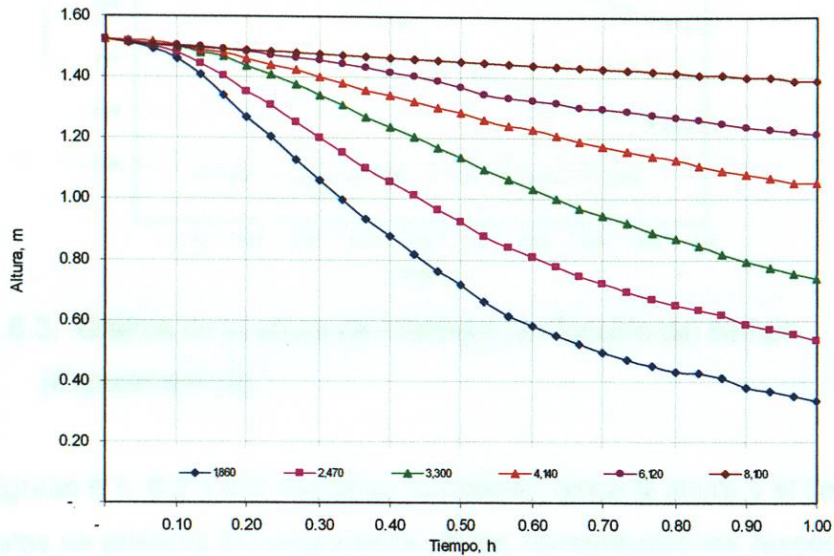


Figura 6.1. Gráfica de la altura de interfase, en función del tiempo. (Experimento 1).

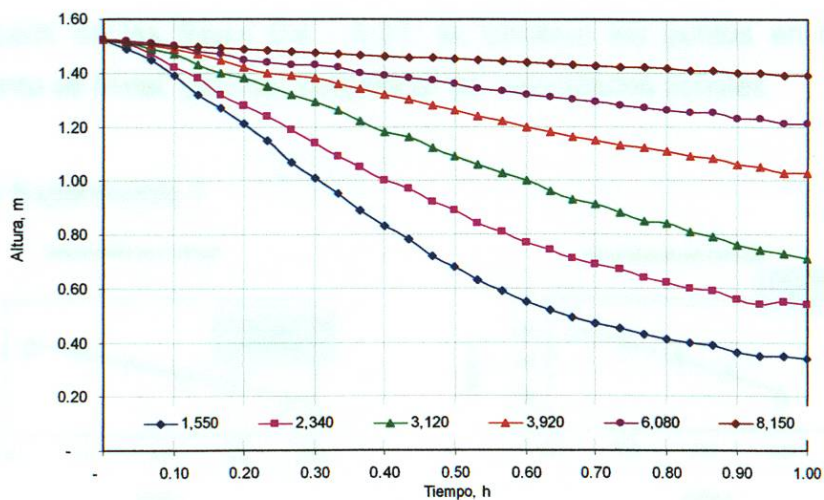


Figura 6.2. Gráfica de la altura de interfase, en función del tiempo. (Experimento 2).

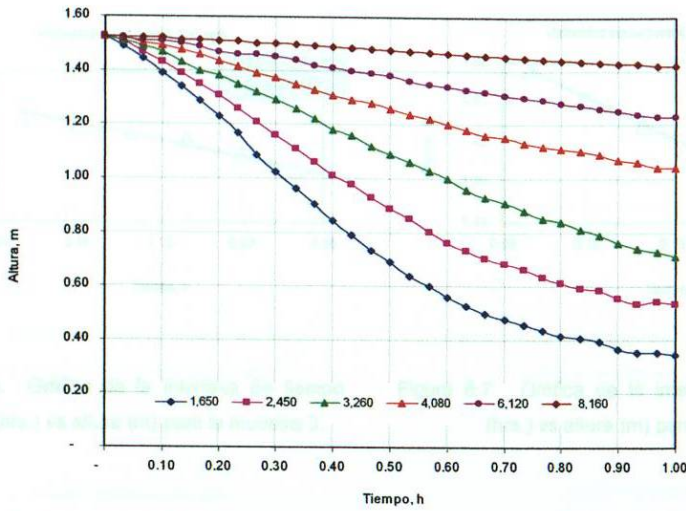


Figura 6.3. Gráfica de la altura de interfase, en función del tiempo. (Experimento 3).

Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran la relación entre la altura y el tiempo, en las cuales se observa la congruencia de las concentraciones respectivas de cada experimento.

6.3 Determinación de las velocidades zonales.

A partir de las figura 6.4 - 6.21, se tomaron los puntos en donde la pendiente es lineal, para así determinar las velocidades zonales.

6.3.1 Experimento 1

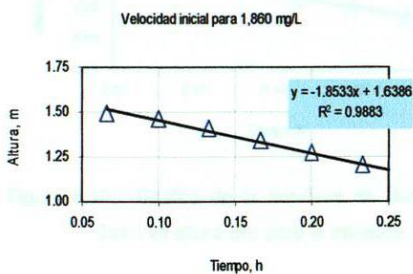


Figura 6.4. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 1.

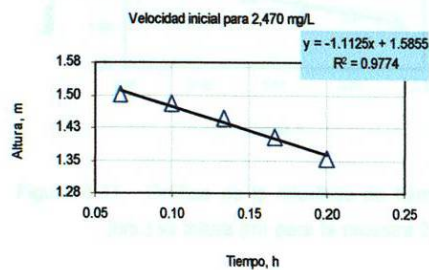


Figura 6.5. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 2.

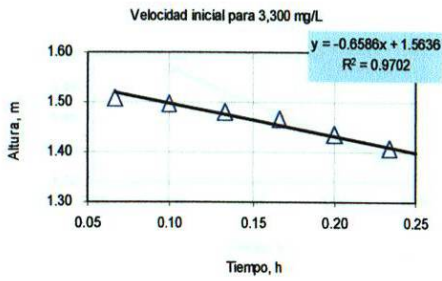


Figura 6.6. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 3.

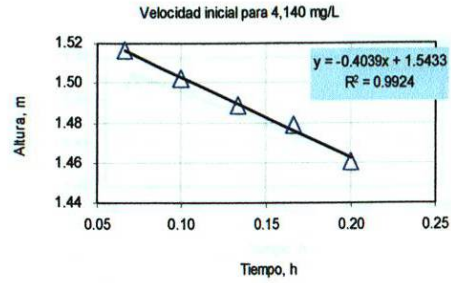


Figura 6.7. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 4.

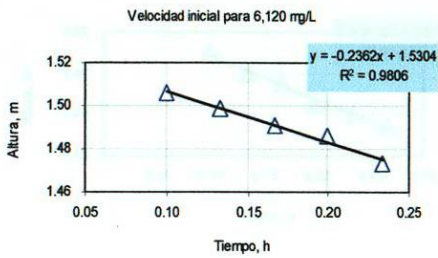


Figura 6.8. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 5.

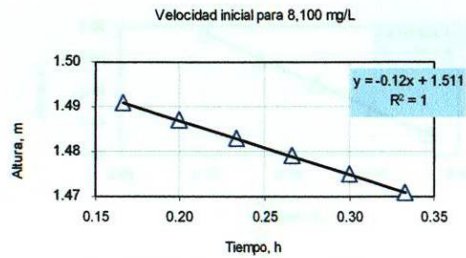


Figura 6.9. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 6.

