



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
(AMBIENTAL)

TITULO

"ESTUDIO DE ESPESAMIENTO DE LODOS
BIOLÓGICOS GENERADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CERRO
DE LA ESTRELLA", MEDIANTE EL PROCESO DE
FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO"

PRESENTADA POR:
JOSÉ MARÍA MARTÍNEZ GONZÁLEZ

JURADO DESIGNADO

Dra. Georgina Fernández Villagómez
M.C. Constantino Gutiérrez Palacios
Dr. Pedro Martínez Pereda
M.I. Ana Elisa Silva Martínez
M.I. Manuel Heredia Durán



CIUDAD UNIVERSITARIA

Marzo de 1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

01177
14/
29j
259322



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A José María y Blanca Andrea, mis hijos.

Agradecimientos

Mi eterna gratitud a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por el invaluable esfuerzo que ésta hace en la formación profesional de todos los que asistimos a ella. Asimismo deseo expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron para que esta tesis fuera concluida.

- M.I. Rafael López Ruiz (jefe del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental), Ing. Alba Vázquez González (jefa del Laboratorio del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental), M.C. Constantino Gutiérrez Palacios (jefe del Laboratorio de Ingeniería Ambiental, DEPI), Ing. Enrique César Valdez, M.I. Alberto López López, Ing. Victor Aguilar Urcid y especialmente a los operadores de la planta "Cerro de la Estrella" Sr. Ramiro y Sr. Angel.
- A mi director de tesis, Dr. Pedro Martínez Pereda.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al gobierno de México.
- En especial agradezco a mi esposa Blanca Hortencia, por su cariño y apoyo incondicional.
- A mis padres Sr. Francisco Martínez Casas y Sra. Estela González Quiroz.
- A los Maestros en Ingeniería Jaime Valdivia Urrea y Carlos Valdivia Urrea, compañeros y amigos los cuales siempre han sido y serán símbolo de motivación.

**ESTUDIO DE ESPESAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS GENERADOS EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CERRO DE LA
ESTRELLA", MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO.**

Presenta: José María Martínez González

CONTENIDO

LISTAS DE TABLAS Y FIGURAS	L-1
GLOSARIO DE TÉRMINOS	L-4
INTRODUCCIÓN	INT-1
OBJETIVOS Y ALCANCES	INT-3
1. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE LODOS BIOLÓGICOS EN MÉXICO	1
1.1 PROBLEMÁTICA NACIONAL	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Problemática	1
1.1.3 Situación actual	3
1.1.4. Perspectiva	6
1.1.5. Estrategias	6
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LODOS RESIDUALES	10
1.3 CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA DISPOSICION ADECUADA DE LODOS (LEGISLACION)	12
1.4 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	15
1.4.1 Variantes del proceso de lodos activados	17
1.4.2 Parámetros de diseño	17
1.4.3 Factores que influyen en el proceso	18
1.5 JUSTIFICACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CERRO DE LA ESTRELLA" Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	19
1.5.1 Descripción de la planta	20
1.5.2 Tren de tratamiento	21
1.5.3 Sedimentación primaria	21
1.5.4 Tratamiento secundario	21
1.5.5 Tratamiento terciario	22
1.5.6 Desinfección	22
1.5.7 Equipos auxiliares	22
1.5.8 Características del agua	22
1.5.9 Uso del agua residual tratada	22
1.6 DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES	23

2. ESTADO DEL ARTE DEL ESPESAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS MEDIANTE FLOTACIÓN	25
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	25
2.1.1 Estudios recientes de espesamiento de lodos mediante el proceso DAF	26
2.2 ANÁLISIS TEÓRICO DEL ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN	27
2.2.1 Tipos de procesos de flotación	28
2.2.2 Tipos de sistemas DAF	29
2.2.3 Aplicaciones de la flotación DAF	31
2.2.4 Tipos de tanques de flotación DAF	32
2.2.5 Aditivos químicos	34
2.2.6 Análisis	34
2.2.7 Factores que influyen en el mecanismo del proceso DAF	36
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONVENCIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS	39
2.4 MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE DISPOSICIÓN O APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES	41
2.4.1 Factores que influyen en la selección de un tren de tratamiento	41
2.4.2 Influencia de las características del lodo	41
2.4.3 Influencia de factores externos	42
2.4.4 Sistemas de tratamiento adecuado a las necesidades del país	42
2.4.5 Factores a considerar para sugerir la propuesta de tratamiento de lodos	46
3. MODELO EXPERIMENTAL DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN DAF EMPLEADO EN LABORATORIO	47
3.1 ORIGEN DE LOS LODOS BIOLÓGICOS ANALIZADOS	47
3.2 MODELO EXPERIMENTAL DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN DAF	49
3.2.1 Características del modelo	49
3.2.2 Elementos que componen la unidad de flotación	49
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	51
3.3.1 Diseño del modelo experimental	51
3.4 METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO	54
3.5 MUESTREO Y MONITOREO	60
3.6 CUANTIFICACIÓN DE LOS LODOS DE EXCESO	65
4. RESULTADOS	69
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	69
5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	77
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
5.2.1 Efecto de los parámetros analizados	80
5.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	81
5.4 DISEÑO DE TANQUE DE FLOTACIÓN DAF, CONSIDERANDO LOS CRITERIOS DE DISEÑO OBTENIDOS EN EL ESTUDIO	83
5.4.1 Diseño de un tanque de flotación para espesar lodo activado residual, sin la adición de polímero	83
5.4.2 Diseño de un tanque de flotación para espesar lodo activado residual, con la adición de polímero	86

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6.1 CONCLUSIONES	89
- Efecto de los factores analizados	89
6.2 RECOMENDACIONES	92
ANEXO 1	94
ANEXO 2	125
BIBLIOGRAFIA/REFERENCIAS	127



Lista de Tablas y Figuras

Lista de Tablas

Tabla 1.1	Perspectivas de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado a Nivel Nacional para el Período, 1995-2000.
Tabla 1.2	Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Jun. 1997.
Tabla 1.3	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Terminadas entre 1994 y 1995.
Tabla 1.4	Inventario Nacional de Plantas de Aguas Residuales Municipales en Construcción y Proyecto, 1997.
Tabla 1.5	Costos de inversión inicial de Plantas de Tratamiento sin considerar tratamiento de lodos (millones de pesos), 1995.
Tabla 1.6	Plantas de Tratamiento de aguas residuales municipales, construidas por proceso, no incluye plantas en proyecto, (1997).
Tabla 1.7	Análisis de Diversos Tipos de Lodos
Tabla 1.8	Variación de la composición de los lodos en función del tipo de instalación y del proceso de tratamiento.
Tabla 1.9	Infraestructura del Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de México.
Tabla 1.10	Calidad física, química y biológica del efluente de la planta de tratamiento "Cerro de la Estrella".
Tabla 2.1	Carga de las instalaciones de flotación de aire disuelto.
Tabla 2.2	Concentración de lodos espesados y sin espesar, y cargas de sólidos para espesadores mecánicos por gravedad.
Tabla 2.3	Valores de la constante de "Henry" para el aire, nitrógeno y oxígeno, en función de la temperatura.
Tabla 3.1	Metodología experimental, recirculación de los ensayos realizados y condiciones de operación en el experimento.
Tabla 3.2	Características de las pruebas consideradas como fallidas.
Tabla 3.3	Producción total de lodos en las plantas que operan con sistemas biológicos de película fija.
Tabla 3.4	Cuantificación promedio mensual de lodos biológicos en el sistema biológico de lodos activados, a partir de los valores medios mensuales de los parámetros de operación; trenes 1 y 2 "PTARCE (de feb/94 a sep/96, determinados en el laboratorio de la misma planta).
Tabla 4.1	Primer grupo de resultados del experimento discontinuo de laboratorio, del proceso de flotación, sin adición de polímero y recirculación al 100%.

Tabla 4.2	Segundo grupo de resultados del experimento discontinuo de flotación, sin adición de polímero y recirculación al 33 %.
Tabla 4.3	Tercer grupo de resultados del experimento de flotación discontinuo de laboratorio, con la adición de polímero y recirculación al 33 y 100%
Tabla 5.1	Criterios de diseño obtenidos, para el proceso de flotación sin la adición de polímero y para el proceso con adición de polímero.
Tabla 5.2	Cargas típicas de sólidos para las unidades de flotación DAF, sin y con la adición de productos químicos.
Tabla 5.3	Diferentes alternativas de diseño para el tanque de espesamiento mediante flotación DAF
Tabla 6.1	Conclusiones de las pruebas realizadas sin la adición de polímero
Tabla 6.2	Conclusiones de las pruebas realizadas con la adición una dosis promedio de 2.8 ml/l, polímero "CYTEC" al 0.4%
Tabla 6.3	Parámetros de diseño recomendados para el tanque de flotación DAF que da la mejor alternativa seleccionada

Lista de Figuras

Figura 1.1	Proceso de biodegradación.
Figura 1.2	Estructura global de la planta "Cerro de la Estrella".
Figura 2.1	Esquema del proceso de flotación DAF sin recirculación.
Figura 2.2	Esquema del proceso de flotación DAF con recirculación.
Figura 2.3	Esquema de un Tanque circular de flotación DAF.
Figura 2.4	Esquema de un Tanque rectangular de flotación DAF.
Figura 2.5	Esquema del aparato de flotación para disolución de aire.
Figura 2.6	Masa de gas disuelto en el agua en función de la presión y la temperatura.
Figura 2.7	Tasa de ascenso o remoción en función del tamaño de la burbuja de aire.
Figura 2.8	Efecto del tamaño de la burbuja en función del tamaño del tanque de flotación DAF.
Figura 2.9	Procesos para el Tratamiento de Lodos.
Figura 3.1	Diagrama de flujo de proceso de aguas residual, planta "Cerro de la Estrella".
Figura 3.2	Esquema del primer modelo de laboratorio empleado en el examen del proceso DAF de laboratorio.
Figura 3.3	Esquema del equipo definitivo empleado en laboratorio.
Figura 3.4	Curvas típicas de la prueba experimental de flotación.
Figura 3.5	Relación A/S óptima de diseño, en el cual se considera que en el punto de intercepción, se dá el máximo espesamiento simultáneamente a la máxima clarificación; sin aumentar considerablemente la eficiencia de operación.
Figura 3.6	Curvas típicas de las pruebas experimentales de flotación expresada como porcentaje de remoción referida a la concentración de lodo.
Figura 4.1	Resultados de nueve pruebas de flotación con recirculación al 100% y sin la adición de polímero, la concentración media de sólidos en la muestra cruda fue de 4322 mg/l
Figura 4.2	Comportamiento de la velocidad media de ascenso o tasa de ascenso media, de las pruebas indicadas en la figura 4.1.
Figura 4.3	Resultados de once pruebas de flotación con recirculación al 33% y sin la adición de polímero, la concentración media de sólidos en la muestra cruda es de 8642 mg/l.
Figura 4.4	Comportamiento de la velocidad media o tasa media de ascenso de las pruebas indicadas en la figura 4.3.
Figura 4.5	Resultados de diez pruebas de flotación con recirculación al 33% y 100%, adicionando en promedio dosis de 2.8 ml/l de polímero "CYTEC" al 0.4%, la concentración media de la muestra cruda es de 3903 mg/l.
Figura 4.6	Comportamiento de la velocidad media o tasa media de ascenso de las pruebas indicadas en la figura 4.5.

- Figura 4.7 Comportamiento de la concentración de sólidos suspendidos del líquido clarificado con respecto a la relación A/S, para las pruebas sin la adición de polímero.
- Figura 4.8 Comportamiento del porcentaje de lodo espesado con respecto a la relación A/S, para las pruebas sin la adición de polímero.
- Figura 4.9 Comportamiento de la concentración de sólidos suspendidos del líquido clarificado con respecto a la relación A/S, para las pruebas con la adición de polímero.
- Figura 4.10 Comportamiento del porcentaje de lodo espesado con respecto a la relación A/S, para las pruebas con la adición de polímero.
- Figura 5.1 Relación A/S en la que se considera que no incrementa considerablemente la eficiencia de operación, el punto de intercepción indica el máximo espesamiento simultáneamente con la máxima clarificación, para las pruebas de flotación **sin** la adición de polímero.
- Figura 5.2 Relación A/S en la que se considera que no incrementa considerablemente la eficiencia de operación, el punto de intercepción indica el máximo espesamiento simultáneamente con la máxima clarificación para las pruebas de flotación **con** la adición de polímero.
- Figura 6.1 Diagrama de la unidad de flotación propuesta en base a los resultados de este estudio.

Lista de Fotografías

- Lamina 3.1 Fotografía en la que se observa el equipo completo empleado en laboratorio
- Lamina 3.2 Fotografía que indica el momento que se aplica el aire presurizado
- Lamina 3.3 Fotografía que muestra el momento previo a la dosificación de polímero, dosis diferentes de polímero adicionados a la muestra cruda de lodo (Aparato de Jarras)
- Lamina 3.4 Fotografía en la que se indica que la mejor dosis de polímero fue la que dio menor turbiedad en el líquido remanente
- Lamina 3.5 Fotografía en la que se ilustra o ejemplifica un par de pruebas consideradas como fallidas
- Lamina 3.6 Fotografía en la que se ilustra tres pruebas exitosas; de izquierda a derecha; prueba con recirculación al 100% y sin la adición de polímero, prueba con recirculación al 33% y sin la adición de polímero y prueba con recirculación al 33% y con la adición de polímero

Glosario de Términos

Abreviaturas

a	Coeficiente de Síntesis [Kg SSV _{rem} /Kg DQO]
a'	Demanda de Oxígeno para Oxidación [kg O ₂ /Kg DQO _{rem}]
A.E.	Aeración Extendida
A.N.	Tratamiento Anaerobio
APAZU	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas
A/S	Relación Aire-Sólidos en (ml/mg), requerido para conseguir grado de espesamiento
b	Coeficiente de Respiración Endógena [Kg SSV/Kg SSV x día]
b'	Demanda de Oxígeno fase Endógena [kg O ₂ /Kg SSV x día]
CHS	Carga Hidráulica Superficial
CONAPO	Consejo nacional de población
CNA	Comisión Nacional del Agua
CRETIB	Siglas del residuo peligroso: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico Infeccioso.
CS	Carga de Sólidos
DAF	Termino en inglés del proceso de Flotación con aire disuelto (Dissolved Air Flotation)
D.B.	Discos Biológicos
DBO _{in}	Demanda Bioquímica de Oxígeno Insoluble
DBO _s	Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble
DBO, DQO	Carga Orgánica Volumétrica definida en Términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno o de la Demanda Química de Oxígeno
DDF	Departamento del Distrito Federal
DETB	Pruebas de laboratorio para el diseño, operación y control de los dispositivos experimentales
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
DOF	Diario Oficial de la Federación
EPA	Environment Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental, institución norteamericana)
F.B.	Filtros Biológicos
F/M	Relación Alimento-Microorganismos
FONATUR	Fondo Nacional de Fomento para el Turismo
h	Fracción de DBO no removida en el clarificador primario
i	Fracción de DBO no removida en el sistema biológico
INE	Instituto Nacional de Ecología
K	Fracción de X _o removidos en el sedimentador primario
K'	Constante de reacción o remoción [día ⁻¹]
L.A.	Lagunas Aereadas

L.Ac.	Lodos Activados
L.E.	Lagunas de Estabilización
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
L.M.	Lemna
NOM	Norma Oficial Mexicana
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
P.E.	Purificador Enzimático
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PROMMA	Programa de Modernización del Manejo del Agua
psi	Unidad de presión en el Sistema Inglés = lb/pul ²
PTARCE	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella"
Kg/cm ²	Unidad de presión en función de la presión atmosférica
KPa	Kilopascales, unidad de presión del Sistema Internacional
Q _i	Gasto o caudal de influente
Q _r	Gasto o caudal de recirculación
Q _e	Gasto o caudal de efluente
Q _p	Gasto o caudal de purga
r o R	Tasa de Recirculación
RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
R.P.	Residuo Peligroso
S _a	Solubilidad del aire (ml/L), [densidad del aire 2.93 mg/ml]
S _o	DBO en el influente, kg/día
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (Extinta)
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca
SSVLM	Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado, concentración de microorganismos en reactor biológico.
TARM	Tratamiento de Aguas Residuales Municipales
T.I.	Tanques Imhoff
TLAP	Total de lodo activado producido, kg/día
TLC	Tratado de Libre Comercio
TMRC	Tiempo Medio de Retención Celular
T.P.	Tratamiento Primario
TRH	Tiempo de retención Hidráulico
T.S.	Tratamiento Secundario
T.V.	Tratamiento Primario Avanzado
V _L	Volumen de efluente
V _R	Volumen de la recirculación el cual es una relación de volumen del efluente
WPCF	Water Pollution Control Federation (Federación para el control de la contaminación del agua, asociación internacional)
X _i	Sólidos suspendidos en el influente, kg/día
X _f	Sólidos suspendidos en el efluente, kg/día
ΔX	Producción neta de sólidos por acción biológica, kg/día
Y	Producción de lodos en Kg SST/Kg de DBO removida
Z.O.	Zanjas de Oxidación
Z.Z.	Tratamiento no Identificado

Introducción

En México, el tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo aún en baja escala, aunque se estima; de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM 001, 002 y 003) que a partir del año 2000 el tratamiento de éstas, será considerablemente en mayor escala. Sin embargo, sigue siendo importante considerar la generación inevitable de desechos secundarios que deben ser dispuestos de manera adecuada para evitar el deterioro del medio ambiente. El residuo de mayor volumen y cuyo tratamiento es más complejo, lo constituyen los lodos que son separados durante el proceso. Los lodos están formados principalmente por agua (95 a 99.5%) y contienen gran parte del material indeseable que es separado del agua residual, ya sea mediante procesos de separación física, biológicos o por efecto de la precipitación química. Actualmente, se sabe que muy pocas plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, cuentan con instalaciones para el tratamiento de lodos, y que de éstas prácticamente ninguna opera regularmente (SEDUE, 1989).