6.3.3 Experimento 3

6.3.2 Experimento 2

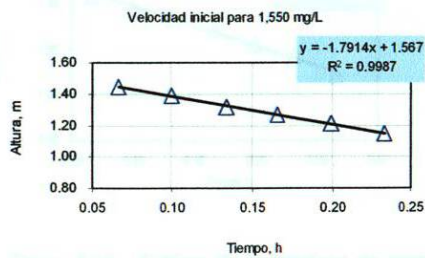


Figura 6.10. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 1.

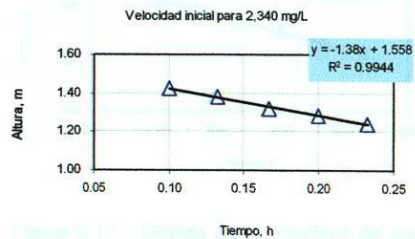


Figura 6.11. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 2.

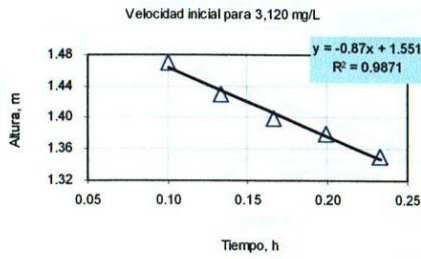


Figura 6.12. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 3.

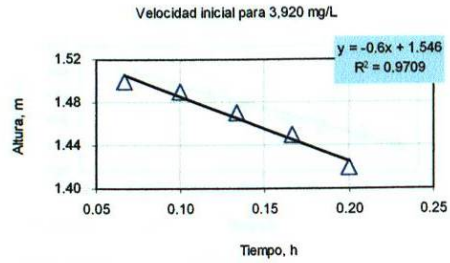


Figura 6.13. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 4.

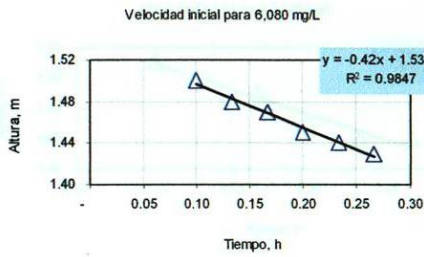


Figura 6.14. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 5.

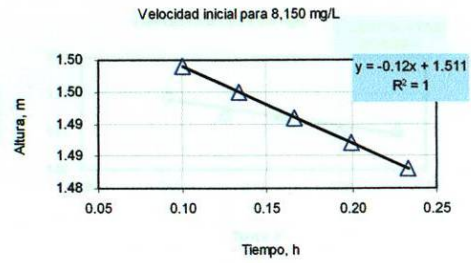


Figura 6.15. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 6.

6.3.3 Experimento 3

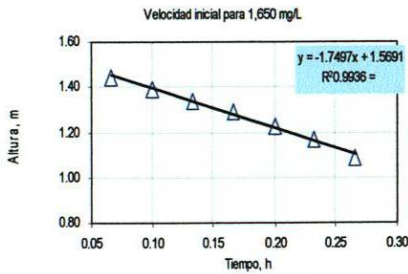


Figura 6.16. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 1.

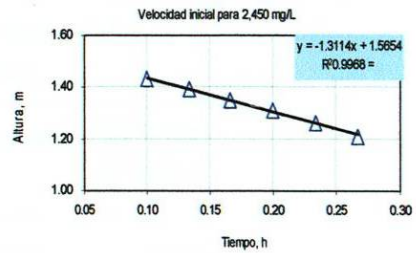


Figura 6.17. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 2.

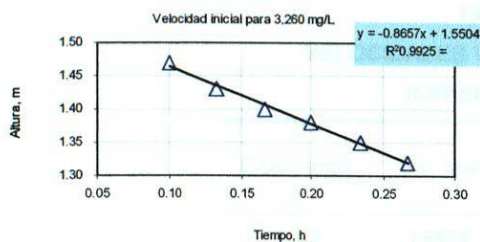


Figura 6.18. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 3.

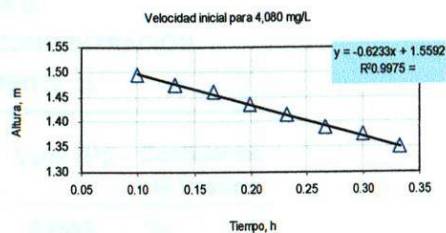


Figura 6.19. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 4.

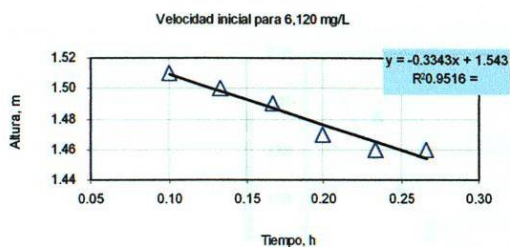


Figura 6.20. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 5.

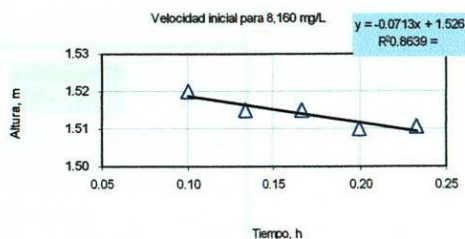


Figura 6.21. Gráfica de la interfase de tiempo (hrs.) vs altura (m) para la muestra 6.

Figura 6.22. Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad zonal (m/h) (Experimento 1)

Con los datos de las determinaciones de las velocidades zonales se obtuvo la siguiente información (Ver Tablas IX, X, XI):

Tabla 7
VELOCIDADES VS CONCENTRACIÓN
EXPERIMENTO 2

Conc. mg/L	Vel. m/h	Veloc. m/h	Concentr. en mg/L
3,260	1.704	0.0007	1.0
4,080	1.385	0.0014	1.100
6,120	1.607	0.0017	1.0
8,160	1.602	0.0016	0.900
8,160	1.620	0.0017	1.0
8,160	1.107	0.001	1.000

TABLA IX
VELOCIDADES VS CONCENTRACIÓN
(EXPERIMENTO 1)

Conc, mg/L	Vel, m/h	Valor R ²	Coefficientes de Vesilind
1,860	1.8533	0.9883	Vo
2,470	1.1125	0.9774	3.0331
3,300	0.6586	0.9702	n
4,140	0.4039	0.9924	0.0004
6,120	0.2362	0.9806	R ²
8,100	0.1200	1.0000	0.9587

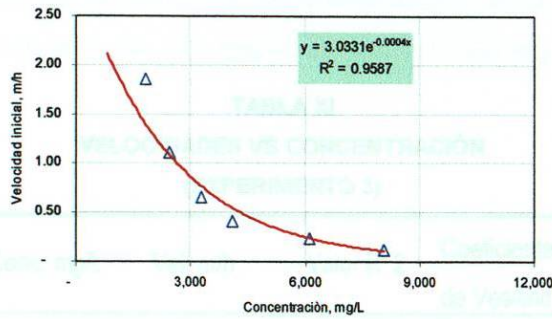


Figura 6.22. Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 1)

TABLA X
VELOCIDADES VS CONCENTRACIÓN
(EXPERIMENTO 2)

Conc, mg/L	Vel, m/h	Valor R ²	Coefficientes de Vesilind
1,550	1.7914	0.9987	Vo
2,340	1.3800	0.9944	3.1833
3,120	0.8700	0.9871	n
3,920	0.6000	0.9709	0.0004
6,080	0.4200	0.9847	R ²
8,150	0.1200	1.0000	0.9665

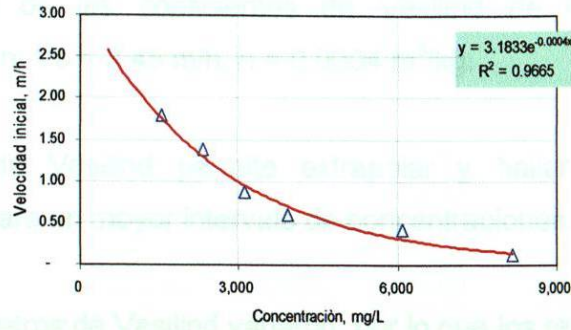


Figura 6.23. Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 2)

TABLA XI
VELOCIDADES VS CONCENTRACIÓN
(EXPERIMENTO 3)

Conc, mg/L	Vel, m/h	Valor R ²	Coefficientes de Vesilind
1,650	1.7497	0.9936	Vo
2,450	1.3114	0.9968	4.1480
3,260	0.8657	0.9925	n
4,080	0.6233	0.9975	0.0005
6,120	0.3343	0.9516	R ²
8,160	0.0713	0.8639	0.9719

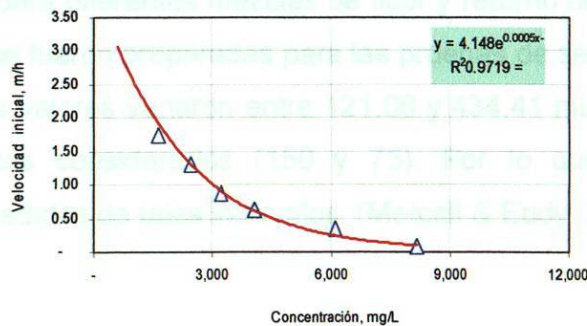


Figura 6.24. Gráfica de la concentración (mg/L) vs velocidad inicial (m/h) (Experimento 3)

El promedio de los coeficientes de Vesilind de los experimentos realizados, fueron: $V_0 = 3.45 \text{ m/h}$, $n = 0.0004 \text{ m}^3/\text{kg}$.

El modelo de Vesilind permite extrapolar y hallar velocidades de sedimentación para un mayor intervalo de concentraciones.

Estos parámetros de Vesilind variaron, por lo que los resultados permiten concluir que el lodo de la PTAR no se encuentra floculando bien, por lo cual no hay buena sedimentación. (Cabe aclarar, como se ha mencionado anteriormente, que en la etapa de experimentación sólo se encontraba en operación un clarificador de los dos que tiene la planta). (Metcalf & Eddy, 2003)

Se obtuvieron resultados para los casos de los experimentos, los coeficientes de correlación (R^2), la mayoría cercanos a la unidad, lo que indica que las mediciones se realizaron adecuadamente.

6.4 Índice volumétrico de los lodos.

Se procedió a determinar el índice volumétrico de los lodos (IVL), con la ecuación 3.3, para diferentes mezclas de licor y retorno de lodos (Ver tabla XII), mismas que fueron preparadas para las pruebas de sedimentabilidad en la columna. Los valores variaron entre 121.06 y 434.41 mL/g, estando fuera de los intervalos considerados (150 y 75). Por lo que la mayoría se encuentran excedidos de tales intervalos. (Metcalf & Eddy, 2003).

TABLA XII

IVL DE LOS 3 EXPERIMENTOS

Muestra	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Conc, (mg/L)	IVL (mL/g)	Conc, (mg/L)	IVL (mL/g)	Conc, (mg/L)	IVL (mL/g)
1	1,860	379.93	1,550	434.41	1,650	412.12
2	2,470	323.89	2,340	324.79	2,450	315.65
3	3,300	270.71	3,120	275.64	3,260	263.80
4	4,140	225.44	3,920	234.69	4,080	225.49
5	6,120	159.04	6,080	156.80	6,120	157.95
6	8,100	121.81	8,150	121.06	8,160	122.55

6.5 Flujo de sólidos.

A continuación, en la Tabla XIII, se muestran las concentraciones respectivas, así como las velocidades iniciales y valores de los flujos obtenidos.

TABLA XIII

VALORES PARA LA CURVA DEL FLUJO DE SÓLIDOS

Conc., mg/L	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Vel_ini, m/h	Flujo, Kg/m ² /h	Vel_ini, m/h	Flujo, Kg/m ² /h	Vel_ini, m/h	Flujo, Kg/m ² /h
500	2.48	1.24	2.61	1.30	4.15	-
1,000	2.03	2.03	2.13	2.13	3.23	1.62
1,500	1.66	2.50	1.75	2.62	2.52	2.52
2,000	1.36	2.73	1.43	2.86	1.96	2.94
2,500	1.12	2.79	1.17	2.93	1.53	3.05
3,000	0.91	2.74	0.96	2.88	1.19	2.97
3,500	0.75	2.62	0.78	2.75	0.93	2.78
4,000	0.61	2.45	0.64	2.57	0.72	2.52
4,500	0.50	2.26	0.53	2.37	0.56	2.25
5,000	0.41	2.05	0.43	2.15	0.44	1.97
6,000	0.28	1.65	0.29	1.73	0.34	1.70
7,000	0.18	1.29	0.19	1.36	0.21	1.24
8,000	0.12	0.99	0.13	1.04	0.13	0.88
9,000	0.08	0.75	0.09	0.78	0.08	0.61
10,000	0.06	0.56	0.06	0.58	0.05	0.41
12,000	0.02	0.30	0.03	0.31	0.03	0.28
14,000	0.01	0.16	0.01	0.16	0.01	0.12
16,000	0.01	0.08	0.01	0.08	0.00	0.05
18,000	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.02
20,000	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01

Con la información recabada en la tablas anteriores se graficó para obtener la curva de flujo de los sólidos. (Ver Figura 6.25, 6.26 y 6.27)

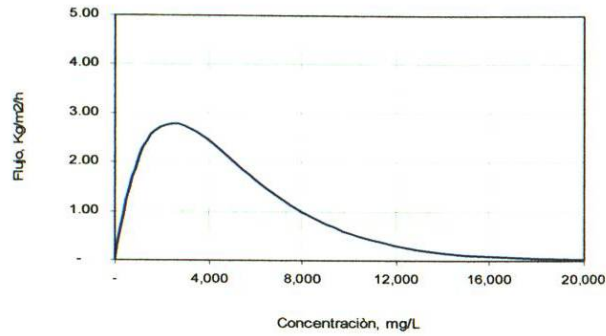


Figura 6.25. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h).

Experimento 1

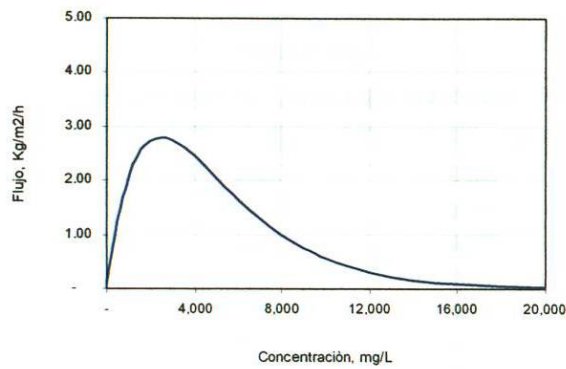


Figura 6.26. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h).

Experimento 2

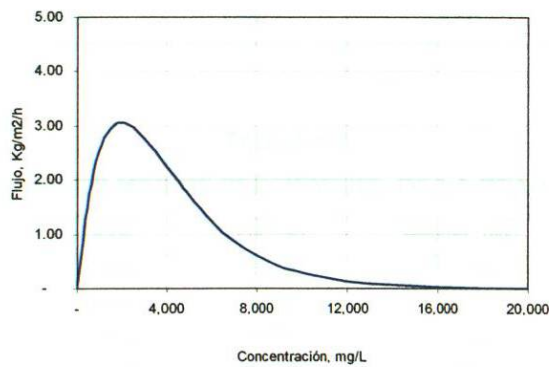


Figura 6.27. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h).