La legislación vigente establece que los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales son considerados residuos peligrosos (DOF; NOM-CRP-001-ECOL/93 y NOM-ECOL-052/94). Sin proponer algún tratamiento, enfatiza en la importancia de tratar los residuos peligrosos de manera que se mitigue el peligro que representan para el medio ambiente. La problemática de la gestión de lodos se hace mayor; debido a que no existe una normatividad específica que regule el manejo, tratamiento y disposición final de éstos, además de otros factores como: la falta de recursos humanos con experiencia práctica, la poca información que se ha generado en el país al respecto y la falta de presupuesto, entre otros.

Los lodos biológicos residuales de cualquier efluente son recirculados al reactor biológico o bien deben seguir un manejo posterior de tratamiento en el que se permita disponerlos adecuadamente y con el menor costo posible. El sistema que proporcione la mayor concentración de lodos durante su manejo, es también el que ahorra equipos en los procesos de tratamiento de lodos ya que se reducen los costos de inversión, de operación y mantenimiento. Con el proceso de espesamiento de lodos se permitirá el manejo de menor cantidad de agua, por lo que lo hace un proceso casi obligado.

El espesamiento de lodos es una operación intermedia en el tratamiento de los lodos, en la cual la justificación económica para adoptarlo es la disponibilidad de inversión para el tratamiento posterior. La técnica alternativa de espesamiento mediante **flotación con aire**

disuelto (DAF), surge como la más conveniente para los lodos ligeros como los provenientes del proceso de lodos activados, los lodos pesados como los obtenidos de la sedimentación primaria, se manejan más eficientemente por gravedad.

El propósito de este estudio es: determinar las variables de operación, que permitan obtener los parámetros óptimos para proyectar un tanque de espesamiento, mediante el proceso DAF, de los lodos biológicos que se generan en la PTARCE. Los parámetros a evaluar serán obtenidos a partir de los ensayos de un modelo experimental de laboratorio montado específicamente para este fin. También se analizan los factores que influyen en el proceso para las condiciones de operación actual de la planta (la cual no cuenta con tratamiento de lodos). Las variables a evaluar durante la experimentación serán: presión del aire, relación de recirculación, tiempo de retención, relación A/S, concentración de sólidos, carga superficial, adición de polímeros, entre otras.

El trabajo lo integran seis capítulos: en el capítulo primero se explica la situación actual del manejo de lodos biológicos en México, se hace énfasis en la problemática ambiental, se describe la legislación vigente en materia de manejo y disposición de lodo biológico y se justifica la PTARCE.

En el segundo capítulo se presentan los antecedentes históricos del proceso de flotación, tipos de procesos de flotación, el análisis teórico y la metodología para la selección de los sistemas de manejo y disposición de lodos biológicos residuales.

En el tercer capítulo se muestra el modelo experimental utilizado en laboratorio, se explican las características de éste, la metodología empleada y las bases del diseño experimental, los procedimientos de muestreo y monitoreo de los ensayos realizados. Es también en este capítulo en el que se hace la cuantificación de lodo biológico estimado en la PTARCE.

En el cuarto capítulo se presentan las tablas de resultados por grupos de análisis y sus respectivas gráficas en las que se muestran los comportamientos de las pruebas corridas. En el quinto capítulo se hace la evaluación y discusión de los resultados, asimismo también se analiza el efecto de los parámetros de operación en la prueba de flotación experimental de laboratorio, finalmente se obtienen los parámetros de diseño.

Por último en el capítulo seis, se presentan las conclusiones y recomendaciones. Se concluye en cuanto al proceso, equipo, diseño y metodología experimental y se recomienda los parámetros de operación, indicando los valores de óptima eficiencia.

Finalmente se presentan dos anexos; en el primero se muestran los resultados de laboratorio para cada prueba exitosa y en el segundo se muestra una guía de acciones para resolver problemas o fallas en el proceso de flotación DAF a escala real.

Objetivos y Alcances

Objetivos del trabajo

Obtener los parámetros de diseño para el proyecto de un tanque de espesamiento, utilizando el proceso de flotación con aire disuelto (DAF), basado en ensayos de un modelo experimental de laboratorio, montado específicamente para éste fin. Asimismo, se pretende analizar la implantación del proceso con la adición de polímeros, para emplear un tanque de flotación como unidad integral en el proceso de tratamiento de lodos generados en la PTARCE.

Alcances

Para lograr el objetivo de este trabajo, se establecen las siguientes etapas de investigación:

- ◆ Planteamiento de la problemática y justificación del tratamiento de lodos en México, como parte integral en el diseño y construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como dejar en claro la importancia que tiene el espesamiento de lodos previo a la estabilización de los mismos.
- ◆ Analizar los diferentes procesos de espesamiento de lodos, indicar ventajas y desventajas de cada uno de ellos con el fin de justificar su aplicación en la solución de la problemática del manejo de lodos en el país.
- ◆ El estudio se limita a realizar una serie de pruebas de laboratorio con el fin de determinar los parámetros de operación óptima, en el espesamiento de lodos biológicos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la Estrella".
- ◆ Con los resultados obtenidos, se dejará claro el efecto de los parámetros analizados y se podrán establecer criterios para iniciar nuevas líneas de investigación en las que se estudien otros factores, los cuales en este trabajo no fue posible estudiarlos.
- ◆ Por último que este trabajo contribuya en la adaptación de un proceso de espesamiento diferente a los empleados en la práctica tradicional, con el fin de poder realizar una evaluación de las condiciones reales del país y de esta forma obtener tecnologías opcionales que contribuyan a la selección óptima de la mejor alternativa.

Capítulo 1.**SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE LODOS BIOLÓGICOS EN MÉXICO****1.1 PROBLEMÁTICA NACIONAL****1.1.1 Antecedentes**

El tratamiento de las aguas residuales actualmente, debe considerarse como uno de los aspectos más importantes dentro de las actividades productivas de una población, a fin de garantizar el desarrollo y mejorar su calidad de vida, de no prestar la debida atención, con seguridad se presentarán considerables alteraciones en el equilibrio ecológico, riesgos en la salud pública y desórdenes socio-económicos, provocando daños que pueden ser irreversibles.

En México, con la implementación de programas de saneamiento, en paralelo con los de suministro de agua potable, se ha intentado dar solución a esta problemática, la que se ha convertido en una demanda del tipo social prioritaria. Debido a que los recursos económicos y financieros no han sido suficientes, en la actualidad no se cuenta con una cobertura ideal, sin embargo, en los últimos diez años se han dado avances importantes en lo relativo al tratamiento de aguas residuales tanto industriales como municipales.

Actualmente el tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo aún en baja escala (25.3%). Sin embargo, es importante considerar la generación inevitable de desechos secundarios que deben ser dispuestos de manera adecuada para evitar el deterioro del medio ambiente. El residuo de mayor volumen y cuyo tratamiento es más complejo lo constituyen los lodos que son separados durante el proceso.

El tratamiento y disposición de los lodos residuales representan un grave problema ya que las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el país, en su gran mayoría no cuentan dentro de su tren de tratamiento con la infraestructura requerida para este fin.

1.1.2 Problemática.

El saneamiento integral implica el análisis, evaluación e interrelación de varios factores para llegar a una solución, trátase de una región, cuenca o sitio determinado, en el cual se involucra

a Dependencias y Organismos Federales, estatales y municipales, e incluye la participación del sector privado, por lo que constituye un interesante reto a vencer.

A medida que la población aumenta y desarrolla su economía, las demandas de agua siguen creciendo, en contraste con la oferta que proporciona el medio natural, la cual no puede crecer y, al contrario, disminuye por las necesidades crecientes del vital líquido. En paralelo, con el desarrollo de la infraestructura hidráulica, se presenta el problema que implica el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales generadas en las diversas actividades.

Con base en la información del Consejo Nacional de Población (CONAPO), se estima que en 1995 el total de la población en México es de 91.6 millones de habitantes. De ésta, el 71% se concentra en las áreas urbanas (22% en el Valle de México), el 29% restante habita en 153,813 localidades rurales, de las cuales 108,307 tienen menos de 100 habitantes, lo que dificulta proporcionar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento al medio rural. Se estima que en el país se consumen aproximadamente 240 m³/s de agua potable, misma que se emplea para diversos usos municipales, en los diferentes sectores productivos. De este volumen, se genera un gasto de 170 m³/s de aguas residuales de diferente calidad que, en la actualidad, está alterando las características de los cuerpos receptores, limitando sus usos.

En 1991, se estimó que la cobertura nacional en agua potable era de 68%, mientras que la de alcantarillado era de 49% (CNA, 1991). En función de la cobertura casi actual de los sistemas de agua potable y alcantarillado, se observa que solo es posible colectar, mediante el sistema de alcantarillado, 115.6 m³/s y que se requerirá incrementar las coberturas en el corto plazo, para satisfacer las necesidades de la población y evitar daños a la salud pública. Dentro del esquema del Programa Hidráulico 1995-2000, mediante una clasificación urbana y rural, se dan a conocer las perspectivas de los servicios de agua potable y alcantarillado a nivel nacional (tabla 1.1).

TABLA 1.1 PERSPECTIVAS DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO A NIVEL NACIONAL PARA EL PERÍODO, 1995-2000.

TAMANO DE LOCALIDAD	Nº DE LOCALIDADES	POBLACIÓN (%)	COBERTURA AGUA P.(%)	COBERTURA ALCANT. (%)	POBLACIÓN CON A.P.	POBLACIÓN CON ALC.
Urbano						
80,000 o más	103	42.1	97.8	92.1	41.2	38.8
50,000-79,999	43	2.9	96.3	92.6	2.8	2.7
5,000-4,999	1,135	15.2	95.1	79.1	14.4	12.0
2,500-4,999	1,509	5.3	84.3	47.1	4.4	2.4
Subtotal	2,790	65.4%	96.0%	85.5%	62.8	55.9
Rural						
1,000-2,499	4,661	8.3	67.6	31.0	5.6	2.6
1-999	149,152	17.9	45.4	16.2	8.1	2.9
Subtotal	153,813	26.2 %	52.5 %	20.9	13.7	5.5
TOTAL	156,603	91.6 %	83.5 %	67.0	76.5	61.4

FUENTE: Consejo Nacional de Población 1995 Comisión Nacional del Agua 1995.

1.1.3 Situación Actual

La Comisión Nacional del Agua (CNA), organismo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), es la única autoridad federal para administrar las aguas nacionales y tiene como atribución, expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, referente a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento, que actualiza sistemáticamente la CNA, hasta 1997 se tenían 808 plantas construidas con una capacidad instalada de 54,983.76 lps (tabla 1.2 y 1.3); de éstas, el 76.11% se encuentran en operación con un gasto tratado de 35,340.63 l/s. De los sistemas registrados en el inventario, se estima que el 60% opera con eficiencias bajas del 30 al 50% de remoción; el 35% opera con eficiencia del 50 al 80% de remoción y el 5% restante opera con eficiencias mayores al 80% de remoción.

TABLA 1.2. INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES, JUN. 1997.

ESTADO	Nº DE PLANTAS CONSTRUIDAS	CAPACIDAD INST. (LPS)	Nº DE PLANTAS OPERANDO	GASTO TRATADO (LPS)
AGS.	94	2,462.00	79	1,968.10
B.C.	10	2,495.00	10	2,755.00
B.C.S.	18	1,028.40	17	586.80
CAMP.	11	123.36	11	36.61
COAH.	13	912.50	7	675.00
COL.	23	487.00	16	304.20
CHIS.	6	108.72	0	0.00
CHIH.	18	1,404.00	18	642.20
D.F.	24	5,978.00	22	3,379.00
DGO.	43	2,704.40	39	2,047.00
GTO.	9	1,665.00	2	790.00
GRO.	13	1,829.00	13	1,443.00
HGO.	5	148.36	1	14.88
JAL.	69	3,222.98	51	1,726.01
EDO. M.	17	2,580.00	17	1,225.00
MICH.	13	1,224.00	10	531.00
MOR.	30	1,314.90	20	810.00
NAY.	48	1,806.80	32	986.70
N.L.	28	8,821.00	27	6,002.00
OAX.	22	755.74	17	313.10
PUE.	11	339.40	8	173.90
QRO.	13	834.20	12	298.20
Q. ROO	14	1,188.00	12	790.91
S.L.P.	12	423.00	4	265.00
SIN.	15	1,031.00	10	1,030.00
SON.	64	2,394.70	46	1,432.70
TAB.	23	1,068.20	19	843.50
TAMPS.	14	2,148.00	11	1,719.10
TLAX.	33	878.80	23	679.22
VER.	61	3,331.00	43	1,694.00
YUC.	8	29.30	8	14.50
ZAC.	26	247.00	10	164.00
TOTAL	808	54,983.76	615	35,340.63

FUENTE: Comisión Nacional del Agua, 1997.

TABLA 1.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TERMINADAS ENTRE 1994 Y 1995.

ESTADO	Nº DE PLANTAS	LOCALIDAD INSTALADA	CAPACIDAD (LPS)	PROCESO DE TRATAMIENTO
AGS	1	TEPEZALA	14	L.E.
BC	1	TECATE	200	F.B.
CHIH	1	CHIHUAHUA NORTE	1200	L.A.
DGO	1	DURANGO	2000	L.B.
JAL	1	PUERTO VALLARTA	750	A.E.
EDO M	2	TOLUCA NORTE	400	F.B.
		TOLUCA ORIENTE	350	L.A.
MICH	4	SAHUAYO	180	L.E.
		PASTOR ORTIZ	60	L.E.
		JIQUILPAN	60	L.E.
		LA PIEDAD	200	L.A.
MOR	2	CUERNAVACA	600	L.A.
		YAUTEPEC	160	L.E.
NL	2	MONTERREY NORTE	2500	L.A.
		MONTERREY NORESTE	500	L.A.
PUE	1	SN M. TEXMELUCAN	190	F.B.
QRO	1	SUR	500	F.B.
VER	1	IZTACZOQUITLAN	1250	R.A.F.A.
TOTAL N.	18		11114	

FUENTE: Comisión Nacional del Agua, 1995.

Del total de plantas construidas, 193 no están en operación, debido a diferentes problemas, que resultan desde un diseño mal concebido, a veces por no considerar adecuadamente la información de la localidad o por falta de datos de campo, fallas en la construcción, abandono de las unidades de tratamiento, falta de recursos económicos y falta de personal especializado, hasta por problemas de carácter político. Si se compara la cantidad de agua residual municipal que se está tratando, de 35.3 m³/s, con la aportada a nivel nacional, estimada en 170 m³/s, significa que solo se trata el 25% del volumen total generado y el 37.7% del volumen total colectado. Estos últimos datos se incrementarán en un corto plazo, al 35% y 50% aproximadamente, al emprender programas de rehabilitación y ampliación de los sistemas actuales, a la puesta en marcha de nuevas plantas y a la construcción de otros sistemas de tratamiento en programa, con motivo de cumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996.

Dentro del panorama de los procesos utilizados en el tratamiento, el de lagunas de estabilización es el de mayor uso con un 51.5% por las ventajas que representa, ya que ofrece bajo costo de operación y mantenimiento, además de que es una tecnología que permite el reuso del agua tratada en la agricultura, acuacultura y en la industria, también debido a su alta eficiencia en la remoción de microorganismos patógenos. En segundo término se utiliza el de lodos activados convencional, representando un 22.6%; y en tercer lugar se encuentran el de lodos activados en su modalidad de aereación extendida 6% y tanques imhoff 6% (CNA, 1997).

Con anterioridad los procesos de tratamiento se elegían en función de las condiciones particulares de descarga que generalmente eran rigurosas; de la inversión inicial, disponibilidad de terreno; y, costos y ventajas en la operación y mantenimiento, entre otros factores. En la actualidad, debido a la legislación vigente, que tiende a hacerlas un poco más flexibles, se está

tendiendo a apoyar las obras marcando plazos para el cumplimiento de las normas y permitiendo la construcción por módulos de los sistemas de tratamiento seleccionados.

Actualmente se encuentran en proceso de construcción y proyecto 362 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (tabla 1.4), cuya capacidad se estima en 96,726.84 lps, lo que significa, a corto plazo, una cobertura complementaria del 57.12%, para contribuir al saneamiento a nivel nacional. Dentro de esta tabla se reportan por separado el número de plantas en proceso constructivo y en proyecto, así como la capacidad estimada. Esta estrategia del gobierno federal responde y se realiza en apego a los Tratados Internacionales y al Tratado de Libre Comercio, encaminado a proporcionar acciones para el desarrollo sustentable de los tres países firmantes.

TABLA 1.4 INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN CONSTRUCCIÓN Y PROYECTO 1997.

ESTADO	No. PLANTAS	GASTO LPS	PLANTAS EN CONST.	GASTO DE DISEÑO, LPS	PLANTAS EN PROYECTO	GASTO DE DISEÑO LPS
AGS.	S/D		S/D		S/D	
B.C.	4	3,820.00	2	1,440.00	2	2,380.00
B.C.S.	2	52.00	0	0.00	2	52.00
CAMP.	S/D		S/D		S/D	
COAH.	13	4,370.00	0	0.00	13	4,370.00
COL.	2	1,050.00	1	300.00	1	750.00
CHIS.	42	2,098.07	6	178.80	36	1,919.27
CHIH.	42	9,509.00	17	139.00	25	9,370.00
D.F.	5	35,875.00	4	875.00	1	35,000.00
DGO.	25	639.60	14	74.60	11	565.00
GTO.	12	5,705.00	1	70.00	11	5,635.00
GRO.	3	312.00	2	228.00	1	84.00
HGO.	S/D		S/D		S/D	
JAL.	4	2,957.00	0	0.00	4	2,957.00
EDO. M.	17	955.00	6	458.00	11	497.00
MICH.	16	1,970.00	4	851.00	12	1,119.00
MOR.	8	405.00	1	75.00	7	330.00
NAY.	20	337.44	7	60.60	13	276.84
N.L.	19	505.00	0	0.00	19	505.00
OAX.	18	952.50	8	72.60	10	879.90
PUE.	24	4,043.60	4	192.00	20	3,851.60
QRO.	19	914.00	18	828.00	1	86.00
Q. ROO	S/D		S/D		S/D	
S.L.P.	9	1,884.30	1	10.00	8	1,874.30
SIN.	9	6,699.00	0	0.00	9	6,699.00
SON.	3	4,000.00	0	0.00	3	4,000.00
TAB.	S/D		S/D		S/D	
TAMPS.	8	3,519.24	2	27.00	6	3,492.24
TLAX.	6	52.09	1	3.74	5	48.35
VER.	17	3,653.00	6	2,235.00	11	1,418.00
YUC.	S/D		S/D		S/D	
ZAC.	15	449.00	0	0.00	15	449.00
NACIONAL	362	96,726.84	105	8,118.34	257	88,608.50

FUENTE: Comisión Nacional del Agua, Junio de 1997.