Experimento 3

En este caso, el flujo de sólidos se simuló, para concentraciones que van desde 0 hasta 16,000 mg/L, lo cual permitirá considerar casi todas las concentraciones posibles que existan en un clarificador secundario, dependiendo de la altura que se considere, a partir del fondo del clarificador.

6.6 Punto de estado.

En las siguientes tablas, la XIV y la XV, se muestran los datos recabados en los meses en que se realizaron los experimentos para obtener el punto de estado.

TABLA XIV
DATOS MES DE JULIO, DE LA PTAR

Fecha	Licor mg/L	Retorno mg/L
06-jul	4,040	5,260
07-jul	4,000	6,380
08-jul	4,660	6,780
11-jul	5,260	6,880
14-jul	3,980	8,100
15-jul	3,900	8,040
16-jul	4,040	8,500
21-jul	4,440	8,420
23-jul	3,980	8,600
25-jul	4,260	9,160
28-jul	9,700	9,040
30-jul	3,980	8,940
Promedio	4,686	7,841

TABLA XV
DATOS MES DE SEPTIEMBRE, DE LA PTAR

Fecha	Licor mg/L	Retorno mg/L
03-sep	2,380	15,780
08-sep	2,920	7,080
10-sep	4,200	7,734
19-sep	4,400	5,760
22-sep	4,240	7,760
29-sep	5,020	7,900
Promedio	3,863	9,669

En la Tabla XVI se muestran los datos necesarios del clarificador, para así obtener los datos necesarios del análisis del punto de estado.

TABLA XVI
DATOS DEL CLARIFICADOR

		Experimentos		
		1	2	3
No de clarificadores en operación		1.00	1.00	1.00
Diámetro	m	22.50	22.50	22.50
Área	m ²	397.61	397.61	397.61
Datos del clarificador C				
Q	l/s	70.00	70.00	70.00
Qr	l/s	40.00	40.00	40.00
Qr/Q		0.57	0.57	0.57
SSLM (ordenada del punto de estado)	mg/L	4,140.00	3,920.00	4,080.00
Absisa del punto de estado	Kg/m ² /h	2.62	2.48	2.5859
Pendiente Q/A	m ³ /m ² /d	0.0006	0.0006	0.0006
Absisa segundo punto	Kg/m ² /h	4.12	3.90	4.0635
Pendiente 2		- 0.0004	- 0.0004	- 0.0004

Con la información recabada, para las Tablas XVII – XIX se obtuvieron las siguientes graficas de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h) (Ver figuras 6.28, 6.29 y 6.30). Con el método que se señaló en el punto 5.4.1.

TABLA XVII
DATOS PARA PLOTEO DEL PUNTO DE ESTADO
(EXPERIMENTO 1)

Conc, mg/L	Flujo	Q/A	Qr/Q
-	-	-	4.12
500	1.24	0.32	3.94
1,000	2.03	0.63	3.76
1,500	2.50	0.95	3.58
2,000	2.73	1.27	3.40
2,500	2.79	1.58	3.22
3,000	2.74	1.90	3.04
3,500	2.62	2.22	2.86
4,000	2.45	2.54	2.67
4,500	2.26	2.85	2.49
5,000	2.05	3.17	2.31
6,000	1.65	3.80	1.95
7,000	1.29	4.44	1.59
8,000	0.99	5.07	1.23
9,000	0.75	5.70	0.86
10,000	0.56	6.34	0.50

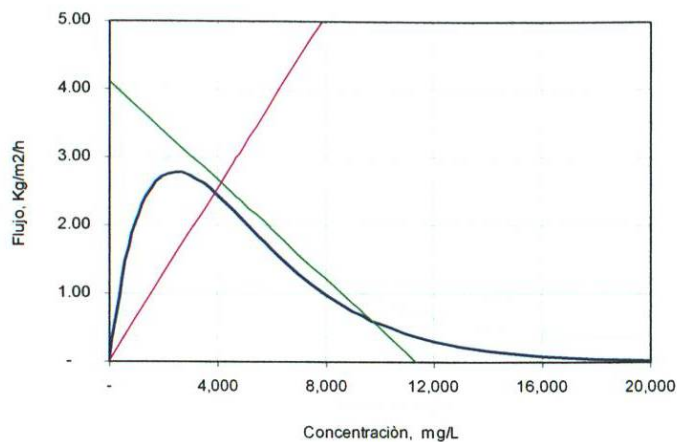


Figura 6.28. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h).
(Experimento 1)

TABLA XVIII
DATOS PARA EL PLOTEO DEL PUNTO DE ESTADO
(EXPERIMENTO 2)

Conc, mg/L	Flujo	Q/A	Qr/Q
-	-	-	3.90
500.00	1.30	0.32	3.72
1,000.00	2.13	0.63	3.54
1,500.00	2.62	0.95	3.36
2,000.00	2.86	1.27	3.18
2,500.00	2.93	1.58	3.00
3,000.00	2.88	1.90	2.82
3,500.00	2.75	2.22	2.64
4,000.00	2.57	2.54	2.46
4,500.00	2.37	2.85	2.27
5,000.00	2.15	3.17	2.09
6,000.00	1.73	3.80	1.73
7,000.00	1.36	4.44	1.37
8,000.00	1.04	5.07	1.01
9,000.00	0.78	5.70	0.64
10,000.00	0.58	6.34	0.28

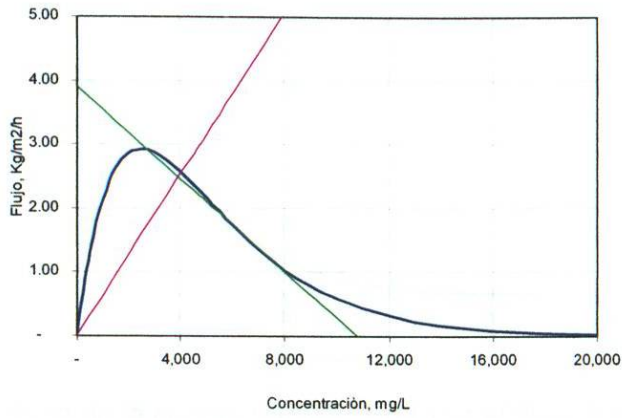


Figura 6.29. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h).
(Experimento 2)

TABLA XIX
DATOS PARA EL PLOTEO DEL PUNTO DE ESTADO.
(EXPERIMENTO 3)

Conc, mg/L	Flujo	Q/A	Qr/Q
-	-	-	4.06
500	1.62	0.32	3.88
1,000	2.52	0.63	3.70
1,500	2.94	0.95	3.52
2,000	3.05	1.27	3.34
2,500	2.97	1.58	3.16
3,000	2.78	1.90	2.98
3,500	2.52	2.22	2.80
4,000	2.25	2.54	2.61
4,500	1.97	2.85	2.43
5,000	1.70	3.17	2.25
6,000	1.24	3.80	1.89
8,000	0.61	5.07	1.17
10,000	0.28	6.34	0.44

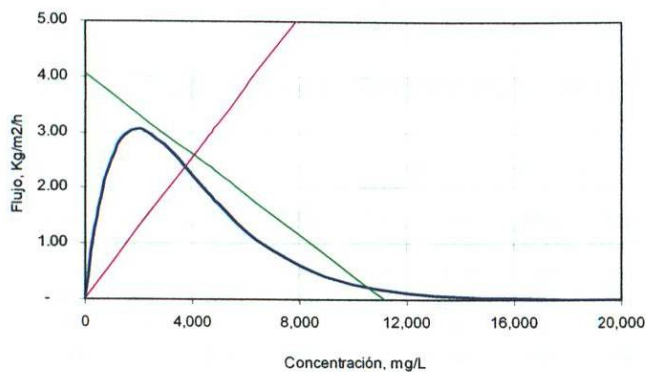


Figura 6.30. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo ($\text{Kg/m}^2/\text{h}$).
(Experimento 3)

Según lo muestran las Figuras 6.28 y 6.30, es posible determinar que el funcionamiento del clarificador, no está operando como se requiere, ya que la línea verde, que es la línea crítica, debe estar dentro de la curva de flujo de los sólidos. Es necesario enfatizar que los resultados, en la figura 6.29, son satisfactorios, no obstante que los experimentos se realizaron operando sólo un clarificador de los dos existentes.

A continuación se presentan los datos operativos de la planta, para el año 2008 (también mostrada en el capítulo 2). Así como la respectiva gráfica de estos datos. (Ver Figura 6.31)

TABLA XX

OPERACIÓN DE SST DEL AÑO 2008, EN LA PTAR.

PTAR	2008											PROM
	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	
Vol, m ³ /mes	175,910	169,002	177,336	177,351	177,483	173,002	177,599	177,570	171,022	189,407	184,360	177,277
Vol, m ³ /d	5,675	5,828	5,721	5,912	5,725	5,767	5,729	5,728	5,701	6,110	6,145	5,822
DBO inf, mg/L	436	445	464	432	392	368	338	266	290	265	328	366
NH3 inf, mg/L	64	66	67	57	60	52	56	56	53	57	66	59
DQO inf, mg/L	908	1,019	1,155	973	905	947	805	895	964	919	914	946
SST inf, mg/L	330	396	384	358	453	318	322	275	457	258	326	352
DBO eff, mg/L	47	35	16	29	35	32	13	10	9	13	12	23
NH3 eff, mg/L	51	22	17	36	32	37	11	22	12	12	4	23
DQO eff, mg/L	277	86	71	83	99	89	64	57	47	57	58	90
SST eff, mg/L	53	19	11	22	26	34	12	11	12	15	12	21

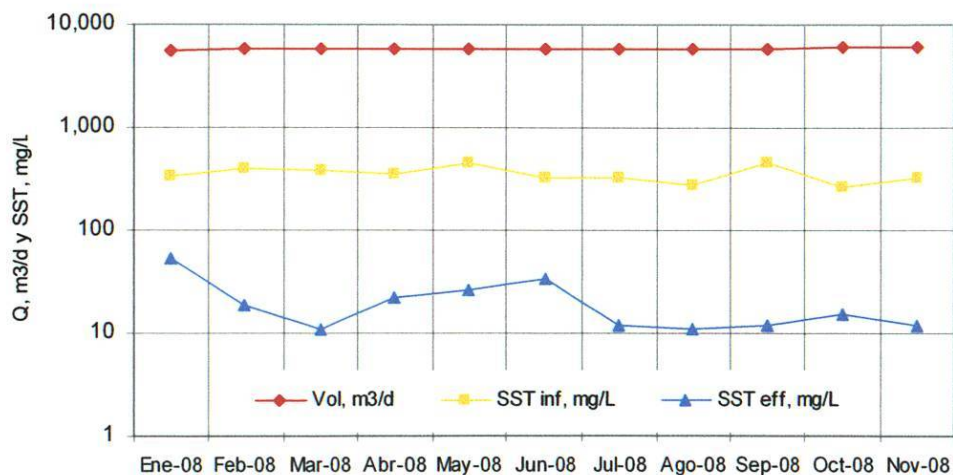


Figura 6.31. Gráfica operativa de SST, del año 2008

Sin embargo, los resultados mostrados en la Tabla XX, y en la Figura 6.31, dejan como alternativa, que gracias a la tecnología del mecanismo FEDWA TOW BRO, la calidad del efluente se ha mantenido en el intervalo adecuado.



CAPÍTULO 7 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Según lo mencionado en los capítulos anteriores, la finalidad del proceso de sedimentación es: (1) Conseguir un efluente clarificado con un mínimo de sólidos suspendidos (clarificación). (2) Asegurar la consistencia del lodo de retorno (espesamiento). En esto radica el análisis presentado.

Las pruebas de sedimentación en columna fueron presentadas en este trabajo de tesis. Las tablas V, VI y VII muestran las diluciones que se realizaron para evaluar así la calidad de los lodos activados en la PTAR bajo estudio. Éstos fueron los escenarios en que se llevó a cabo este trabajo.

Las pruebas realizadas en la planta de estudio arrojaron resultados donde, en dos experimentos, se muestra que la calidad del lodo no es buena, (la línea crítica debe estar dentro de la curva de flujo de sólidos (Ver Figuras 6.28, 6.30); esto se debe a diversas causas; principalmente a la alta concentración de SST con que se encuentra operando la planta, o tal vez la presencia de organismos filamentosos en el lodo de la planta, que contribuyen también para que esta concentración se abulte aún más.

Se tomó en cuenta un promedio de los coeficientes de Vesilind y el resultado que se obtuvo fue de: $V_0 = 3.45$ m/h y $n = 0.0004$ m³/kg. Y así como se mencionó en el Capítulo 6, los resultados que se obtuvieron para el coeficiente de correlación (R^2) se encuentran cercanos a la unidad, lo cual indica que se realizaron satisfactoriamente.

Se procedió a obtener la gráfica de la concentración contra el flujo, en promedio, para los tres experimentos.

Retomando los datos del clarificador, se obtuvieron los datos para el ploteo del punto de estado. Y con esta información se obtuvo el punto de estado y la curva de flujo de sólidos, con el método realizado en el punto 5.4.1.

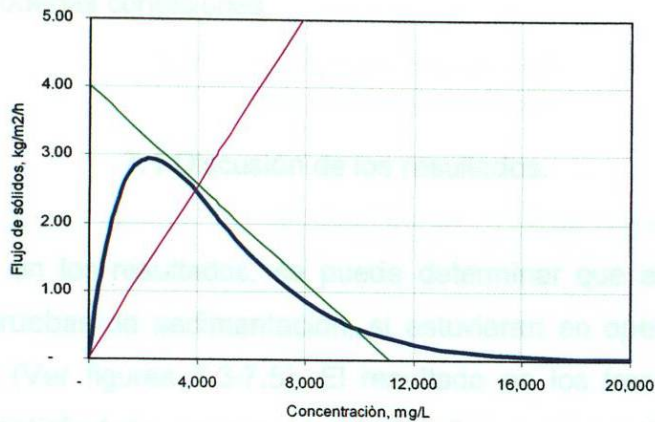


Figura 7.1. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h). (Con un solo clarificador)

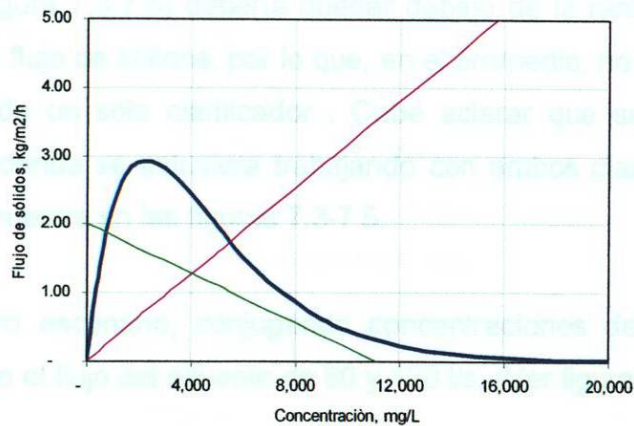


Figura 7.2. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h). (Con dos clarificadores)

En la figura 7.1 se observa que el promedio de los experimentos realizados no se encuentra conforme a lo estipulado; por lo cual se puede pensar que no existe buen funcionamiento; en cambio, en la figura 7.2 se plasma que los resultados están dentro de la curva de flujo de sólidos, lo cual indica que está en una posición conveniente; es decir, que se encuentra operando en buenas condiciones.