Paralelo a la operación de las plantas de tratamiento, se presenta el problema del manejo y disposición final de los lodos, subproducto del proceso, que sin analizar su calidad y sin importar las repercusiones que pueden provocar al ambiente, se disponen en forma cruda o semitratada en tiraderos a cielo abierto y, en algunos casos, en rellenos sanitarios. Anteriormente, su tratamiento no se había tomado en consideración debido a que repercute significativamente en el costo global del tratamiento del agua residual, sin embargo, dentro de las leyes de Aguas Nacionales y del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se considera la prevención de la contaminación del medio ambiente promoviendo el tratamiento de lodos y la disposición sanitaria de este subproducto (tabla 1.5).

En relación con las plantas de tratamiento de aguas residuales provenientes de conjuntos habitacionales, industrias y hospitales se cuenta con poca información; las descargas de éstos a cuerpos receptores están siendo vigiladas y sancionadas de acuerdo con la normatividad vigente.

Con base en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en las que ha intervenido la CNA, en la tabla 1.6, se presentan el número de plantas construidas por proceso, hasta junio de 1997.

1.1.4. Perspectiva

Se espera que las plantas de tratamiento proyectadas, se construyan durante este período (tabla 1.5), incluso se pretende que se realice la construcción de otras plantas que, aunque no se contemplan dentro del programa, es necesaria su construcción debido a que en la legislación vigente se está normalizando las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores (NOM-001-ECOL-1996), de no hacerlo se estaría alterando la calidad de las fuentes de abastecimiento.

1.1.5. Estrategias

Las aguas residuales representan un recurso renovable, debido a que después de ser tratadas pueden ser empleadas para satisfacer las necesidades industriales, agrícolas y municipales secundarias, así como para la recarga de acuíferos, a corto, mediano y largo plazo, y que el saneamiento se vuelve prioritario en zonas de probable conflicto, como son las regiones turísticas, fronterizas y con sequía extremas, es menester implementar e implantar planes y programas de acción, en coordinación con los Gobiernos Estatales y Municipales, para dar solución a la problemática en forma integral.

Al aplicar la Norma Oficial Mexicana NOM-001.ECOL-1996, la cual establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (D.O.F. 6-enero-1997), se da énfasis al cumplimiento de las estrategias y políticas para el manejo del agua, para conservar el equilibrio de los cuerpos de agua y, a la vez, aprovechar adecuadamente el recurso en las actividades agrícola, doméstica, industrial, generación de energía eléctrica, recreación, turismo, acuacultura, pesca y navegación; y asimismo favorecer el tránsito al desarrollo sustentable.

TABLA 1.5 COSTOS DE INVERSION INICIAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO SIN CONSIDERAR TRATAMIENTO DE LODOS, 1995, (MILLONES DE PESOS), CNA.

ESTAD.	LOCALIDAD	L.E.		L.B.		A.E.		B.F.L.A.		L.P.		F.B.		Z.O.		R.A.	
		Q	\$	Q	\$	Q	\$	Q	\$	Q	\$	Q	\$	Q	\$	Q	\$
B.C.	TUJUANA (BIN)																
B.C.S.	ENSENADA	450	55.80	700	73.30												
CHIH.	LA PAZ																
	CD. JUAREZ NTE.			2500	215.00												
	CD. JUAREZ SUR			1000	87.60												
	CHIHUAHUA NTE.			1200	108.20												
	CHIHUAHUA SUR			2500	180.00												
COAH.	TORREON	1400	74.34	2000	79.20												
DGO.	DURANGO																
GTO.	LEON					750	146.45										
JAL.	PTO VALLARTA					1000	137.51						3000	270.00			
MEX.	TOLUCA OTE.							1250	157.01								
	TOLUCA NTE.																
MOR.	CURNAVACA	160	43.83	600	146.74												
WY.	YAUTEPEC	82	1.48														
	SAN VICENTE	17	1.34														
N.L.	CHILAPA																
	MTY.D. NOMBRES			5000	469.60												
	MTY.NORESTE			500	149.01			2500	373.41								
P.UE.	MTY.NORTE																
	HUEJOTZINGO	15	2.12														
QRO.	ESCOBEDO																
	SUR																
	NORTE			700	150.00												
S.LP.	TANGAMANGA I			110	30.15												
	TANGAMANGA II			50	13.95												
TAMS.	NUEVO LAREDO																
	MATAMOROS I	500	53.60														
	MATAMOROS II	350	44.80														
TLAX.	CALPULALPAN	14	1.91														
VER.	COATZACOALCOS									500	32.76						
	MINATITLAN									350	22.93						
	IZTACZOQUITLAN																
ZAC.	TLALTENANGO	47	12.67												1250		126.75

SIMBOLOGÍA:

- L.E. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
- A.E. AERACION EXTENDIDA
- L.P. LAGUNA PANTANO
- Z.O. ZANJAS DE OXIDACIÓN
- L.E. LAGUNA AEREADA
- B.F.L.A. BIOFILTRO-LODOS ACTIVADOS
- F.B. FILTRO BIOLÓGICO
- R.A. REACTOR ANAEROBIO

SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE LODOS BIOLÓGICOS EN MÉXICO

TABLA 1.6 PLANTAS DE T.A.R.M. CONTRUIDAS, POR PROCESO, (JUN. 1997 CNA, No incluye plantas en proyecto).

ESTADO	AE	DB	FB	LA	LB	LE	LM	LP	PE	RA	TI	TP	TS	TV	ZO	ZZ	AN	TOTAL
AGS.			1	2		83			8									94
B.C.			2	1	1	5	1								1			10
B.C.S.				7		9						1						18
CAMP.				7								3					1	11
COAH.			2	5		4					1	1						13
COL.	1			2		20												23
CHIA.						5							1					6
CHIH.	1			4		12									1			18
D.F.	1		2	20														24
DUR.				1	1	41												43
GTO.				1	1	3					3				1			9
GRO.				12								1						13
HID.				1		2		1				1						5
JAL.			2	11	2	34				1	7	1	2		9			69
EDO.M.			1	1		15												17
MICH.			1		1	6				1	3				1			13
MOR.	3		5	3		2				4	8					2	3	30
NAY.			4	11		19							14					48
N.L.	3			6	3	12				1	2						1	28
OAX.			1	1	10	5	3				2							22
PUE.			2			6							2					11
QRO.	1		3	1					3		1	1			1		2	13
Q.ROO				12		1									1			14
S.L.P.				9		3												12
SIN.				2		12						1						15
SON.						61					2	1						64
TAB.			1	4		7					10				1			23
TAMS.	1		1		1	6					3				2			14
TLAX.			1		4	27				1								33
VER.			3	22		10			1	2	16	3	1				3	61
YUC.			1	2													5	8
ZAC.		2		17		6									1			26
TOTAL	6	9	32	174	14	416	1	4	12	10	59	15	18	1	19	3	15	808

SIMBOLOGÍA: A.E. AERACIÓN EXTENDIDA R.A. RAFA T.I. TANQUES IMHOFF
 F.B. FILTROS BIOLÓGICOS I.P. TRATAMIENTO PRIMARIO I.S. TRATAMIENTO SECUNDARIO
 L.A. LAGUNAS AERADAS T.V. TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO L.E. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN Z.O. ZANJA DE OXIDACIÓN
 L.M. LEMNA Z.Z. DESCONOCIDO P.E. PURIFICADOR ENZIMÁTICO A.A. TRATAMIENTO ANAEROBIO

Para cumplir con lo anterior, el Programa Hidráulico 1995-2000 contempla varias líneas de acción, de las cuales se citan las siguientes:

- 1 *Modernización de los sistemas de recopilación y manejo de la información para obtener la precisión y exactitud necesaria en la planeación cuya actividad será manejada dentro del Programa de Modernización del Manejo del Agua (PROMMA), a cargo de la CNA.*
- 2 *En zonas rurales, rehabilitación de los sistemas de agua potable y saneamiento en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, así como el apoyo de la organización de los propios usuarios para que operen los sistemas.*
- 3 *En zonas urbanas otorgar subsidios a través del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en zonas Urbanas (APAZU) cuando éste sea financiado con mezcla de recursos y formen parte de un plan maestro.*
- 4 *Se apoyará a los municipios y organismos operadores en aspectos técnicos y administrativos y se creará un ambiente financiero sano que favorezca la participación privada bajo diferentes modalidades.*
- 5 *Se apoyará la rehabilitación de los sistemas de agua potable y saneamiento en comunidades rurales.*
- 6 *Se impulsará el diseño, construcción y operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales en ciudades medias a través de esquemas de conversión o concesión con la iniciativa privada.*
- 7 *Se inspeccionará a los usuarios responsables de descargas de aguas residuales con y sin tratamiento para asegurar el cumplimiento de la calidad de las descargas, y en su caso el tratamiento y la disposición adecuada de los lodos orgánicos generados.*
- 8 *Se coordinarán acciones de vigilancia con la Procuraduría Federal de protección al Ambiente y el Instituto Nacional de Ecología para disponer apropiadamente el agua y lodos tratados.*
- 9 *Se llevarán a cabo acciones de coordinación con las instancias federales, estatales y municipales para apoyar los programas de las localidades ubicadas en las 15 cuencas prioritarias y se vigilará el cumplimiento de las normas de descarga de aguas residuales municipales en estas 15 cuencas y en los programas regionales destinados por la SEMARNAP.*
- 10 *Se apoyará a la Secretaría de Salud, DIF, SEP y autoridades municipales y estatales en programas de cuidado a la salud pública y medio ambiente relacionados con el agua.*
- 11 *Se dará solución integral al tratamiento de los 42 m³/s de aguas residuales que genera la zona metropolitana, mediante el Programa de Saneamiento del Valle de México a cargo de la CNA.*
- 12 *Se instrumentará el Programa Frontera XXI, que coordina la SEMARNAP abarcando a todos los estados que comparten la frontera con los Estados Unidos de Norteamérica.*

De todo lo anterior, se concluye; que el adecuado manejo de los lodos es de fundamental importancia.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LODOS RESIDUALES

Los lodos de las aguas residuales se generan en diferentes puntos del tratamiento, y se forman según los procesos que se apliquen en la línea de agua. Existen procesos biológicos y no biológicos y es por ello que se pueden hacer dos divisiones del tipo de lodos (Tebbutt, 1990):

- 1). Los que se generan en los procesos biológicos: son los más comunes en el tratamiento de las aguas residuales urbanas, estos tipos de lodos se denominan de acuerdo a sus procedencias:
 - a) Lodos primarios.- procedentes de la sedimentación primaria (partículas sólidas básicamente de naturaleza inorgánica).
 - b) Lodos secundarios.- procedentes de la sedimentación secundaria (consisten fundamentalmente de biomasa en exceso).
 - c) Lodos combinados.- mezcla de primarios y secundarios.

- 2). Los generados en la separación de procesos químicos:
 - a) Lodos de hidróxido por la coagulación y sedimentación de las aguas y desechos industriales.
 - b) Lodos de precipitación de las plantas de ablandamiento y del tratamiento de desechos industriales.

Algunos otros que en general no son considerados como lodos y por lo tanto no se deben incluir en el tratamiento de lodos, pero es conveniente tomarlos en cuenta. Estos se generan en la separación inicial del pretratamiento (desarenadores y rejillas).

Las características físicas como el color, aspecto y olor facilitan el conocimiento del estado del lodo y su procedencia, por ejemplo; los lodos primarios frescos suelen ser grises y tienen mal olor y los secundarios tienen generalmente color pardo-amarillento y rara vez huelen mal, el lodo digerido es negro y tiene un olor característico a alquitrán (tabla 1.7 y 1.8).

TABLA 1.7 ANÁLISIS DE DIVERSOS TIPOS DE LODOS

COMPONENTE	TIPO DE LODO		
	CRUDO (%)	DIGERIDO (%)	ACTIVO (%)
Material volátil	60-80	45-60	62-75
Cenizas	20-40	40-45	25-38
Cenizas insolubles	17-35	35-50	22-30
Grasas	7-35	3-17	5-12
Proteínas	22-28	16-21	32-41
Nitrato de amonio	1-3.5	1-4	4-7
Acido fosfórico (P ₂ O ₅)	1-1.5	0.5-3.7	3-4
potasa (K ₂ O)		0-4	0.86
Celulosa, etc.	10-13	10-13	7.8
SiO ₂		15-16	8.5
Hierro		5-4	7.1

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991.

TABLA 1.8 VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS LODOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN Y DEL PROCESO DE TRATAMIENTO (FUENTE: División de Educación Continua, F.I., 1994).

INSTALACIÓN	a Sólidos en g/habxdía	b Sólidos en (%)	c Contenido de agua en (%)	d Producción de lodo l/habxdía $(\frac{a}{b} \cdot \frac{100}{1000})$
A. Sedimentador + digestor				
1. Lodo fresco extraído de la tolva de los sedimentos	54	2.5	97.5	2.16
2. Lodo fresco, desprovisto del agua en exceso al ser bombeado	54	5.0	95	1.08
3. Lodo digerido húmedo	34	13	87	0.26
4. Lodo digerido secado al aire	34	45	55	13
B. Lodos activados + digestión				
		I = de baja carga II = de alta carga		
5. Lodo de los sedimentadores secundarios	I 13 II 20	8 5	92 95	0.16 0.40
6. Lodo fresco mixto (de los sedimentadores primarios y secundarios)	I 27 II 74	5.5 5	94.5 95	1.22 1.48
7. Lodo mixto digerido húmedo	I 43 II 48	10 10	90 90	0.43 0.48
8. Lodo mixto digerido seco	I 43 II 48	45 45	55 55	(0.17) (0.19)
C. Tratamientos de lodo con digestores				
9. Lodo en exceso bombeado fresco	I 31 II 25	0.7 1.5	99.3 98.5	2.07 1.25
10. Lodo en exceso, con la misma densidad que tiene al separarse a 30 min, en una muestra de agua del tanque de aireación.	I 31 II 25	1.5 2.0	98.5 98	1.87 1.75
11. Lodo en exceso fresco mezclado con el de los sedimentadores primarios	I 8.5 II 79	4.5 4.5	95.5 95.5	1.87 1.75
12. Lodo mixto digerido	I 55 II 52	7 10	93 90	0.79 0.52
13. Lodo mixto digerido (aireado)	I 55 II 52	45 45	55 55	(0.23) 80.22

Los lodos representan aproximadamente del 1' al 5% del agua residual tratada, lo que redunda en una cantidad final importante. Contienen gran parte del material indeseable que es separado en el agua residual ya sea mediante procesos de separación física, biológica o por efecto de la separación química, siendo por lo tanto; la composición de los lodos dependiente tanto del tipo de agua residual como del tratamiento a que ésta ha sido sometida. En la tabla 1.7 se presenta un análisis de diversos tipos de lodos y en la tabla 1.8 se muestra la composición de los lodos en función del tipo de instalación.

En la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales primarios y secundarios, se producen lodos de los que hay que deshacerse en forma adecuada, una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en los procesos de tratamiento de aguas residuales se encuentran finalmente en estos lodos; en el caso de lodos primarios, entre el 30 y 50% de la DBO del influente se obtiene de los lodos del sedimentador primario como DBO insoluble. En las plantas de lodos activados alrededor de 2/3 de la DBO soluble separada, corresponde a compuestos orgánicos oxidados que se ocupa para producir la energía de mantenimiento, pero el 1/3 restante corresponde a células microbianas que se encuentran en el lodo en exceso de las purgas, obviamente estos lodos no deben evacuarse previamente sin un tratamiento adecuado, ya que sería contradictorio con los objetivos de los procesos de tratamiento considerados (Tebbutt, 1990).

Una posibilidad en la secuencia de procesos considerados, es la reducción de las cantidades de compuestos orgánicos y volátiles la cual se logra sometiendo los lodos a una digestión. El lodo resultante de la digestión se conoce como lodo estabilizado ya que presenta un contenido considerablemente menor de materia orgánica. Los objetivos principales de la estabilización son:

- a) Reducción o eliminación de olores molestos
- b) Reducción del volumen de líquido o peso de sólidos a tratar en operaciones sucesivas.
- c) Reducción de los microorganismos patógenos en los lodos.

Otra posibilidad en el tratamiento de lodos, consiste en aumentar el contenido de sólidos (concentración por volumen) del lodo antes de su evacuación final, por medio de una serie de procesos de espesamiento y desecado.

1.3 CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA DISPOSICIÓN ADECUADA DE LODOS (LEGISLACIÓN).

La experiencia nacional en materia de prevención, preparación y respuesta a los desastres tecnológicos, sobre todo los relativos a la liberación súbita de sustancias peligrosas, es relativamente reciente y adquiere gran impulso a mediados de la década de los 80's. Sin embargo, se han logrado grandes avances que es preciso valorar teniendo como marco de referencia las recomendaciones y lineamientos que han surgido a nivel internacional, además de los compromisos contraídos por nuestro país al suscribir convenios binacionales o multinacionales y al adoptar las decisiones del Consejo de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) cuando ingresó a ese organismo. En materia de riesgo se presenta una síntesis del contexto nacional e internacional en el que se encuentra nuestro país.

En el contexto internacional.- Los cientos de accidentes que se han producido en todo el mundo a partir del uso de sustancias peligrosas, dieron lugar a la formación de diferentes tipos de organizaciones y programas para su prevención y control. De éstas, se mencionan en este apartado las que más influencia han tenido en México (se denomina sustancia peligrosa a aquella que por sus índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una acción negativa al ambiente, a la población y a sus bienes, DOF, 28-III-1990.)

A medida que se ha incrementado la dependencia de productos químicos para satisfacer los requerimientos de la vida moderna, los gobiernos han identificado las necesidades de establecer ordenamientos jurídicos para su control, y las leyes nacionales sobre productos químicos, que establecen actualmente un marco para proteger a la población de sus efectos adversos sobre la salud y el ambiente. Dichas leyes tienen la finalidad de: identificar objetos, delegar responsabilidades para su cumplimiento y verificación, y establecer sanciones por incumplimiento. A su vez, la aplicación de las leyes requiere del establecimiento de reglamentos detallados. El grado de participación de los gobiernos depende de diversos factores de índole nacional, tales como: limitaciones constitucionales, tradiciones políticas, tamaño y geografía del país y su grado de industrialización.

En el contexto nacional.- Nuestro país ha ido adecuando su marco jurídico en la materia. El resultado de la maduración de las leyes que contemplan la prevención del riesgo ambiental ha derivado en el diseño de marcos institucionales (entendiéndose éstos como las relaciones entre las diferentes instancias a las cuales la legislación se refiere).

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (*) establece las bases sobre las que se estructura el sistema jurídico de gestión (prevención, respuesta y remediación) de los accidentes donde se involucran sustancias peligrosas. Estas disposiciones se encuentran dispersas en toda la Constitución y son referidas a aspectos ambientales, a determinadas actividades que puedan generar efectos negativos en el ambiente, los recursos naturales, la salud humana y al patrimonio cultural, entre otros. A partir de estos conceptos se ha emitido un conjunto de leyes, las cuales son reglamentarias de la Constitución; en ellas se encuentra el sustento para la regulación en materia de prevención control y atención a accidentes químicos. Estos aspectos legales, aunque se encuentran comprendidos en diversas leyes, en la práctica se interrelacionan, ya que la posibilidad de que ocurra un accidente también genera serias implicaciones para la salud, el ambiente y la infraestructura, así como repercusiones económicas, sociales y políticas.

Por otra parte la Constitución prevee y define a los órganos administrativos encargados de ejercer y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales que de ella amanen. La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal establece las responsabilidades de los organismos del Ejecutivo Federal que, desde su particular área de competencia, regulan y actúan en las diferentes fases los accidentes con productos peligrosos, incluyendo los relativos a la prevención y la preparación de la respuesta a emergencias. El marco legislativo ambiental establece que cuando se trate de obras o actividades consideradas altamente riesgosas, la Manifestación de Impacto Ambiental deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente.

* En nuestro país, la normatividad en este rubro tiene su origen en nuestra Carta Magna, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la que en sus artículos 4o. (protección de la salud), 27 (Propiedad, cuidado y conservación de las aguas y recursos naturales) y 73, fracc. XVI (Consejo de Salubridad General) norma la política ambiental a seguir para proteger la salud y el ambiente; además en el Artículo 115 le dá reponsabilidad a los Municipios del maneja de las aguas residuales en las poblaciones, ya que según los juristas, las aguas que maneja el municipio (agua potable y las aguas residuales en el Alcantarillado) son las únicas que no son de jurisdicción federal.

Los estudios de riesgo son un instrumento de carácter preventivo vinculado al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, cuando se trata de nuevos proyectos y se requiere en aquellas actividades que manejan materiales y operan procesos peligrosos con objeto de identificar el potencial de afectación a la población, a las propiedades y al ambiente, ya sea por su ejecución, operación normal o en caso de accidente. Los estudios de riesgo ambiental incluyen la identificación de riesgos en actividades industriales; así como medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas ante contingencias como explosiones, incendios, fugas, derrames, etc. En el marco de la evaluación de los estudios de riesgo, se pide el o los casos que ameritan la presentación de programas para la prevención de accidentes.

En 1988 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), organismo responsable de definir y establecer a aquellos materiales que por sus características peligrosas representen un peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente, define en la norma técnica ecológica correspondiente que los lodos generados durante la oxidación del tratamiento de aguas residuales se consideran residuos peligrosos (DOF, 6 de junio de 1988). Sin proponer algún tratamiento, enfatiza en la importancia de tratar los residuos peligrosos de manera que se minimice el peligro que representan para el medio ambiente.

Posteriormente la LGEEPA bajo el dictamen de su artículo 146, establece que deberán publicarse en el D.O.F. los listados de las actividades altamente riesgosas, lo cual ocurrió en dos ocasiones después del publicado en 1988: el 28 de marzo de 1990 y el 4 de mayo de 1992 bajo la jurisdicción de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL); en estos listados de actividades y residuos peligrosos no se enlistan a los lodos residuales biológicos.

El 22 de octubre de 1993, se publica en el D.O.F. la NORMA oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, considerándose como un residuo peligroso aquel que contempla al menos una de las características definidas en el código CRETIB; definiéndose éste como el código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso.

Las actividades que generan residuos peligrosos pueden aplicarse a diferentes giros o procesos, entendiéndose como proceso al conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención acondicionamiento, envasado, manejo y embalado de productos intermedios o finales.

En el anexo 2, tabla 1 de la mencionada norma, se describe la clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso, denominando al giro como "5.1", al proceso industrial como "producción general" y al residuo peligroso como "lodos del tratamiento de aguas", cuyas características son: tóxicos, reactivos, explosivos y biológico infecciosos (No. de lista RP5 1/01).

Regulación del manejo de los lodos como residuos peligrosos.

El reglamento de la ley en materia de residuos peligrosos (art. 10) determina que se requiere autorización de la SEMARNAP para instalar y operar sistemas de recolección,

almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos, así como para prestar servicios en dichas operaciones sin perjuicio de las disposiciones aplicables en materia de salud y de seguridad e higiene en el trabajo.

La regulación directa de los materiales y residuos peligrosos (entre estos los lodos residuales), contempla una gran diversidad de actividades industriales y de servicios que generan un conjunto muy heterogéneo de residuos peligrosos (R.P.). Esto, aunado al riesgo implícito y a sus efectos potenciales sobre la salud y el ambiente, que ha hecho necesario establecer un sistema de permisos, autorizaciones y manifiestos que se diseñan específicamente para cada caso particular y que están previstos en la legislación.

En el Artículo 148 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales se cita, "*Los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales, deberán estabilizarse en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias de la materia*", en este mismo reglamento únicamente se hace énfasis en los sitios para su estabilización los cuales, indica, que deberán impermeabilizarse para no permitir el paso de lixiviados, y contar con drenes o estructuras que permitan la recolección de éstos. El mismo reglamento indica que los lodos estabilizados o desaguados que no presenten concentraciones no permisibles de sustancias peligrosas, deberán enviarse a sitios de confinamiento controlado conforme a la normatividad de R.P.

El volumen creciente de R.P. generados en el país y la limitada infraestructura que existe para su manejo, propician una disposición clandestina en tiraderos municipales o cuerpos de agua. Se estima que tal vez sólo alrededor del 4% del total de residuos peligrosos generados en México recibe un manejo adecuado (reciclamiento o confinamiento) a través de los sistemas y de la infraestructura existente (SEDESOL, 1993).

Los rezagos y necesidades derivados de estas limitaciones, mismos que irán siendo subsanados gradualmente, junto con las normas y regulaciones aplicables a la generación y al manejo de este tipo de residuos, han creado un clima de certidumbre para la inversión en sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento, reciclaje y confinamiento controlado. Esto se traduce en un incremento importante en la demanda de solicitudes, permisos y autorizaciones, las cuales requieren en ocasiones de un detallado análisis técnico, así como de solvencia moral y credibilidad pública.

1.4 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso biológico conocido como "lodos activados" descrito en su forma más sencilla, es una oxidación biológica que comprende la mezcla de aguas residual (substrato) con una masa heterogénea de microorganismos que en condiciones aerobias producen sustancias estables: agua, bióxido de carbono y energía, está última para generar nuevas células por síntesis que a su vez se transforma a bióxido de carbono y agua al terminar su ciclo (figura 1.1)

Realmente el proceso de lodos activados en su acepción más simple solamente acelera el proceso biológico natural de purificación del agua reduciendo el tiempo en el espacio, controlando las variables que intervienen en éste. Generalmente se requieren etapas previas de tratamiento para acondicionar las aguas crudas y facilitar el proceso (pretratamiento).

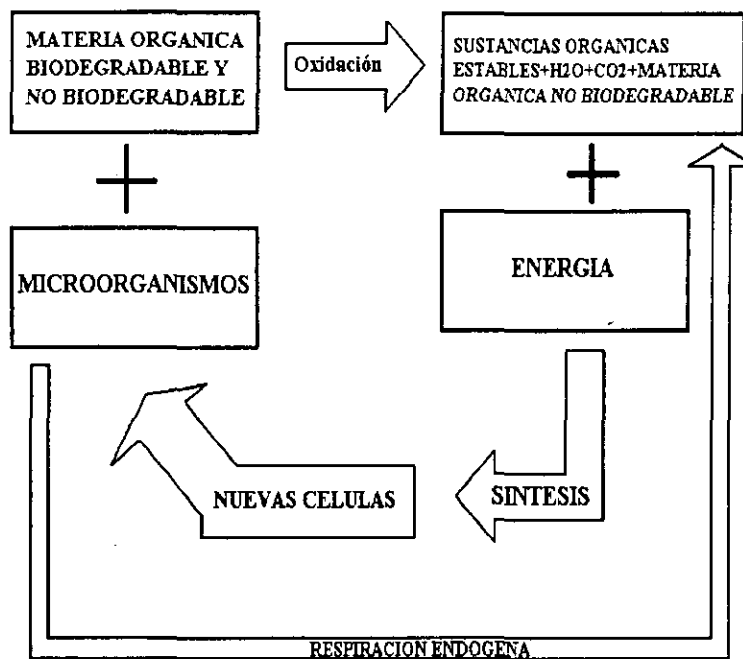


FIGURA 1.1 PROCESO DE BIODEGRADACIÓN (FUENTE: Modificado de Ruiz, 1990)

El proceso completo aplicado para el tratamiento normalmente se forma por las siguientes etapas:

- a) Tratamiento preliminar.- Cuyo propósito es separar de las aguas residuales arenas y sólidos de gran tamaño que puedan obstruir y dañar el equipo de bombeo. Esto se realiza principalmente por medio de rejillas y desarenadores, aunque pueden utilizarse procesos adicionales como desgrasadores, aireadores, flotación y homogeneización.
- b) Sedimentación primaria.- Su propósito es la separación de sólidos suspendidos y sedimentables, así como grasas y aceites y materia flotante; esto se realiza en tanques normalmente de forma rectangular o circular con sistemas de desnatado.
- c) Aerador o reactor biológico.- Su propósito es proveer los requerimientos de oxígeno, nutrientes, mezclado y otras condiciones ambientales para que los microorganismos existentes degraden la materia orgánica contenida en el agua residual. Esto se realiza en un tanque rectangular o circular dotado de un sistema de aeración ya sea por difusión o en forma mecánica.
- d) Sedimentación secundaria.- En el cual se realiza la separación por gravedad de los flocos o lodos activados del licor mezclado produciendo un efluente clarificado. Por otro lado los lodos sedimentados son recolectados en tolvas para recircular una parte al aerador para mantener la concentración adecuada de microorganismos y otra parte se desecha del proceso mediante purgas.

1.4.1 Variantes del proceso de lodos activados

Con la finalidad de conseguir una mejor operación y por consiguiente técnicas económicas se introdujeron variantes respecto al proceso convencional de lodos activados, de las cuales se mencionan algunas:

- a) Lodos activados con mezcla completa.- Es el sistema de lodos más sencillo, consiste en la mezcla completa y purga total de lodos (sin recirculación), formando solamente un depósito de aeración, El contenido total del tanque se mezcla uniformemente con toda la masa microbiana.
- b) Lodos activados con adición escalonada.- La entrada del agua residual al tanque de aeración se distribuye en varios puntos a lo largo del mismo, esto hace que varios parámetros que tienen relación con el caudal o tiempo de retención varíen considerablemente; es el caso de la concentración de microorganismos (SSVLM), relación alimento-microorganismo (F/M) y tiempo de retención hidráulico (TRH) cuyos valores cambian conforme se producen las adiciones.
- c) Lodos activados con adición de alta tasa.- Por lo general no utiliza sedimentador primario, se emplea normalmente como primera etapa cuando se desea nitrificación completa. Este proceso tiene las características de altos costos de operación y baja eficiencia respecto a otras variantes.
- d) Lodos activados con aeración extendida.- La característica de la variante es la alta permanencia o tiempo de retención en el aerador así como concentraciones elevadas de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM). Casi no presenta problema de disposición de lodos por la estabilización durante la permanencia en el aerador.
- e) Lodos activados con aeración con oxígeno.- El proceso se realiza con la inyección directa del oxígeno en lugar de aprovechar la cantidad que existente en el aire, este proceso es el más eficiente y presenta las siguientes ventajas:
 - Menor inmovilizado, mayor contacto entre microorganismos con la materia orgánica.
 - Menor consumo de energía.
 - Menor producción de lodos, por tanto menor costo en la disposición de lodo.
 - Menor tamaño de instalaciones.

1.4.2 Parámetros de diseño del proceso de lodos activados.

El diseño de plantas de tratamiento biológico dependió durante mucho tiempo del uso de parámetros de diseño y correlaciones empíricas.

El trabajo de Eckenfelder (1970) ha sido de gran contribución para la racionalización de las prácticas de diseño del proceso de lodos activados; obteniéndose a través de modelos las constantes cinéticas que permiten dimensionar el sistema y que son:

CONSTANTES CINÉTICAS DE DISEÑO	UNIDADES
- Constante de reacción o remoción	K [día ⁻¹]
- Coeficiente de síntesis	a [Kg SSVrem./ Kg DQO]
- Coeficiente de respiración endógena	b [Kg SSV/ Kg SSVxdía]
- Demanda de oxígeno para oxidación	a' [Kg O ₂ / Kg DQO rem.]
- Demanda de oxígeno fase endógena	b' [Kg O ₂ / Kg SSVxdía]

La mayoría de los parámetros de diseño son de utilidad para evaluar el funcionamiento del proceso. A continuación se definen los mas importantes.

- a) Tiempo de retención hidráulica (TRH).- Es el tiempo en horas que transcurre entre la entrada de agua a un tanque y su salida.
- b) Carga orgánica volumétrica (DBO o DQO).- Es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico del agua residual por unidad de tiempo. La materia orgánica es expresada indirectamente mediante la demanda bioquímica de oxígeno o demanda química de oxígeno.
- c) Sólidos suspendidos volátiles en licor mezclado (SSVLM).- Se le considera como una medida indirecta de la cantidad de microorganismos activos (biomasa) existentes en el tanque de aeración.
- d) Relación alimento-microorganismo (F/M).- Expresa la relación existente entre la cantidad de materia orgánica aplicada como alimento en el tanque de aeración por día y la cantidad de microorganismos existentes.
- e) Tiempo medio de retención celular (TMRC).- Se define como el tiempo promedio en días, que un microorganismo permanece teóricamente en el proceso de tratamiento.
- f) Tasa de recirculación (r).- Indica el porcentaje del gasto de lodos activados retornado al tanque de aeración.
- g) Gasto de influente (Q_i).- Se refiere al caudal en l/s que ingresa al proceso de tratamiento.
- h) Gasto de recirculación (Q_r).- Cantidad de lodos en l/s que retornan al tanque de aeración del sedimentador secundario.
- i) Gasto de purga (Q_p).- Cantidad de lodos en l/s que se desechan del sistema.

1.4.3 Factores que influyen en el proceso.

- a) Requerimiento de oxígeno.- Este elemento es vital para que los microorganismo cumplan con sus funciones. El requerimiento depende fundamentalmente de la **-carga orgánica aplicada y de la cantidad de lodos activados-**. En cualquiera de los casos se acepta que la cantidad mínima de oxígeno disuelto en el licor mezclado debe ser de 2 mg/l, en las

inmediaciones de la entrada por razones del ingreso de la recirculación.

- b) Requerimiento de nutrientes.- Para las reacciones biológicas que se llevan a cabo en la síntesis de nuevas células se necesitan elementos químicos como carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) fundamentalmente con pequeñas cantidades de fósforo, azufre, sodio, potasio, calcio, etc., que en su mayoría se encuentran en las aguas residuales.
- c) Presencia de sustancias tóxicas.- No es raro o difícil encontrar en las aguas residuales compuestos que pueden inhibir el proceso. Los agentes tóxicos más importantes son los de origen industrial por ejemplo:
- Metales pesados.
 - Grasas y aceites.
 - Hidrocarburos.
 - Compuestos orgánicos sintéticos.
 - Sustancias radiactivas.
- d) Temperatura.- Influye directamente en la velocidad de degradación de la materia, así como en la solubilidad del oxígeno.
- e) Recirculación y purga de lodos.- Son parámetros de operación que inciden en forma considerable en el comportamiento del proceso, ya que afectan cantidad y calidad de los microorganismos.
- f) Comportamiento hidráulico.- Este comportamiento ha demostrado ser de suma importancia, ya que el modo en que se realiza el paso del agua a través de las diferentes unidades que integran el proceso, determina también el aprovechamiento al máximo de las instalaciones, definiendo zonas muertas, de transición, de corto circuito; traduciéndose en deficiencias del proceso.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CERRO DE LA ESTRELLA" Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Desde 1956, el Departamento del Distrito Federal aprovecha y reusa las aguas residuales tratadas. La primera planta que se pone en operación es la de Chapultepec, utilizando sus aguas en el llenado de lagos recreativos y en el riego de áreas verdes. La necesidad de utilizar agua residual tratada aumenta en forma considerable y ha sido necesario incrementar la infraestructura de este servicio permanentemente (tabla 1.9).

Actualmente, la infraestructura de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de México y su zona metropolitana cuenta con 16 plantas operadas por la DGCOH, 4 concesionadas, 1 operada por la UNAM, 2 operadas por la SEDENA y 44 más manejadas por los mismos usuarios. Adicionalmente la DGCOH, está construyendo una planta en la zona poniente del Distrito Federal, con la que se tiene un total de 68 plantas registradas. El agua residual tratada proveniente de estas plantas se emplea principalmente en el riego de áreas verdes, el llenado de lagos recreativos y canales, en la industria, el riego agrícola y en el sector comercial.

La capacidad nominal instalada de las plantas operadas por dependencias gubernamentales es de 6,916 l/seg, mientras su capacidad de operación es de 3,883 lt/seg. En once de dichas plantas se tiene la posibilidad de crecer cuantitativamente en un gasto global que asciende a 880 lt/seg.