7.1 Discusión de los resultados.

Con base en los resultados, se puede determinar que al momento de realizar las pruebas de sedimentación, si estuvieran en operación los dos clarificadores (Ver figuras 7.3-7.5). El resultado en los tres experimentos hubiera sido satisfactorio, ya que en dos de ellos se presentó un colapso y se observa la "falla" en la operación del clarificador; esto, operando un solo clarificador. Para considerar que la unidad, en este caso el clarificador, opera en buenas condiciones; la línea de retorno (línea verde) que une a ambos puntos (Ver figura 7.3-7.5) debería quedar debajo de la rama descendente de la curva de flujo de sólidos, por lo que, en el promedio, no es satisfactoria la operación de un solo clarificador. Cabe aclarar que se construyó un escenario en donde se estuviera trabajando con ambos clarificadores, y el resultado se muestra en las figuras 7.3-7.5.

Se realizó otro escenario, conjugando concentraciones de 2000 y 2500 mg/L, así como el flujo del efluente de 80 y 120 l/s. (Ver figura 7.6)

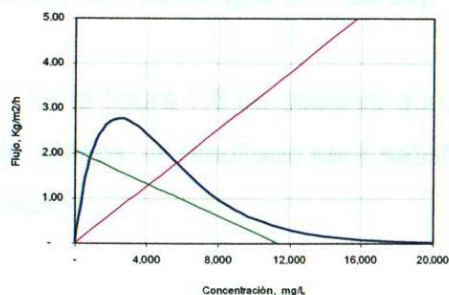


Figura 7.3 Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h). (Experimento 1)

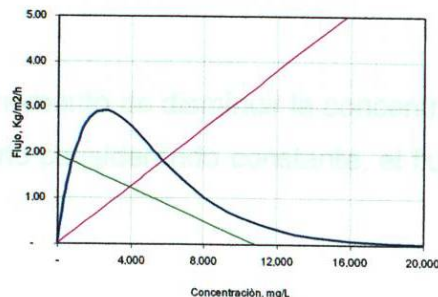


Figura 7.4 Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h). (Experimento 2)

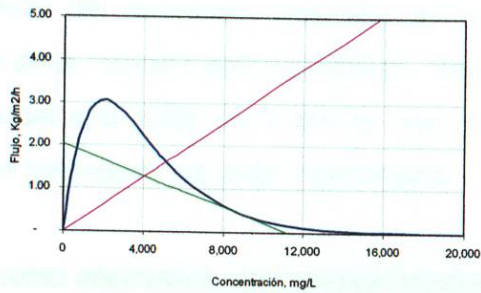


Figura 7.5 Gráfica de la concentración (mg/L) vs flujo (Kg/m²/h). (Experimento 3)

En las figuras, de la 7.3 a la 7.5 es posible observar que el funcionamiento de los dos clarificadores es el óptimo para la planta, por lo que la operación en ésta es la adecuada.

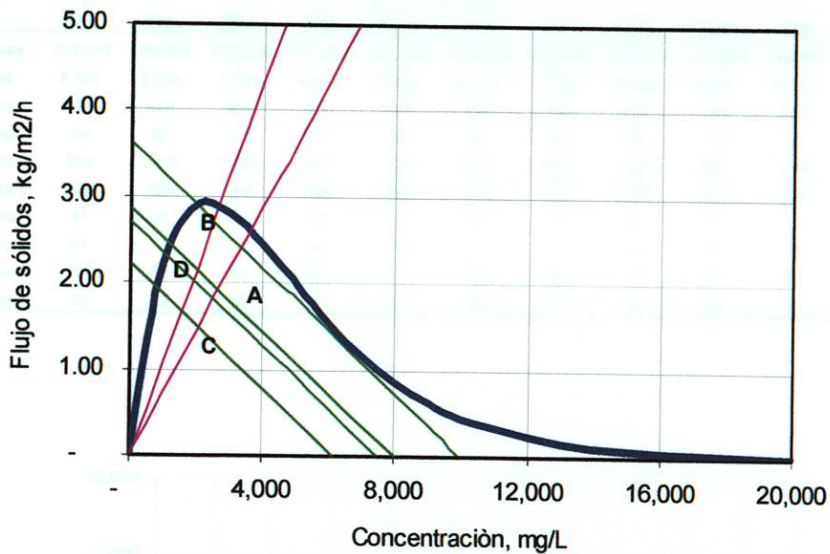


Figura 7.6. Gráfica de la concentración (mg/L) vs el flujo (Kg/m²/h), Promedio de los experimentos con un clarificador. (A SSLM =2500mg/L Q= 80 l/s, B SSLM =2500mg/L Q= 120 l/s, C SSLM= 2000mg/L Q= 80 l/s, D SSLM =2000mg/L Q= 120 l/s).

En la figura 7.6 se observa que, al momento de disminuir la concentración de sólidos, el resultado será satisfactorio considerando constante, el flujo de retorno.

Independientemente del promedio realizado de los experimentos, así como la disminución de la concentración de SSLM, hay que enfatizar que los datos operativos del año 2008, en la planta, son satisfactorios, aún con los resultados que se obtuvieron en cada experimento.

Lo anterior deja como alternativa, que gracias también a la tecnología del mecanismo utilizado, no existe duda de que la calidad del efluente es buena. (Ver figura 7.7)

TABLA XX

OPERACIÓN DE SST DEL AÑO 2008 EN LA PTAR

PTAR	2008											PROM
	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	
Vol, m ³ /mes	175,910	169,002	177,336	177,351	177,483	173,002	177,599	177,570	171,022	189,407	184,360	177,277
Vol, m ³ /d	5,675	5,828	5,721	5,912	5,725	5,767	5,729	5,728	5,701	6,110	6,145	5,822
DBO inf, mg/L	436	445	464	432	392	368	338	266	290	265	328	366
NH3 inf, mg/L	64	66	67	57	60	52	56	56	53	57	66	59
DQO inf, mg/L	908	1,019	1,155	973	905	947	805	895	964	919	914	946
SST inf, mg/L	330	396	384	358	453	318	322	275	457	258	326	352
DBO eff, mg/L	47	35	16	29	35	32	13	10	9	13	12	23
NH3 eff, mg/L	51	22	17	36	32	37	11	22	12	12	4	23
DQO eff, mg/L	277	86	71	83	99	89	64	57	47	57	58	90
SST eff, mg/L	53	19	11	22	26	34	12	11	12	15	12	21

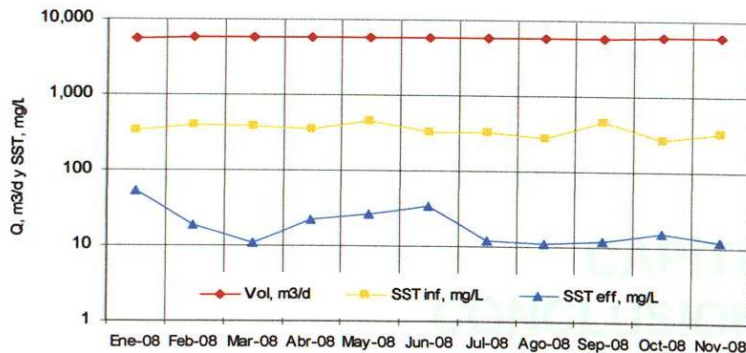


Figura 7.7. Grafica Operativa de SST del Año 2008.



La eficiencia del proceso de sedimentación depende de los componentes del agua residual, así como de las características físicas y químicas de los sólidos. Las curvas de sedimentación permiten determinar el tipo de sólidos y de sólidos suspendidos y un tipo de sedimentación, como por ejemplo, sedimentación flocculante (García et al., 2007).

Es por ello que conviene tener presente el tipo de sedimentación que se va a presentar en los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales, para poder diseñar los tanques de sedimentación primaria de acuerdo a las características de los sólidos que se van a sedimentar, así como de las características de los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales.

El tipo de sedimentación que se va a presentar en los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales, depende de las características de los sólidos que se van a sedimentar, así como de las características de los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales.

A los tanques de sedimentación primaria se les debe diseñar de acuerdo a las características de los sólidos que se van a sedimentar, así como de las características de los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, el tipo de sedimentación que se va a presentar en los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales, depende de las características de los sólidos que se van a sedimentar, así como de las características de los tanques de sedimentación primaria de una planta de tratamiento de aguas residuales.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.

La eficiencia del proceso de lodos activados, en el tratamiento de agua residual, está determinada por el desempeño adecuado de los clarificadores, los cuales deben producir un efluente con baja concentración de sólidos suspendidos y un lodo suficientemente espeso para su retorno al reactor. (Fall, *et al.*, 2007)

Es por ello que se realizaron los análisis necesarios para comprobarlo. El análisis del flujo de los sólidos, así como el del punto de estado dieron la información necesaria para interpretar el objetivo esencial de este proyecto, que es la determinación de las características de sedimentación del SSLM en la planta.

El flujo de sólidos debido a la sedimentación depende de la concentración de los sólidos y de las características de sedimentación de los mismos, en esa concentración.

A bajas concentraciones (por debajo de 1000 mg/L) el movimiento de sólidos debido a la gravedad es pequeño, ya que la velocidad de sedimentación de los sólidos es más o menos independiente de la concentración. Si la velocidad permanece esencialmente la misma, a medida que aumenta la concentración de sólidos, el flujo total debido a la gravedad empieza a aumentar al crecer la concentración de los sólidos. A muy altas concentraciones de sólidos, la velocidad de sedimentación zonal se aproxima a cero, y el flujo total de sólidos debido a la gravedad vuelve a convertirse en un valor extremadamente bajo. Por consiguiente, puede

concluirse que el flujo de sólidos debido a la gravedad debe pasar por un valor máximo al aumentar de concentración.

Esto se puede comprobar con los datos, ya que al trazar la curva correspondiente a los valores de flujo de sólidos, se puede apreciar cómo las concentraciones pequeñas tienen una velocidad mayor, que es independiente de la concentración dada. Y así mismo, en las altas concentraciones de sólidos, la velocidad se aproxima a cero.

Con base en los resultados obtenidos por el análisis del punto de estado, se concluye que el promedio arroja que la planta opera en buenas condiciones, debido a que la línea de retorno que une ambos puntos queda debajo de la rama descendente de la curva del flujo de los sólidos, lo que se observa en la figura 7.2, con la operación de ambos clarificadores.

Los valores del índice volumétrico de los lodos (IVL), fueron de: 121.06 y 434.41 mL/g, estando fuera de los intervalos considerados (150 y 75); por lo que se muestra que el lodo de la planta no se encuentra floculando bien, por lo cual no hay buena sedimentación. (Metcalf & Eddy, 2003)

Los coeficientes de Vesilind fueron: $V_o = 3.45$ m/h y $n = 0.0004$ m³/kg. Estos fueron identificables a partir de los datos experimentales.

Es necesario enfatizar que, de acuerdo con los datos operativos de la Planta en el año 2008, el funcionamiento de ésta se encuentra en condiciones óptimas, por lo que también gracias a la tecnología del mecanismo FEDWA TOW BRO, la calidad del efluente es buena.

La Planta fue diseñada para un flujo de 200 lps, y según los datos operativos del año 2008, así como los resultados, al tener en operación ambos clarificadores, destacan que el clarificador de la planta está funcionando según lo supuesto en el diseño.

Las posibles causas de un mal funcionamiento del proceso de lodos activados puede radicar en que el mismo se abulte, o la denitrificación, o a la posible presencia de organismos filamentosos. Cabe aclarar que las pruebas se realizaron con la operación de un solo clarificador.

8.3 Recomendaciones.

- Es necesario realizar periódicamente la determinación de las características de sedimentación de los lodos, así como la verificación de las condiciones operacionales, para F/M, la edad de los lodos, concentración del licor mezclado, así como en la tasa de retorno, ya que esto mejorará para el rendimiento de la misma planta. Además de determinar los sólidos suspendidos para la evaluación de la concentración de los residuos, así como para medir la efectividad de las unidades de tratamiento.
- Es evidente que el lodo está bien sedimentando, pero será necesario actuar, cuando éste no cumpla esta condición, por lo que sería recomendable verificar el sistema diariamente, para prevenir cualquier tipo de problema.
- De acuerdo con los datos y los resultados de los experimentos y con base a las características actuales del proceso se ve que no son las mejores, por lo que si se continúa con esta rutina, se requiere la utilización de ambos clarificadores, para que éstos cubran el total de la carga diaria.
- Reducir la concentración del licor mezclado, para mejorar el funcionamiento de la planta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Griborio Alonso, Paul Pitt and John Alex McCorquodale (2008). Clarifier Processes Revealed, Water Environment & Technology 20 (10) pag 52-58.
- APHA 1989. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 17th ed, APHA, AWWA y WPCF.
- Bureau of Land & Quality Water (2003). Clarifier performance Article 3 of 4, O & M Newsletter, Department of Environmental Protection, State of Maine, 4 p.
- Wilén* B.-M., D. Lumley and A. Nordqvist. Dynamics in maximal settling capacity in an activated sludge treatment plant with highly loaded secondary settlers. Water Sci. Technol. 50 (7) pag. 187-194.
- Burt* D. J., BEng, MSc, CEng, MIMechE, J. Ganeshalingam+, BSc, MSc, PhD, Amócheme. (2005) Design and Optimisation of final Clarifier performance with CFD modelling of final, Presented at the CIWEM / Aqua Enviro joint conference, Design and Operation of Activated Sludge Plants, 13 P.
- Parker D.S. , E.J. Wahlberg and H. Z. Gerges (2000) Improving secondary clarifier performance and capacity using a structured diagnostic approach. Water Sci. Technol. 41 (9) pag. 201-208.
- Fall, Ch., Soto M.E., Loaiza J., Martínez L., (2007) "Evaluación de un clarificador secundario en una planta de tratamiento de aguas residuales" Ingenierías, vol. X, no. 35, pp. 13-19.
- Hulsbeek J.J.W., Roeleveld P.J. and Van Loosdrecht M.C.M. (2002) A Practical Protocol for Dynamic Modelling of Activated Sludge Systems, Water Science & Technology, vol 45 (6), pp 127-136
- Kazmi A.A. and Furumai H. (2000). A Simple settling model for batch activated sludge process. Water Sci. Technol. 42 (3-4) pag.9-16.
- Langergraber G., Reijer L., Winkler S., Alex J., Weise J., Owerdieck C. Ahnert M., Simon J. and Maurer M. (2004), "A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants". Water Science & Technology, vol 50 (7), pp 131-138