Las causas que inciden en la diferencial de aprovechamiento provienen de problemas de geotécnia y de la propia vida útil de los componentes de los sistemas. En el caso de las planta operadas por los usuarios, la capacidad nominal es de 75.933 l/seg. Se estima que el caudal que se trata en plantas no registradas es de 38. l/seg. En resumen se cuenta con una capacidad nominal de 7,029.933 l/seg, un gasto real de tratamiento de 3,996 l/seg y un potencial de expansión de 880 l/seg. Lo anterior significa que se utiliza solamente el 57% de la capacidad de la infraestructura instalada (ver tabla 1.9).

TABLA 1.9 INFRAESTRUCTURA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CD. DE MÉXICO

PLANTA DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD NOMINAL L.P.S.	GASTO DE OPERACIÓN L.P.S.	NIVEL DE TRATAMIENTO
EL ROSARIO	25	16	AVANZADO
CD. UNIVERSITARIA	60	30	TERCIARIO
COYOACAN	800	336	SECUNDARIO
TLATELOLCO	22	14	SECUNDARIO
ACUEDUCTO DE GUADALUPE	100	57	SECUNDARIO
SAN JUAN DE ARAGÓN	500	364	SECUNDARIO
IZTACALCO	15	10	AVANZADO
CD. DEPORTIVA	230	80	SECUNDARIO
CERRO DE LA ESTRELLA	4,000	2,300	TERCIARIO
BOSQUE SE LAS LOMAS	55	27	SECUNDARIO
CHAPULTEPEC	160	106	SECUNDARIO
CAMPO MILITAR No.1	30	30	SECUNDARIO
SAN JUAN IXTAYOPAN	30	15	SECUNDARIO
SAN NICOLÁS TETELCO	30	15	SECUNDARIO
ABASOLO	30	15	SECUNDARIO
H. COLEGIO MILITAR	30	18	SECUNDARIO
PARRES	30	7.5	SECUNDARIO
PEMEX-PICACHO	20	25	SECUNDARIO
SAN MIGUEL XICALCO	15	7.5	SECUNDARIO
SAN LUIS TLAXIALTEMALCO	150	110	TERCIARIO
RECLUSORIO SUR	30	13	SECUNDARIO
SANTA FE	560	280	SECUNDARIO
TOPILEJO	7	—	SECUNDARIO
RASTRO MILPA ALTA	7	7	SECUNDARIO
PARTICULARES	75,933	75,933	SECUNDARIO
NO REGISTRADAS	38	38	SECUNDARIO
TOTAL	7,029.93	3,996.93	

FUENTE: DGCOH y DDF, 1995.

Dentro de toda esta infraestructura destaca, por su magnitud, la planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la Estrella", con capacidad de 4000 litros por segundo a nivel terciario. Se localiza en la zona sur-oriente de la ciudad en la delegación Iztapalapa y se aloja en una superficie de 9 ha.

1.5.1 Descripción de la planta

La planta de tratamiento "Cerro de la Estrella" inició su operación en el año de 1971, produciendo un caudal a nivel secundario de 2,000 litros por segundo que se usaba para el riego agrícola en las delegaciones de Tlahuac y Xochimilco, así como en canales para la zona turística.

Más tarde, la necesidad de agua residual tratada se diversificó y aumentó. Los sectores industrial y comercial se incorporaron al uso del agua residual tratada. Asimismo, la creación del programa de rescate de la zona lacustre de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco, en el año de 1989, se basa fundamentalmente en la aportación de caudales adicionales de agua tratada de mejor calidad, por lo que las autoridades del Departamento del Distrito Federal a través de la DGCOH, construyeron los módulos 3 y 4, así como las unidades de filtración para alcanzar una producción de 4,000 litros por segundo de agua a nivel terciario.

El tratamiento terciario en la planta Cerro de la Estrella, abrió la posibilidad de llevar a cabo la recarga artificial del acuífero con agua de calidad apropiada para ese fin. Esta actividad se viene realizando con éxito, desde el año de 1992, y durante 1994 se inicia la recarga artificial del acuífero con 1000 lps, a través de la laguna de infiltración, en las estribaciones de la sierra de Sta. Catarina.

1.5.2. Tren de tratamiento

Las aguas residuales que recibe la planta del Cerro de la Estrella, provienen de la estación de bombeo Aculco situada en el cruce de las avenidas de río Churubusco y de Apatlaco en la delegación Iztacalco, de donde se conducen hasta la planta de tratamiento, a través de una tubería de 1.83 metros de diámetro y una longitud de 8 mil metros, En el sistema de rejillas de la planta de bombeo se efectúa un pretratamiento para eliminar el material sólido más grueso.

El tratamiento de las aguas residuales, en la planta cerro de la estrella, se efectúa mediante el proceso biológico convencional de lodos activados y filtración con arena, grava y antracita, más desinfección con cloro (figura 1.2).

1.5.3. Sedimentación primaria

Las aguas que llegan a la planta reciben un tratamiento primario que consiste en la decantación por gravedad de una parte de la materia en suspensión y el retiro de grasas, aceites y natas sobrenadantes. Para esto, se cuenta con estructuras que contienen un sistema de recolección de sólidos, constituidos por rastras, que se mueven lentamente para concentrar el material sedimentado en el fondo de los tanques, hacia tolvas ubicadas al inicio para su posterior extracción. También las rastras recogen el sobrenadante hacia los desnatadores que se encuentran en el extremo final. El efluente del sedimentador primario se conduce por medio de canaletas, hasta el tanque de aeración, para iniciar el tratamiento secundario.

1.5.4. Tratamiento secundario

Este proceso se integra por dos unidades. En la primera, se lleva a cabo el desdoblamiento de la materia orgánica, utilizando la acción biológica en medio aerobio, es decir, el tanque de aeración recibe el agua presedimentada, bacterias y protozoarios (que realizan la tarea más importante al desintegrar la materia orgánica), lodos de los sedimentadores para mantener en equilibrio el proceso y aire disperso en el fondo del tanque para garantizar el oxígeno necesario en la reproducción y desarrollo de los microorganismos. El sedimentador secundario, recibe el agua del aerador con la materia digerida y microorganismos que se precipitan y concentran

mediante rastras, a tolvas para recircularlos nuevamente al aerador o enviarla al drenaje y, en un futuro próximo, al tratamiento de lodos, en éste también, se realiza un pulimento del tratamiento con lirio acuático que elimina el cincuenta por ciento de sólidos en suspensión, antes de pasar a los filtros; mediante el empleo del lirio acuático se ha mejorado la calidad del efluente del tratamiento secundario.

1.5.4 Tratamiento terciario

El efluente del sedimentador secundario se somete a un proceso adicional para obtener agua de mejor calidad, el tratamiento terciario consiste en hacer circular el agua a través de filtros empacados con grava, arena y antracita.

1.5.6 Desinfección

El último proceso al que se somete el agua, consiste en pasarla por un tanque, donde se adiciona cloro gas en solución, que está provisto de una serie de mamparas cuya función es garantizar en un tiempo necesario el contacto efectivo, para que se lleve a cabo la destrucción de microorganismos patógenos y materia orgánica remanente en el agua. Al final de la desinfección pasa a un cárcamo de donde se bombea hasta los diferentes usuarios del sistema de tratamiento y reúso.

1.5.7 Equipos auxiliares

Para poder realizar las funciones de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, se cuenta con una serie de equipos especiales, entre los que se pueden mencionar: dosificadores de cloro, tableros de control de motores, compresores de aire, subestación eléctrica y generadores de energía eléctrica, laboratorio para análisis del agua producida, así como la planta experimental de tratamiento avanzado para investigar los procesos más eficientes y económicos.

1.5.8 Características del agua

La calidad del efluente terciario, producido por la planta de tratamiento de aguas residuales cerro de la estrella, cumple con algunos de los parámetros analizados que se encuentran dentro de la norma de agua potable (tabla 1.10).

1.5.9 Uso del agua residual tratada

Del caudal tratado en la planta Cerro de la Estrella el 56% se emplea en el llenado de canales y lagos recreativos, así como en el riego agrícola en la zona chinampera de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco (se riegan 6000 ha); 25% para la recarga del acuífero; 8% se utiliza en el sector industrial; 8% en el riego de áreas verdes, principalmente en las zonas de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco, y el rescate 3%, se emplea en el sector comercial, básicamente para el lavado de automóviles, autobuses y carros del sistema de transporte colectivo metro.

Ante la creciente necesidad de tratar el agua residual, se requiere continuar con los trabajos que permitan mejorar los procesos de tratamiento y ampliar la capacidad y calidad de las plantas

de tratamiento existentes, tarea que ayudará a reforzar la nueva cultura del agua entre los usuarios de los servicios hidráulicos de la Ciudad de México.

TABLA 1.10 CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL EFLUENTE TERCIARIO DE LA PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA

Parámetro	Unidades	Norma de agua potable NOM-127	Efluente de la PTARCE
Físicos			
pH	Unidades de pH	6.5 a 8.5	7.78
Color	PtCo	20	25
Turbiedad	UTN	5	1.2
Conduc. eléc.	$\mu\text{S/cm}$	--	655
Sólidos totales	mg/l	--	488
Sól. disueltos tot.	mg/l	--	482
Sól. susp. tot.	mg/l	--	6
Químicos			
Alcalinidad total	mg/l como CaCO_3	400	158
Dureza total	mg/l como CaCO_3	500	148
Cloruros	mg/l	250	55
D.B.O. ₅ Total	mg/l	--	2
D.Q.O. Total	mg/l	--	12
Nitrógeno amon.	mg/l	0.5	0.28
Fósforo tot.	mg/l	--	3.9
Grasas y aceites	mg/l	0	3.9
S.A.A.M.	mg/l	--	0.17
Bacteriológicos			
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0
Coliformes totales	UFC/100 ml	2	0

FUENTE: DGCOH y DDF, 1989 y NOM-127-SSA1-1994

1.6 DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES

La disposición de lodos residuales debe considerar los siguientes aspectos: tener bajo costo, un mínimo impacto sobre el ambiente, ser eficiente, tener la capacidad para adaptarse a los requerimientos de desarrollo futuros y aprovechar la energía que contienen estos desechos. La tecnología convencional no siempre reúne estas condiciones, por ejemplo; un relleno sanitario necesita una alta inversión en maquinaria y además un terreno adecuado, ya que puede provocar problemas de contaminación por lixiviados al acuífero, escurrimientos a las corrientes de agua superficial y problemas con los gases generados por la degradación anaerobia.

Existe la experiencia en otras partes del mundo, en cuanto al aprovechamiento de lodos residuales como fertilizante organomineral o acondicionador de suelo, debido a su alto contenido en materia orgánica y nutrientes. Para utilizar el lodo sin ningún problema sanitario se ha desarrollado el sistema de composteo el cual reduce la concentración de contaminantes a niveles que no causan problemas a la cadena alimenticia ni a la salud. Las opciones más convenientes para la utilización o disposición final de lodos residuales son: relleno sanitario, mejorador de suelos, confinamiento controlado, extensión sobre terrenos y vertido al mar.

Se tiene la experiencia que la opción más atractiva para las condiciones de nuestro país es la de mejoramiento de suelos mediante la técnica de composta, ya que el composteo de lodos residuales representa una alternativa con posibilidades de ser implementada como alternativa base. Para poder ser viable necesitaría de realizarse un estudio detallado de mercado y de contar con el apoyo principalmente de los industriales. Unas de las desventajas del composteo es el requerimiento de área, ya que se requieren en promedio 250 m² por tonelada de lodo producido al día, así como el continuo manejo de materiales (tanto el lodo como los materiales acondicionadores).

La incineración es una alternativa que únicamente simplifica el manejo de lodos y que además requiere un estricto control de las emisiones a la atmósfera (no propia para la Cd. de México), ya que no se cuenta hasta la fecha con un control adecuado de emisiones gaseosas lo que puede ocasionar un riesgo sanitario, haciéndolo un proceso de alto costo. También se debe considerar la adecuada disposición o uso que se le vaya a dar a las cenizas, esto implicaría un incremento en los costos totales, en general representa una opción atractiva de disposición y se propone como una opción de uso alternativo que sirva de apoyo a la opción base.

El relleno sanitario aunque es la opción más conveniente en nuestro país, representa la alternativa más costosa, con mayores problemas de operación y de contaminación, por lo cual no se recomienda llevarla a cabo, salvo cuando la opción base y alternativa, tengan alguna falla eventual en el proceso.

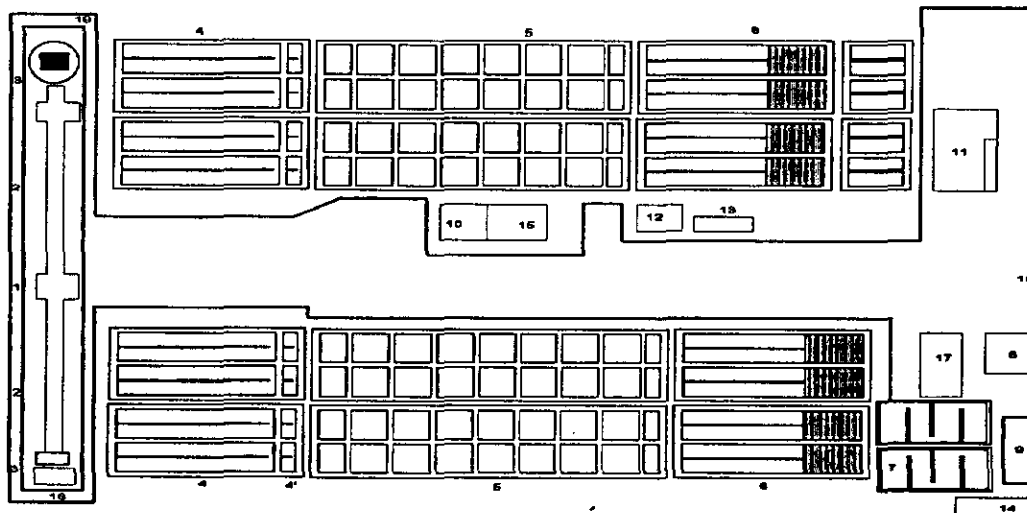


FIGURA 1.2 ESTRUCTURA GLOBAL DE LA PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA

1	CAJA DE LLEGADA	2	CANAL PARSHALL	3	CAJA PARTIDORA
4	SEDIMENTADOR PRIMARIO	4'	ESPUMADOR	5	AIREADOR
6	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	7	DESINFECCIÓN	8	SALA DE CLORACIÓN
9	CARCAMO DE BOMBEO	10	SALA DE SOPLADORES	11	OFICINAS Y LABORATORIO
12	CUARTO DE CONTROL	13	SUBESTACIÓN	14	CONTROL DE BOMBAS
15	SALA DE SOPLADORES (U-3)	16	TANQUE DE CLORO	17	DETAAR
18	CASETA DE VIGILANCIA	19	DETB		

Capítulo 2.

ESTADO DEL ARTE DEL ESPESAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS MEDIANTE FLOTACIÓN

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Hace aproximadamente 2000 años, los antiguos Griegos usaron el proceso de flotación para separar los minerales deseados del material no aprovechable de un yacimiento (AWWA, 1990).

En la misma referencia se cita que cuando se tenía que preparar el material del yacimiento para su extracción, éste se sometía a un proceso de trituración, al triturar el material, por lo general se producían grandes cantidades de polvo, el cual causaba molestias a los trabajadores, para eliminar este polvo se regaba con agua, pero tenía que ser en cantidades muy considerables, se observó entonces que al desempolvar, en los charcos formados por el agua se retenían sobre la superficie algunos minerales deseados, tales como el oro, plata, cobre, etc. fue por lo tanto que surgió la idea de implementar un artefacto que produjera por tensión superficial, la retención de los minerales sobre la superficie para posteriormente poderlos recolectar con otro artefacto, esto se podía lograr ayudando a los minerales cuya densidad era poco mayor que la del agua, con la introducción de una sustancia que ayudara a la suspensión de éstos. En 1860, Haynes.- fue el primer investigador que patentó un proceso en el cual el aceite era usado para ocasionar la separación de mineral que provenía de los desechos del yacimiento. El mineral se hacía flotar con el aceite cuando la mezcla era agitada junto con el agua.

En 1905 Salman, Picard y Ballot (citado en AWWA, 1990); desarrollaron la "flotación mediante espuma densa" (*froth flotation*), proceso que lograba una agitación con la ayuda de aire suministrado, para formar espuma que podía dividir finamente el material contenido en el agua. Se agregaba una cantidad pequeña de aceite para favorecer el proceso y así suspender en este caso pequeños granos de sulfuro; mediante este proceso se obtenía una buena y mejor flotabilidad. El mecanismo de este proceso era unir las burbujas de aire con los minerales deseados, recolectados en la superficie como una pulpa espumosa, mientras que el resto del material no deseado se sedimentaba para posteriormente ser evacuado y desechado. El primer aparato de flotación con este sistema (*froth flotation*), fue desarrollado por T. Hoover en 1910, que en comparación con los usados actualmente no existe gran diferencia en cuanto al tamaño.

Más tarde, en 1914, Callow (mencionado en AWWA, 1990) introduce burbujas de aire difundíéndolas a través de estratos de material poroso o esponjoso sumergidos en el recipiente

de flotación. Este proceso es denominado como "flotación con espuma ligera o espumante" (foam flotation). Los dos procesos; flotación espumante y flotación con espuma densa, son conocidos comúnmente como flotación con aire disperso y en la actualidad su principal aplicación es en la industria minera.

En 1904 Elmore (citado en AWWA, 1990) sugiere emplear la electrólisis para producir las burbujas de aire. Este proceso no es muy comercial pero en la actualidad se ha desarrollado con buenos resultados en el empleo de la flotación (denominada como flotación electrolítica). Este mismo autor también fue el primero en desarrollar la flotación mediante aire disuelto (aire al vacío), y lo conseguía aplicando previamente aire en un medio líquido, en el que se disuelve el aire y produce posteriormente la liberación de aire en forma de diminutas burbujas.

La patente original del proceso de flotación por aire disuelto a presión, fue emitida en 1924 por Peterson y Sveen (mencionado en AWWA, 1990), y lo aplicaron en la recuperación de fibras así como para la clarificación del agua usada en el proceso de elaboración del papel. En el proceso de flotación por aire disuelto a presión, las burbujas de aire son producidas por la liberación de agua saturada de aire a presión superior a la atmosférica.

En un principio la aplicación de la flotación fue principalmente en la remoción de grasas y aceites, fibras o materias que hallan tenido una densidad poco menor que la del agua, sin embargo, mas tarde; en la década de los 60's, la aplicación del proceso fue aceptable también para el tratamiento de agua potable y agua residual (AWWA, 1990).

En la actualidad el proceso de flotación con aire disuelto ha sido extensamente aplicado en el espesamiento de lodos residuales, especialmente en los países Escandinavos y el Reino Unido, sin embargo no ha tenido buena aceptación en el tratamiento de aguas residuales, ya que lo hace un proceso alternativo a la sedimentación y actualmente combinado con la aplicación de productos químicos. La flotación es empleada principalmente para el tratamiento de aguas que tienen dificultad para clarificarse por sedimentación, ya que el flóculo producido por la coagulación química, tiene una muy baja velocidad de sedimentación, ejemplo de este tipo de aguas sería aquellas cuyas fuentes son depósitos que contienen considerables suspensiones de algas, relativa turbiedad, baja alcalinidad y agua con color (AWWA, 1990).

2.1.1 Estudios recientes de espesamiento de lodos mediante el proceso DAF

Durante los últimos seis años la tecnología de Flotación con Aire Disuelto (DAF), ha sido estudiada arrojando buenos resultados. En la república de Sud Africa y particularmente en el Reino Unido se ha aplicado tanto en el tratamiento de aguas residuales como en el espesamiento de lodos generados de estos tratamientos.

Los investigadores Van Vuuren y Van Der Merwe (1989), realizaron un estudio que describe principalmente a los parámetros del proceso, tales como: la relación aire/sólidos, saturación del aire, velocidad ascensional de las partículas de lodos, proporción de carga hidráulica y tiempo de retención. Este estudio fue denominado "Espesamiento de Lodos por Flotación con Aire Disuelto", en él, argumentan que en el proceso DAF se puede mejorar considerablemente la remoción de los sólidos espesados empleando el método adecuado, sin embargo, está sujeto a las desventajas tales como la generación de condiciones que provocan turbulencia en la

interfase flotantes/agua, el cual tiene un efecto en la dilución sobre la concentración de sólidos y también alguna degradación por el rompimiento de los floculos espesados, con el riesgo de entrar de nuevo en la zona de clarificación.

En 1993, los investigadores Sugahara y S. Oku, estudiaron los factores que influyen en el espesamiento de lodos mediante el proceso DAF, se analiza específicamente la alteración de las características de los lodos como resultado de la coagulación y aeración. Las unidades experimentales de espesamiento en los cuales trabajaron, demostraron que tanto la coagulación como la aeración mejoran el espesamiento de los lodos concluyendo así, que el parámetro más importante que influye en el espesamiento de lodos fue el tamaño de la partícula de lodo, ya que las partículas de gran tamaño producían altas concentraciones de sólidos en el lodo espesado. De igual manera indican que son bastantes los parámetros que influyen en la eficiencia del proceso DAF, siendo las más importantes el tamaño de la burbuja de aire y la naturaleza de los lodos, finalmente indican que se enfocó la atención a la naturaleza de los lodos para mejorar la eficiencia en el espesamiento.

En 1995, también en el Reino Unido J.R. Brant y W.A. Ambrose, establecieron un proceso DAF a nivel piloto en el que estudiaron el diseño y control del espesamiento de lodos biológicos, indicando que las variables del proceso tienen influencia en la clarificación y que a partir de estudiar estas variables es posible realizar ajustes operacionales para los espesadores a escala real. Diversas expresiones se derivaron en relación a la concentración de sólidos espesados y los lodos también espesados, pero en el fondo para un tiempo de drenaje efectivo. Indican que se logró formular los manuales de diseño y operación a partir de las ecuaciones establecidas en este estudio. Los resultados de este trabajo fueron obtenidos del agua residual del noreste de la ciudad de Filadelfia, y precisamente fueron usados para demostrar la validez de las expresiones derivadas.

2.2 ANÁLISIS TEÓRICO DEL ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN

Uno de los principales problemas en el tratamiento de agua residual es la eliminación de lodos, los cuales producen en grandes volúmenes en los tanques de sedimentación, éstos contienen un alto contenido de agua y su manejo, adecuación y disposición final pueden representar casi la mitad del costo del tratamiento.

En general son cinco los tipos de lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas residuales, dependiendo del proceso que se utilice (Tebbutt, 1990):

1. Lodos primarios: producto de la sedimentación primaria del agua residual.
2. Lodos secundarios: producto del tratamiento biológico del agua residual.
3. Formas digeridas de los dos anteriores en forma separada o mezclada.
4. Lodos de hidróxido: producidos por la coagulación y floculación de desechos.
5. Lodos de precipitación de las plantas de ablandamiento y del tratamiento de desechos industriales.

Todos estos lodos tienen bajos contenidos de sólidos (1 a 6%), lo que implica manejar grandes volúmenes para obtener una masa de sólidos relativamente pequeña. Por lo que, la principal preocupación en el tratamiento de los lodos es concentrar los sólidos por medio de la

remoción de tanta agua como sea posible. La densidad y la naturaleza de las partículas son factores que influyen considerablemente en el grosor del lodo producido (Tebbutt, 1990).

Una técnica alternativa de clarificación, que es especialmente conveniente cuando se trata de partículas con una densidad cercana a la del agua, es la **Flotación**. Con esta técnica las tasas de carga no están directamente relacionadas con las características de la suspensión; por esta razón es posible que los tiempos de retención sean relativamente cortos y aún así obtener una buena clarificación, el proceso requiere que se añada un agente de flotación, que normalmente son finas burbujas de aire, que se asocia con las partículas suspendidas y proporcionan el medio de flotación necesario para llevarlas a la superficie del tanque y removerlas en forma de natas.

La Flotación es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas o sólidas de una fase líquida y puede utilizarse en lugar de la sedimentación primaria para la separación de los sólidos suspendidos y flotantes. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de aire en la fase líquida.

El aire provoca la liberación de una nube de burbujas muy pequeñas en la base de la unidad de flotación, que se logra saturando una porción del flujo de agua con aire a alta presión; cuando el líquido presurizado se regresa al flujo principal que está a la presión atmosférica, el exceso de aire sale de la solución en forma de finas burbujas. Las burbujas de aire se adhieren o se entretajan con las partículas suspendidas, obligando a que suban así a la superficie debido a su baja densidad inducida.

Para las operaciones de tratamiento de agua son satisfactorias las relaciones de reciclaje de un 10% con presurizado hasta de 400 kPa (58.04 lb/plg² ó 4.08 kg/cm²), con lo que se obtienen velocidades de ascenso aproximadamente de 12 m/h con buena clarificación. La nata que se remueve de la superficie del tanque tiene por lo regular un contenido de sólidos más alto que el que se alcanza por sedimentación de la misma suspensión. El precio de las unidades de flotación es menor que el de las unidades de sedimentación equivalentes, pero los costos de operación son más altos. Estas diferencias influyen para que la flotación se aplique principalmente en suspensiones que tienen velocidades de sedimentación relativamente bajas (Tebbutt, 1990).

2.2.1 Tipos de Procesos de flotación

Se pueden emplear diferentes sistemas que producen las burbujas que ocasiona el ascenso de las partículas, estos sistemas dan lugar a cuatro proceso de flotación, los cuales son denominados como: Flotación por aire, Flotación electrolítica, Flotación con aire disperso y Flotación con aire disuelto.

Flotación por aire.- En este sistema las burbujas de aire se forman introduciendo la fase gas directamente en la fase líquido, por medio de un impulsor giratorio o de difusores. La aireación por sí sola durante un corto período de tiempo no es especialmente eficaz para conseguir la flotación de sólidos. Los tanques de aireación no garantizan la flotación de la grasa y otros sólidos del agua residual, se han obtenido buenos resultados con ciertas aguas residuales que producen espumas.

Flotación electrolítica o electroflotación.- Consiste en la generación de burbujas de hidrógeno y oxígeno en una dilución acuosa, pasando una corriente directa entre dos electrodos, el tamaño de la burbuja resulta ser muy pequeño y la velocidad de ascenso por lo tanto muy pobre; menor de 13.3 ft/h (4 m/h). La aplicación de esta técnica no es la conveniente para el espesamiento de lodos y el tratamiento de aguas residuales, excepto en plantas pequeñas que manejen caudales del orden de 3 a 6 l/s de agua residual (AWWA, 1990).

Flotación con aire disperso.- Existe dos sistemas de flotación con aire disperso: flotación con espuma ligera y flotación con espuma densa. La flotación de aire disperso es inadecuada para el tratamiento de agua ya que el tamaño de la burbuja tiende a ser grande además de que provoca turbulencia lo que ocasiona una velocidad de ascenso no uniforme y superior a la provocada por un régimen laminar (AWWA, 1990).

Flotación con aire disuelto.- En la flotación con aire disuelto mejor conocido como proceso DAF (Dissolved-Air Flotation), las burbujas son producidas por la saturación de agua con aire a presión. Existen tres sistemas del proceso DAF: Flotación al vacío, microflotación y flotación a presión, de estos tres la flotación a presión es la más comúnmente usada ya que el aire es disuelto previamente en agua bajo presión (AWWA, 1990).

En el proceso DAF el efluente clarificado es recirculado, presurizado y saturado con aire donde la presurización del agua recirculada se introduce hacia el tanque de flotación, a través de un dispositivo liberador de presión y mezclado con el agua, logrando reducir la presión del líquido presurizado a una cantidad menor que la presión atmosférica, y al liberarlo, el aire se desprende de éste formándose pequeñas burbujas cuyo diámetro varía de 20 a 100 μm ; las burbujas atrapan los floculos, formando una aglomeración de burbujas y floculos los cuales ascienden a la superficie. Los floculos flotados son removidos de la superficie y en el fondo del tanque se tiene agua clarificada que sirve para recircularla y presurizarla. El proceso DAF con recirculación resulta ser el más apropiado en el tratamiento de agua residuales y el espesamiento de lodos a gran escala.

2.2.2. Tipos de Sistemas DAF

La actual práctica de flotación DAF, tal y como se aplica al tratamiento de aguas residuales municipales, se limita al uso de aire como agente de flotación. Las burbujas de aire se introducen por algunos de los métodos siguientes (Metcalf & Eddy, 1991):

Flotación por aire disuelto.- En este sistema, el aire se disuelve en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas y a continuación se procede; como ya se indicó, a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico (figura 2.1). En las instalaciones de pequeño tamaño todo el gasto a tratar puede ser presurizado mediante un bomba de 40 a 50 lb/plg² (250 a 350 kPa), aplicando aire comprimido en la aspiración de la bomba. El gasto se mantiene en un tanque de retención bajo presión durante varios minutos para dar tiempo a que el aire se disuelva.

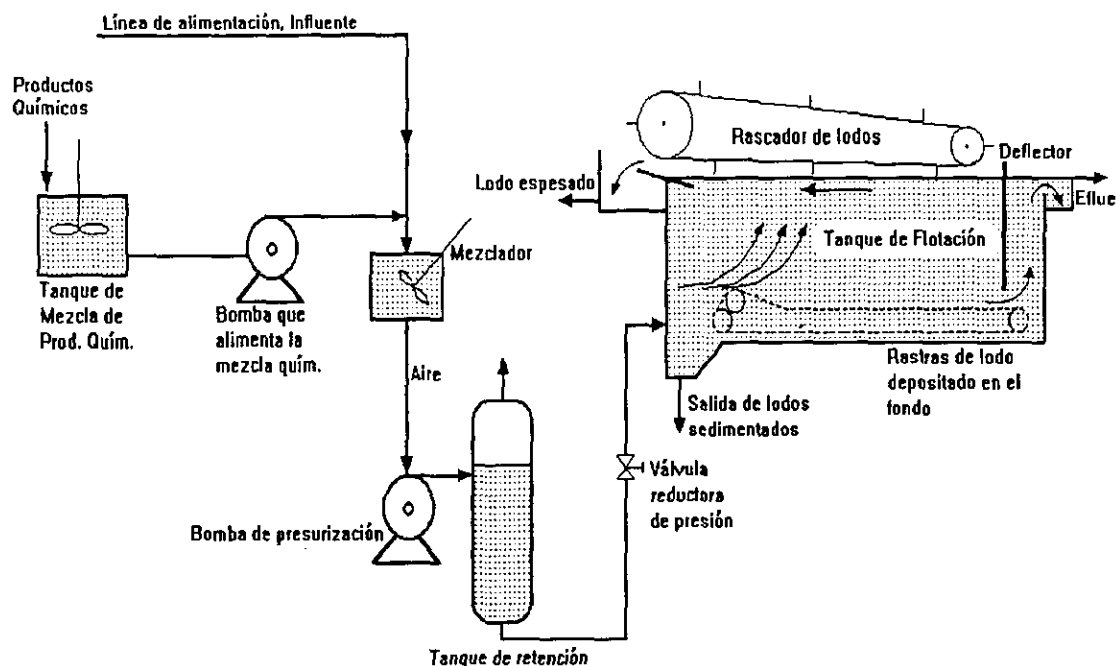


FIGURA. 2.1 ESQUEMA DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DAF SIN RECIRCULACIÓN (FUENTE: Modificado de Metcalf & Eddy, 1991).

En las instalaciones de mayor tamaño, parte del efluente es presurizado con aire para inyectarlo como líquido presurizado, lo que se denomina flotación con recirculación (figura 2.2).

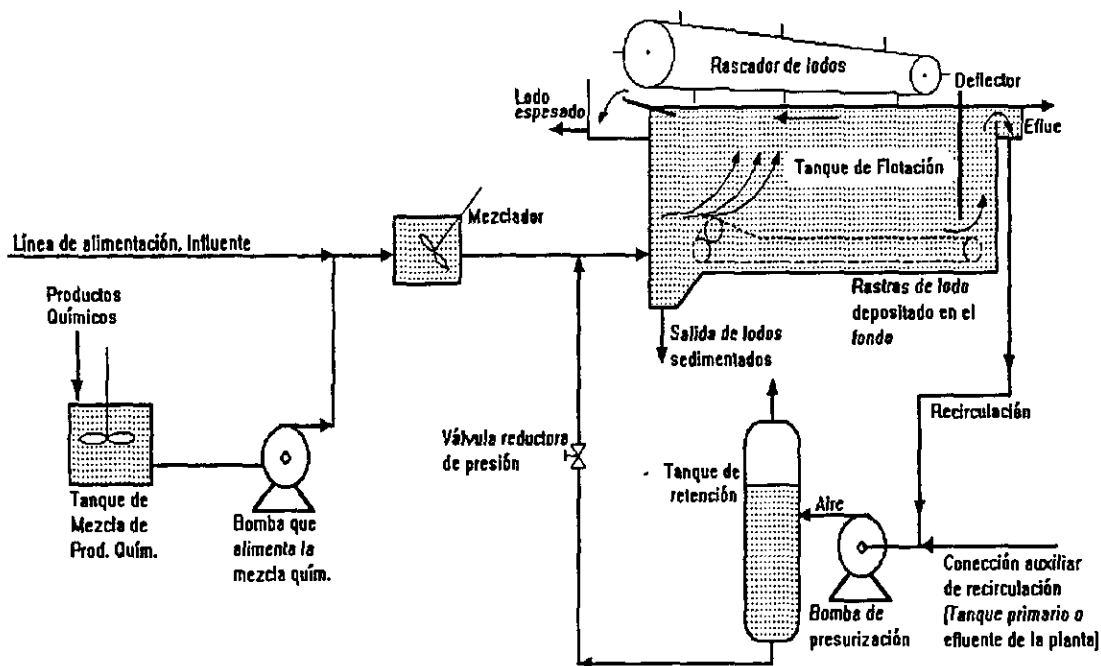


FIGURA. 2.2 ESQUEMA DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DAF CON RECIRCULACIÓN (FUENTE: Modificado de Metcalf & Eddy, 1991).

El gasto recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar justamente antes de la entrada al tanque de flotación, dando como resultado que el aire abandone la solución y entre en contacto con las partículas sólidas en la alimentación del tanque (AWWA, 1990).

Flotación por vacío. Consiste en saturar de aire el agua residual, ya sea directamente en un tanque de aireación o permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de agua residual. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas sólidas adheridas suben a la superficie formando una capa de espuma, que se elimina mediante un rascador superficial. La arena y otros sólidos pesados que se depositan en el fondo se transportan mediante rastras hacia una tolva central. Si esta instalación se utiliza para la eliminación de arena y si el lodo ha de ser digerido, aquélla deberá separarse de éste en un desarenador antes de que se bombee a los digestores (AWWA, 1990).

La instalación se compone de un tanque cilíndrico cubierto, en el que se mantiene un vacío parcial. El tanque está equipado con mecanismos para eliminar lodos y espumas. El material flotante es barrido de modo continuo hacia la periferia del tanque, se remueve automáticamente en un recolector de espumas y se extrae de la instalación hacia una bomba que se encuentra también bajo vacío parcial. El equipo auxiliar incluye un tanque de aireación para saturar de aire el agua residual, un tanque que proporciona un tiempo de retención corto (con el fin de eliminar las burbujas grandes de aire), las bombas de vacío, de lodo y de espuma (AWWA, 1990).

Se cita en AWWA (1990), que las formas de presurización para producir la presión del líquido en el proceso DAF son con flujo continuo, flujo parcial y flujo recirculado y en todos estos sistemas, el grado de eliminación puede mejorarse mediante el uso de distintos aditivos químicos (polímeros).

2.2.3 Aplicaciones de la Flotación DAF

La Flotación se utiliza en el tratamiento de las aguas residuales para eliminar la materia suspendida y concentrar los lodos biológicos que contienen grandes cantidades de residuos industriales con altas cargas de grasas y sólidos suspendidos finamente divididos, otra aplicación es en las aguas residuales procedentes de fábricas de curtidos, refinado de aceites, conservas y lavanderías, también se considera idóneo para tratar residuos que contienen materias espumantes, la espuma puede eliminarse y manejarse fácilmente mediante este proceso. Los sólidos que tienen un peso específico ligeramente mayor de 1.0 necesitarían excesivos tiempos de sedimentación, mediante flotación podrán separarse en un tiempo considerablemente menor. La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas pequeñas o ligeras que se depositan lentamente en la superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial con mayor eficiencia.