- Metcalf & Eddy, (2003). "Wastewater & Engineering: Treatment, Disposal and Reuse", Mc Graw Hill, 4 edición.
- Metcalf & Eddy, (1994). "Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales", Labor, 3 edición.
- MOP FD-8, Water Pollution Control Federation WPCF, "Clarifier Design", Manual of Practice FD-8, Facilities Development, 1985
- MOP MO-9, Water Environment Federation, WEF "Activated Sludge", Manual of Practice OM-9, Operations and Maintenance, 1987
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Romero Rojas, J.A. (1999), "Potabilización del agua", ISN 970-15-0400-03 Alfaomega, 3 edición.
- Vanrolleghem P., Schueren D., Kirkilion J., Grijspeerd K., Willems P., and Vertreate (1996) "On-line cuantification off settling properties with in-sensor-experiments in an automated settlometer". Water Sci. Technol. 33 (1) pag.37-51.
- Vanrolleghem P., Grijspeerd K., and Vertreate W.(1995). Selection of one-dimensional sedimentation: models for on-line use. Water Sci. Technol. 31 (2) pag. 193-204.
- Wahlberg Eric J., 1996. Activated Sludge Solids Inventory Control Using the State Point Concept, Central States Water Environment Association Enhancing the Design and Operation of Activated Sludge Plants Madison, Wisconsin, 17 P.
- WERF (2003), Methods for wastewater characterization in activated sludge modelling, Water Environment Research Federation (WERF), Alexandria, VA, WERF publication N° 9 WWF3, pp 596, 1er Ed.
- Westech (2002), Protocolo de Pruebas de Sedimentación, <http://www.westech.inc.com>
- <http://www.aquanova.cz/index.htm>
<http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm#def>
http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas
<http://www.geocities.com/jdelosri/procesos.htm>
<http://www.siemens.com/water> (anteriormente USFILTER)



ANEXOS

TABLA I

**PRUEBAS DE SEDIMENTABILIDAD
(EXPERIMENTO 1 FECHA: 31 JULIO)**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
t, h	1,860 mg/L	2,470 mg/L	3,300 mg/L	4,140 mg/L	6,120 mg/L	8,100 mg/L
-	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
0.03	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52	1.51
0.07	1.49	1.50	1.51	1.52	1.51	1.50
0.10	1.46	1.48	1.50	1.50	1.51	1.50
0.13	1.41	1.45	1.48	1.49	1.50	1.50
0.17	1.34	1.40	1.47	1.48	1.49	1.49
0.20	1.27	1.35	1.44	1.46	1.49	1.49
0.23	1.21	1.31	1.41	1.44	1.47	1.48
0.27	1.13	1.25	1.38	1.42	1.46	1.48
0.30	1.06	1.20	1.34	1.40	1.46	1.48
0.33	1.00	1.15	1.31	1.38	1.44	1.47
0.37	0.93	1.10	1.27	1.36	1.43	1.47
0.40	0.88	1.06	1.24	1.34	1.42	1.46
0.43	0.82	1.01	1.21	1.32	1.40	1.46
0.47	0.76	0.97	1.17	1.30	1.39	1.46
0.50	0.72	0.93	1.14	1.28	1.37	1.45
0.53	0.66	0.88	1.10	1.26	1.35	1.45
0.57	0.62	0.84	1.07	1.24	1.33	1.44
0.60	0.58	0.81	1.04	1.23	1.32	1.44
0.63	0.55	0.78	1.00	1.21	1.32	1.44
0.67	0.52	0.75	0.97	1.19	1.30	1.43
0.70	0.50	0.72	0.95	1.17	1.30	1.43
0.73	0.47	0.70	0.92	1.16	1.29	1.42
0.77	0.45	0.67	0.89	1.14	1.28	1.42
0.80	0.43	0.65	0.87	1.13	1.27	1.42
0.83	0.43	0.64	0.84	1.11	1.26	1.41
0.87	0.41	0.62	0.82	1.09	1.25	1.41
0.90	0.38	0.59	0.79	1.08	1.24	1.40
0.93	0.37	0.57	0.77	1.07	1.23	1.40
0.97	0.35	0.55	0.76	1.05	1.22	1.39
1.00	0.34	0.54	0.74	1.05	1.21	1.39



TABLA II
PRUEBAS DE SEDIMENTABILIDAD
(EXPERIMENTO 3 FECHA: 22 SEPTIEMBRE)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
t, h	1,650 mg/L	2,450 mg/L	3,260 mg/L	4,080 mg/L	6,120 mg/L	8,160 mg/L
-	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
0.03	1.49	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52
0.07	1.45	1.47	1.49	1.50	1.51	1.52
0.10	1.39	1.43	1.47	1.50	1.51	1.52
0.13	1.34	1.39	1.43	1.48	1.50	1.52
0.17	1.29	1.35	1.40	1.46	1.49	1.52
0.20	1.23	1.31	1.38	1.43	1.47	1.51
0.23	1.17	1.26	1.35	1.41	1.46	1.51
0.27	1.09	1.21	1.32	1.39	1.46	1.50
0.30	1.02	1.16	1.29	1.38	1.45	1.50
0.33	0.96	1.11	1.26	1.35	1.44	1.50
0.37	0.90	1.06	1.22	1.33	1.42	1.49
0.40	0.84	1.01	1.18	1.31	1.41	1.49
0.43	0.79	0.98	1.16	1.29	1.40	1.49
0.47	0.73	0.93	1.12	1.28	1.39	1.48
0.50	0.69	0.89	1.09	1.26	1.38	1.48
0.53	0.64	0.85	1.06	1.24	1.36	1.47
0.57	0.60	0.80	1.03	1.22	1.35	1.47
0.60	0.56	0.76	1.00	1.20	1.34	1.47
0.63	0.53	0.73	0.96	1.18	1.33	1.46
0.67	0.50	0.70	0.93	1.16	1.32	1.46
0.70	0.48	0.68	0.91	1.15	1.31	1.45
0.73	0.46	0.66	0.88	1.13	1.30	1.45
0.77	0.44	0.63	0.85	1.12	1.29	1.45
0.80	0.42	0.61	0.84	1.11	1.28	1.44
0.83	0.41	0.59	0.81	1.10	1.27	1.44
0.87	0.40	0.58	0.79	1.09	1.26	1.43
0.90	0.37	0.55	0.76	1.07	1.25	1.43
0.93	0.36	0.53	0.74	1.06	1.24	1.43
0.97	0.36	0.54	0.73	1.04	1.23	1.42
1.00	0.35	0.53	0.71	1.04	1.23	1.42

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Elisa Margarita Gómez Páez

Candidato para el grado de

Maestra en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DEL LICOR MEZCLADO, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL, EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L.

Campo de Estudio: Ingeniería Ambiental

Biografía:

Datos Personales: Nacida en Monterrey, Nuevo León el 21 de Abril de 1982, hija de Jacinto Gómez Sosa y Herlinda Páez Páez.

Educación:

Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Ingeniero Civil.

Experiencia Profesional:

Personal Profesional no Docente del Departamento de Ingeniería Ambiental, del Instituto de Ingeniería Civil de la U.A.N.L. desde el 1º de agosto de 2005, a la fecha.

Colaborando en diferentes estudios e investigaciones sobre Ecología y Medio Ambiente. Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental en diferentes modalidades; preventivo, general y específico; a nivel Estatal y Federal dentro del Estado de Nuevo León y entidades vecinas.