Los espesadores por flotación se utilizan principalmente para espesar el lodo activado en exceso y suelen producir un lodo con aproximadamente un 4% de sólidos y una recuperación de sólidos del 85% sin el uso de productos químicos. En el caso de la mezcla de lodos primarios con activados de exceso, las concentraciones suelen promediar entre un 6% y 8% de sólidos.

El empleo de polielectrolitos como coadyuvantes de la flotación puede resultar eficaz para aumentar las cargas de sólidos y la concentración del lodo espesado, pero donde evidentemente son útiles, es en el aumento de la recuperación de sólidos en el lodo que flota, ya que del 85 % pasa al 98 o 99%, dada la rápida separación de los sólidos del agua residual, estos espesadores admiten mayores cargas que las permisibles en los espesadores de gravedad. Los espesadores por flotación pueden funcionar con las cargas de sólidos como las mostradas en la tabla 2.1, para fines de proyecto sólo se usarán cargas mínimas; las máximas serán de 11.

TABLA 2.1 CARGA DE LAS INSTALACIONES DE FLOTACIÓN DE AIRE DISUELTOS* (AÑADIDO).

Tipo de lodo	Carga, en kg/m ² hora
Activado (líquido)*	1-3
Activado (sedimentado)	2-4
50% primario + 50% activado (sedimentado)	4-8
Solo primario	hasta 11

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991.

Se recomienda emplear el efluente de la planta o el del tanque primario como fuente del agua presurizada, con preferencia al efluente del tanque de flotación, excepto cuando se añada coadyuvantes químicos, a causa de la posibilidad de que se ensucie el sistema de presión con los sólidos que contenga tal efluente. La presión necesaria y las exigencias de la relación aire-sólidos para espesadores por aire disuelto se discuten a continuación, así como los aspectos teóricos del diseño de los diversos tipos de los sistemas de flotación.

2.2.4. Tipos de tanques de flotación DAF

Tanque circular.- Los tanques circulares son usados principalmente en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales o en la aplicación de espesamiento de lodos, donde no se requiere una prefloculación previa a la flotación. (fig 2.3). Para el tratamiento de agua potable la prefloculación es una etapa que se requiere antes de la flotación para flocular las impurezas contenidas en el agua, a fin de aumentar una aglomeración conveniente para la remoción por flotación. En un tanque circular la transferencia del agua floculada para una flotación fuera del tanque ocasionaría el rompimiento de los flóculos, lo cual no es deseable. En plantas grandes la flotación del agua debe lograr una distribución igual (Eckenfelder & Ford, 1986).

Tanques rectangulares.- Los tanques de flotación rectangulares ofrecen ventajas con respecto a los tanques circulares: Diseño sencillo, permite una rápida y mejor floculación, fácil remoción de la nata o sólidos flotados y requiere relativamente un área pequeña para su instalación. Los tanques rectangulares de flotación DAF son comúnmente diseñados con una profundidad aproximada de 5 ft (1.5 m) y velocidades del flujo superficial de 26 a 40 ft/hr (8 a 12 m/hora). En la entrada del tanque se instala un baffle a 60 °C para el flujo horizontal para orientar las burbujas y floculos aglomerados hacia la superficie y para reducir la velocidad del agua que ingresa, y también para asegurar la distribución mínima de la capa acumulable de pulpa flotada sobre la superficie del agua (fig 2.4). La sección entre el baffle y la superficie del agua deberá estar diseñada para lograr una velocidad horizontal semejante a la velocidad a la sección de la parte de arriba del área inclinada del baffle (Eckenfelder & Ford, 1986).

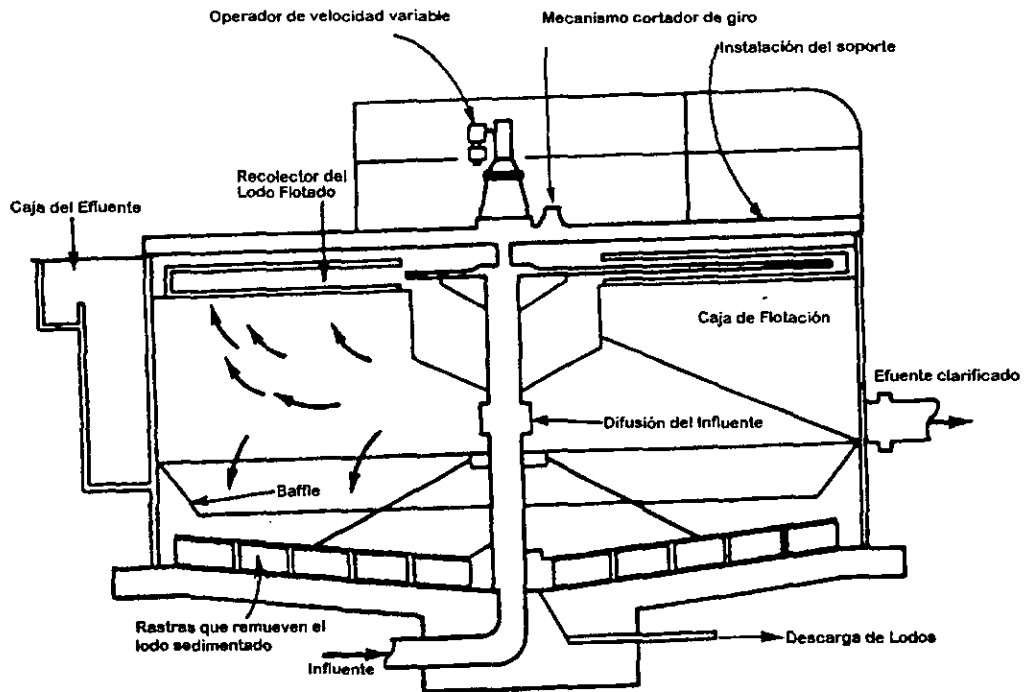


FIGURA. 2.3 ESQUEMA DE UN TANQUE DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO TIPO CIRCULAR. (FUENTE: Eckenfelder & Ford, 1986)

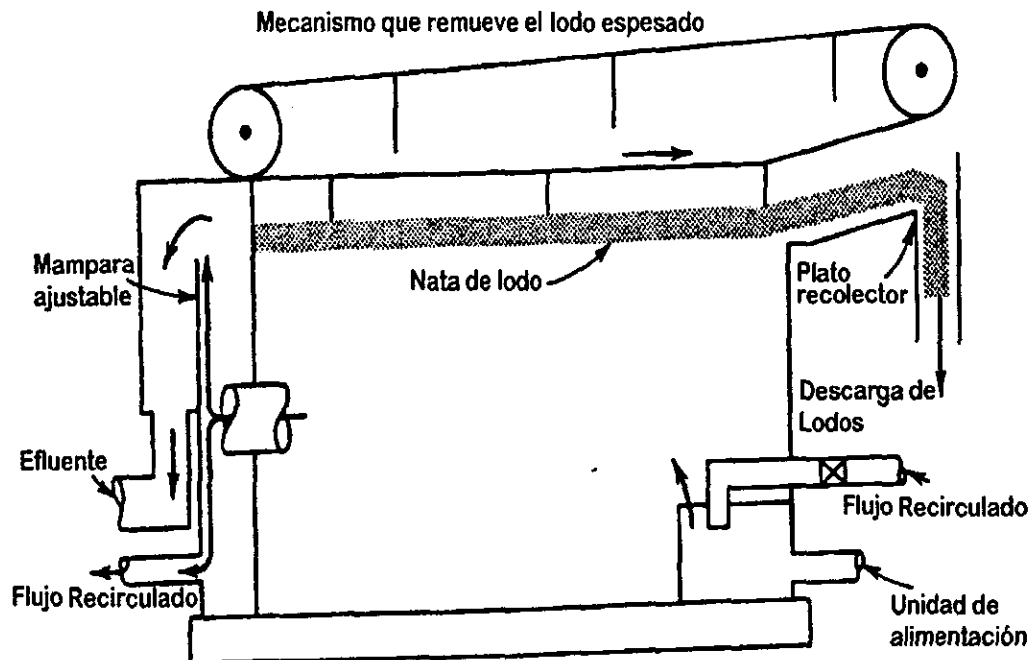


FIGURA. 2.4 ESQUEMA DE UN TANQUE DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO TIPO RECTANGULAR. (FUENTE: Eckenfelder & Ford, 1986)

El máximo tamaño del tanque es determinado por las condiciones hidráulicas así como por el diseño del sistema de remoción de lodos. Los tanques con áreas superficiales que no excedan de 860 ft² (80 m²) son eficientemente operables. El tiempo de retención del tanque de flotación generalmente se toma del orden de 5 a 15 minutos, dependiendo de la carga hidráulica superficial y de la profundidad del tanque. El tanque debe ser cubierto ya que la lluvia y el viento pueden ocasionar el rompimiento de los sólidos ya flotados (AWWA, 1990).

2.2.5. Aditivos químicos

Para facilitar el proceso de flotación DAF normalmente se emplean algunos productos químicos. Estos productos, en su mayoría, funcionan de manera que crean una superficie o estructura que puede absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire. Los productos químicos inorgánicos, tales como las sales de hierro y aluminio y la sílice activada, se utilizan para agregar la partículas sólidas de manera que se cree una estructura que pueda atrapar fácilmente las burbujas de aire. Pueden usarse distintos productos químicos orgánicos para cambiar la naturaleza de cualquiera de las interfases; aire-líquido, sólido-líquido o ambos. Por lo general, estos compuestos actúan situándose en la interfase para producir los cambios deseados.

2.2.6. Análisis

Dado que la flotación depende mucho del tipo de superficie de las partículas, generalmente será preciso efectuar pruebas en una planta piloto y laboratorio para obtener los criterios necesarios de proyecto. Los factores que han de tenerse en cuenta en el proyecto de equipos de flotación incluyen la concentración de sólidos, cantidad de aire a utilizar, velocidad ascensional de las partículas y la carga de sólidos. A excepción de la flotación por aire, el proyecto de los otros sistemas de flotación se discute a continuación.

La transformación de un sistema de flotación (aire disuelto) depende principalmente de la proporción del volumen de aire sobre la masa de sólidos (A/S), requerido para conseguir un grado de clarificación. Esta proporción variará para cada tipo de suspensión y será mejor su determinación experimental usando un equipo de flotación de laboratorio. Un equipo típico de flotación de laboratorio se muestra en la figura 2.5.

El rendimiento de un sistema DAF depende principalmente del valor de la relación entre los kilogramos de aire y los de sólidos para lograr un determinado grado de clarificación. Éste variará con cada tipo de suspensión y puede determinarse experimentalmente utilizando una celda de flotación de laboratorio. Los valores típicos de la relación aire-sólidos (A/S) que se encuentra en el experimento de lodos en las plantas de tratamientos de aguas residuales varían desde 0.005 a 0.006 (Metcalf & Eddy, 1991).

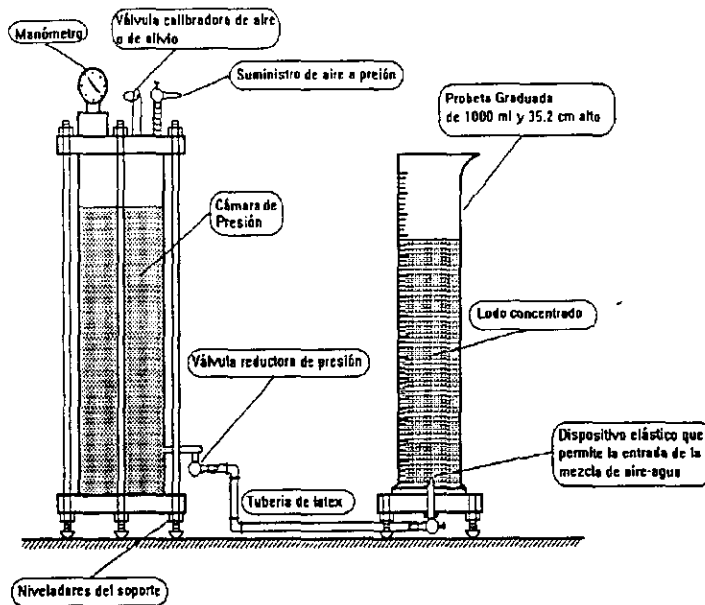


FIGURA 2.5 ESQUEMA DEL APARATO DE FLOTACIÓN PARA DISOLUCIÓN DE AIRE. (FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991)

La relación aire-sólidos (A/S), la solubilidad del aire, la presión de trabajo y la concentración de sólidos en el lodo para un sistema a escala real en el que todo el gasto se encuentra presurizado, está dado por la ecuación 1 (Eckenfelder, 1970).

$$A/S = \frac{1.3 S_a (fP - 1)}{C_0} \quad (2.1)$$

Donde:

- S_a = solubilidad del aire, ml/l
- f = fracción de aire disuelto a presión.
- P = presión absoluta en atmósferas (atm)
- C_0 = concentración de sólidos en el lodo en mg/l.

La ecuación correspondiente para un sistema con solamente recirculación presurizada es:

$$A/S = \frac{1.3 S_a (fP - 1)R}{C_0 Q} \quad (2.2)$$

Donde:

- R = gasto de recirculación presurizado, l/s.
- Q = gasto de líquido mezcla, l/s.

En las dos ecuaciones precedentes, el numerador representa el peso del aire y el denominador el peso de sólidos. El factor 1.3 es el peso en miligramos de 1 ml de aire y el término (- 1) prevé la posibilidad de que el sistema funcione en condiciones atmosféricas.

El área necesaria del espesador se determina considerando la velocidad ascensional de los sólidos, así como el grado de espesamiento que se desee alcanzar y la carga de sólidos (ver tabla 2.2).

TABLA 2.2 CONCENTRACIONES DE LODOS ESPESADOS Y SIN ESPESAR, Y CARGAS DE SÓLIDOS PARA ESPESADORES MECÁNICOS POR GRAVEDAD.

Tipo de Lodo	Concentración de sólidos, %		Carga de sólidos para espesadores por gravedad, lb/ft ² ·d
	Sin espesar	Espesado	
Lodo Primario	2 - 7	5 - 10	18 - 28
Lodo formado en filtro percolador	1 - 4	3 - 6	7 - 10
Lodo formado en el disco biológico	1 - 3.5	2 - 5	7 - 10
Lodo activado aereado	0.5 - 1.5	2 - 3	2.5 - 7
Lodo activado con alta pureza de oxígeno	0.5 - 1.5	2 - 3	2.5 - 7
Lodo activado con aireación extendida	0.2 - 1.0	2 - 3	5 - 7
Lodo primario digerido anaerobicamente	8	12	25
Lodos combinador:			
Primario y filtro percolador	2 - 6	4 - 9	12 - 20
Primario con activado aereado	2 - 6	4 - 8	10 - 16
Primario y activado con aireación modificada	3 - 4	5 - 10	12 - 20
Primario con activado aereado	2 - 5	2 - 8	8 - 16
Activado residual con filtro percolador	0.5 - 2.5	2 - 4	2.5 - 7
Activado con digerido anaerobicamente	4	8	14
Lodo acondicionado:			
Lodo primario	3 - 6	12 - 15	40 - 50
Primario con activado aereado	3 - 6	8 - 15	28 - 40
Lodo activado residual	0.5 - 1.5	6 - 10	20 - 28

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991. - Los datos de esta tabla han sido tomados de distintas fuentes, e incluyen ensayos a escala de distintas plantas de Nueva York. NOTA: lb/ft²·d x 4.8824 = kg/m²·d

2.2.7. Factores que influyen en el mecanismo del proceso DAF

Para lograr el espesamiento de lodo por flotación DAF, el lodo debe ser coagulado y floculado eficientemente, antes de introducir las burbujas las cuales formarán la aglomeración de burbujas-flóculos. La fuerza flotable de la aglomeración de las burbujas-flóculos es producida por alguno de los tres distintos mecanismos: Entrampamiento de burbujas dentro de un condensador en red de las partícula floculadas, crecimiento de las burbujas desde el núcleo dentro del flóculo y atrapamiento de burbujas durante el choque (Kitchener y Gouchin, 1981).

Solubilidad del aire en el agua. Los intervalos de temperatura y de presión usados en la flotación con aire disuelto varía de 0 a 30 °C y 29 a 116 lb/pul² (3 a 8.9 atm); para el nitrógeno y oxígeno la solubilidad obedece a la ley de Henry;

$$p = H_c x$$

Donde: p = presión parcial del gas en la fase gaseosa, x es la fracción molar del gas en la fase líquida o la concentración del gas disuelto en el líquido y H_c constante de Henry.

TABLA 2.3 VALOR DE LA CONSTANTE DE HENRY PARA EL AIRE, NITRÓGENO Y OXÍGENO, EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

T, °C	H x 10 ⁴ , atm/fracción mol		
	Aire	N ₂	O ₂
0	4.32	5.29	2.55
10	5.49	6.68	3.27
20	6.64	8.04	4.01
30	7.71	9.24	4.75

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991.

La atmósfera contiene 20.9 % de oxígeno disuelto a una presión de 760 mm de Hg. lo que implica que la solubilidad es un factor que afecta considerablemente el proceso DAF. En un sistema continuo de saturación, la fase gaseosa encima del agua no tiene la misma composición que el aire, ya que el oxígeno es más soluble en el agua que el nitrógeno, debido a que el incremento de saturación crea una atmósfera rica en nitrógeno (fig.2.6). Esto da como resultado una reducción del orden de 9% sobre la masa del gas la cual puede ser disuelto.

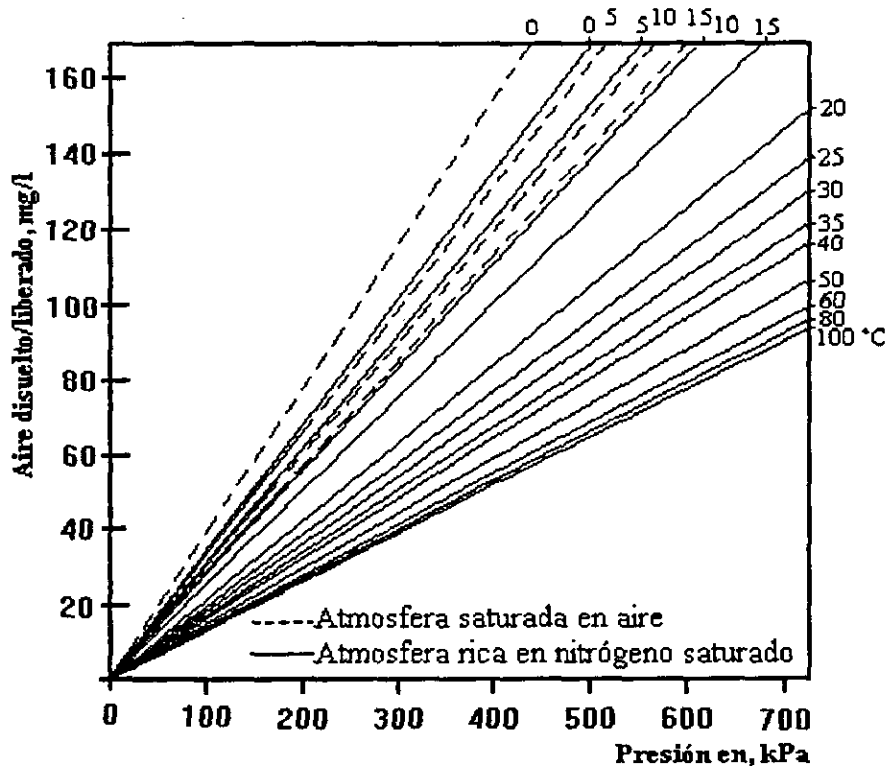


FIGURA 2.6 MASA DE GAS DISUELTO EN EL AGUA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA. (FUENTE: AWWA, 1990)

Efecto del tamaño de la burbuja.- Para lograr una máxima aglomeración entre el gas y la fase sólida, las burbujas de gas deben subir con una velocidad poco menor a la del flujo laminar. Esto evita que se forme una cubierta de flóculos tal como se pueda ocasionar en un régimen turbulento. El diámetro máximo de burbujas para un flujo laminar es de 130 μm . Para tamaño de burbujas menores a este diámetro es aplicable la ley de Stokes; se determina igual a como se aplica para sedimentación.

$$U_i = \frac{g(\rho - \rho_0) d^2}{18\mu}$$

Donde: ρ_0 es la densidad de las burbujas de gas, ρ la densidad del líquido a tratar, g es la fuerza de gravedad, d el diámetro de la partícula de lodo considerandola como sólida y esférica, μ es la viscosidad cinemática y U_i la velocidad de ascenso de la partícula con relación al líquido.

El máximo diámetro de la burbuja para un flujo laminar puede ser calculado asumiendo que el valor limitante es cuando $Re = 1$, ésto se explica porque la zona laminar para una partícula es cuando $0 < Re < 2$ siendo $Re = V_c \cdot d/\mu$, donde V_c es la velocidad al esfuerzo cortante de la partícula y se obtiene en función de la velocidad de la partícula; $V_c = [f/8]^{1/2} \cdot V$, d es el diámetro de ésta (Gardea, 1995). Stokes, derivó su ley de consideraciones teóricas a partir del movimiento de un péndulo esférico en un fluido, (Fair, 1993). La relación entre esta tasa de remoción y el diámetro de la burbuja para burbujas solas esta dado en la figura 2.7.

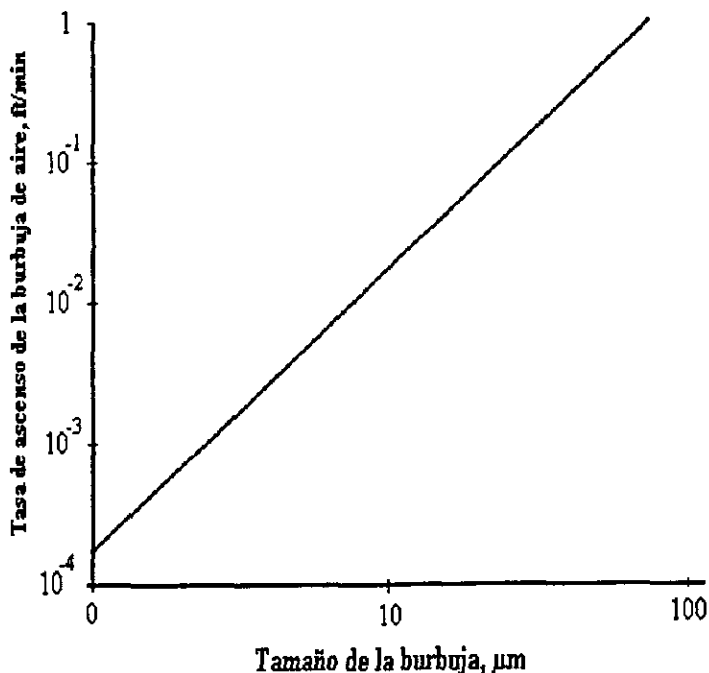


FIGURA 2.7 TASA DE ASCENSO O REMOCIÓN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA BURBUJA (FUENTE: AWWA, 1990)

Dado que la densidad del lodo biológico es prácticamente la del agua, únicamente se requieren burbujas muy pequeñas para hacer flotar los lodos. Las pequeñas burbujas de aire pueden ser producidas provocando la liberación de aire por unidad de volumen. Una gran cantidad de burbujas aumentaría el atrapamiento de las burbujas contra el flóculo del lodo. El comportamiento de la tasa de remoción con respecto al tamaño de las burbujas se muestra en la fig 2.7. En consecuencia se requiere un tanque de flotación amplio para permitir que las burbujas alcancen la superficie fig (2.8), en la práctica el tamaño de las burbujas producidas en el proceso DAF se encuentran en el rango de 10 a 120 μm .

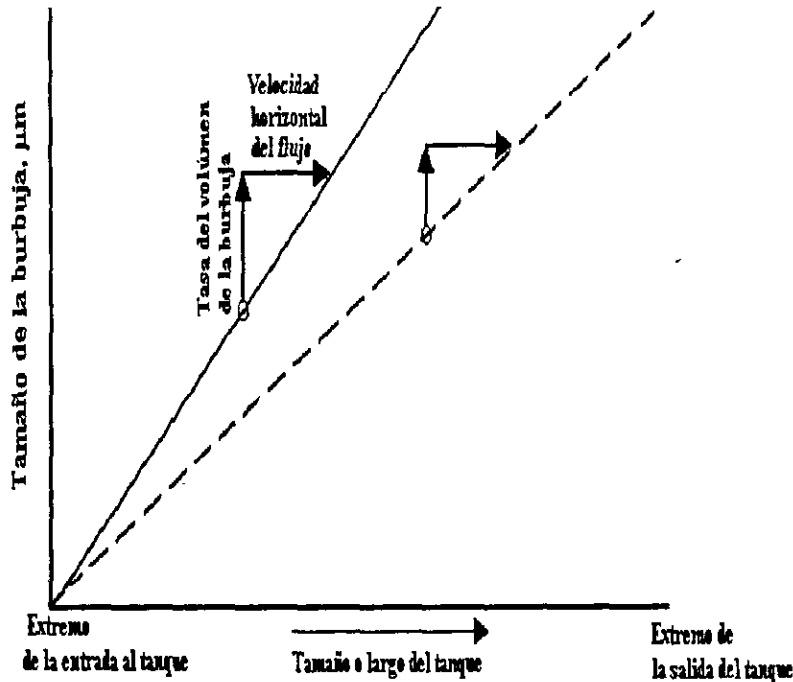


FIGURA 2.8 EFECTO DEL TAMAÑO DE LA BURBUJA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DEL TANQUE DE FLOTACIÓN (FUENTE: AWWA, 1990)

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONVENCIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS.

Los objetivos principales del tratamiento de lodos son reducir su contenido de agua para hacer más económico su manejo, minimizar la cantidad de organismos patógenos, reducir el contenido de materia orgánica, los malos olores causados por condiciones anaerobias y eliminar otros constituyentes indeseables. De esta manera, un tren de tratamiento de lodos debe incluir procesos para reducir su contenido de material orgánico y de agua. En la figura 2.9 se muestran distintas opciones y la clasificación básica de los procesos para tratamiento de lodos. En la práctica profesional, un sistema no necesariamente incluye todos los procesos mencionados ni los siguen en ese orden, incluso pueden sobreponerse unos con otros.

La reducción del contenido de agua se logra mediante procesos de espesamiento, deshidratación o secado térmico. El espesamiento normalmente se lleva a cabo como primera etapa del tratamiento hasta que el lodo alcanza una concentración de sólidos generalmente menor a 10%; puede llevarse a cabo por gravedad, por flotación de aire disuelto, o por centrifugación.

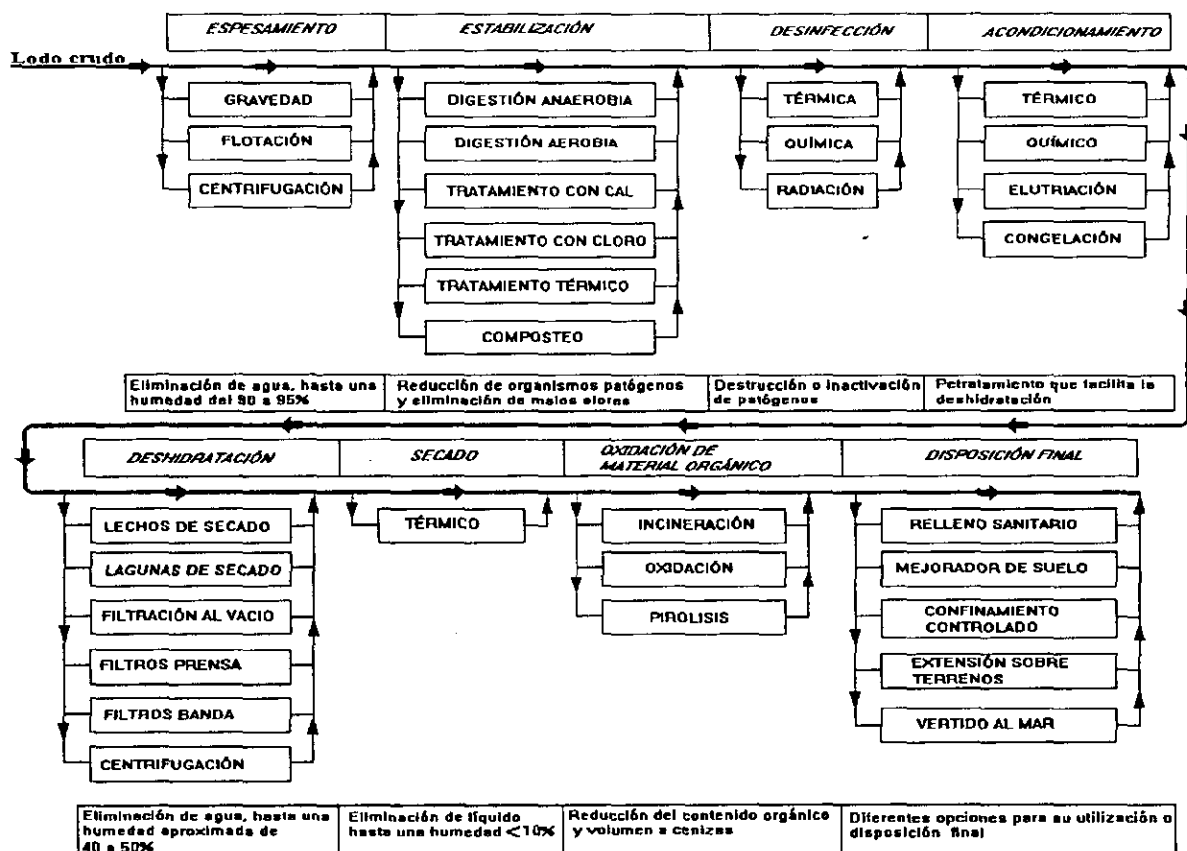


FIGURA 2.9. PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS (FUENTE: Modificado de Díaz y González, 1992).

La deshidratación de lodos se lleva a cabo mediante equipo mecánico o en lechos de secado, hasta alcanzar concentraciones de sólidos de 30% o más, dependiendo del método empleado. Normalmente, para facilitar la deshidratación se requiere un acondicionamiento previo (térmico o químico), que proporciona al lodo una estructura suficientemente rígida para permitir que el agua drene más fácilmente. Por otra parte, el objeto del secado térmico es eliminar la humedad de lodo de modo que se facilite su incineración o pueda procesarse para ser utilizado en la fabricación de fertilizantes. El contenido de humedad del lodo seco debe ser inferior a 10%, por lo que el consumo de energía es elevado y el equipo necesario costoso (Metcalf y Eddy, 1991). Es un proceso poco aplicable.

Para la estabilización de lodos se aplica un proceso o una serie de procesos que generan un lodo con características tales que su disposición final: no dañe al medio ambiente, no represente riesgos para la salud y no cause desequilibrios ecológicos. Algunos de los procesos para llevar a cabo la estabilización del lodo residual son: digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo, tratamiento con cal y tratamiento térmico. Para conseguirlo es indispensable reducir la actividad biológica o el contenido de organismos patógenos, eliminar sustancias tóxicas, olores desagradables, etc.

La desinfección se lleva a cabo mediante procesos específicos con la intención de destruir a los organismos patógenos.

Los procesos para la reducción de material orgánico involucran la conversión parcial o total de los sólidos orgánicos a productos finales de oxidación, principalmente dióxido de carbono, agua y cenizas. En el tratamiento de lodos se emplean para reducir el contenido de materia orgánica, y por consiguiente el volumen del lodo.

La selección de un sistema adecuado de tratamiento se determina en función de la evaluación de varios factores.

2.4 MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE DISPOSICIÓN O APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

2.4.1 Factores que influyen en la selección de un tren de tratamiento

Los criterios utilizados para establecer un tren de tratamiento adecuado a las necesidades específicas de cada caso se basan en la evaluación de las características del lodo por tratar, la forma de utilización o disposición final, algunos factores externos, y en el conocimiento de las interrelaciones entre los sistemas que constituyen las diferentes etapas del tratamiento.

Entre los factores referentes a las características del lodo se encuentran: el caudal promedio, tipo de lodos (primarios, biológicos, químicos), concentración de sólidos totales, concentración de sólidos suspendidos, contenido de material orgánico, presencia de productos químicos, propiedades generales del lodo (densidad, viscosidad, etc.).

Entre los factores externos se encuentran los siguientes: limitaciones económicas, instalaciones existentes, limitaciones de espacio, condiciones ambientales, expectativas para el manejo de lodo tratado, método de operación de la planta y la normatividad vigente.

2.4.2. Influencia de las características del lodo

Como ya se mencionó anteriormente, los lodos de aguas residuales se clasifican de acuerdo con su origen en lodos primarios, secundarios o químicos y, de acuerdo con su estado o tratamiento recibido, en lodos crudos o frescos, lodos digeridos, húmedos, secos, etc. Dependiendo de esto, las características y la concentración de sólidos suspendidos varían considerablemente, afectando de una u otra forma su tratamiento. Los lodos primarios contienen partículas sólidas sedimentables, principalmente de naturaleza orgánica, y desprenden olores desagradables. Sus características y composición dependen básicamente de las características del agua residual.

Los lodos secundarios o biológicos consisten predominantemente de la biomasa producida en exceso durante los procesos de tratamiento biológicos y de material orgánico parcialmente descompuesto. Sus características y composición depende fundamentalmente del método de tratamiento biológico empleado (lodos activados, filtro percolador, biodisco, etc.) y de la velocidad de crecimiento y metabolismo de los microorganismos (Cheremisinoff, 1988). Los lodos generados por un sistema de lodos activados presentan concentraciones de sólidos muy

bajas, por lo que su espesamiento y deshidratación se dificultan.

El tratamiento de lodos primarios es normalmente más sencillo que el de los lodos biológicos y químicos, principalmente porque se obtienen mejores resultados cuando se espesan por gravedad y porque cuando se deshidratan por medios mecánicos requieren menos acondicionamiento, forman una torta más seca y proporcionan una mejor captura de sólidos. Por esto, siempre que sea posible, es recomendable mezclar los lodos biológicos con los lodos primarios antes de iniciar su tratamiento.

2.4.3. Influencia de factores externos

Al igual que las características del lodo, es muy importante evaluar todos los factores externos que de alguna u otra forma influyen en la selección de un tren de tratamiento apropiado, y todas aquellas restricciones con las que el sistema debe funcionar, de manera que se optimice el aprovechamiento de recursos. Por ejemplo, factores como el método de disposición final del lodo tratado, la distancia que debe ser transportado, el tiempo planeado de almacenamiento, el método de aplicación, etc., determinan la concentración de sólidos requerida y el grado de estabilización necesario.

Es necesario analizar también los requerimientos de seguridad, sencillez en operación y manejo y las condiciones ambientales que se estipulen en la normatividad correspondiente.

2.4.4. Sistemas de tratamiento adecuado a las necesidades del país

Con base en la situación socioeconómica y tecnológica del país y en comunicaciones personales con funcionarios de dependencias a cuyo cargo está la solución de la problemática de tratamiento y reuso del agua, así como de protección al medio ambiente (Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP; Comisión Nacional del Agua, CNA; Departamento del Distrito Federal, DDF; Fondo Nacional de Fomento para el Turismo, FONATUR), los sistemas para tratamiento de lodos más adecuados a la situación real del país son aquellos cuya operación, instalación y manejo sean más sencillos, que requiera menos equipo y que sus costos capitales, así como los de operación, instalación y mantenimiento se mantengan dentro de ciertos parámetros económicos limitados, siempre y cuando solucionen con eficiencia los problemas ocasionados por la generación de estos residuos. Para seleccionar dichos sistemas se debe realizar un estudio comparativo de las ventajas y desventajas de diferentes alternativas de tratamiento.

En estudios realizados anteriormente se propone un sistema de tratamiento de lodos que en primera instancia estaba planteado en función de las condiciones económicas, políticas y sociales de nuestro país, este tratamiento consiste en los siguientes procesos: para reducir el contenido de agua se recomienda el espesamiento (gravedad o flotación); deshidratación en lechos de secado y deshidratación mecánica en filtros prensa o filtros banda; y para la estabilización se recomiendan la digestión aerobia, digestión anaerobia, o bien tratamiento con cal. A continuación se describe el fundamento de su selección y algunos parámetros fundamentales para el diseño del proceso de cada uno, de manera que para integrar un tren de tratamiento, dependiendo del caso específico, se pueden hacer combinaciones de estos sistemas.

a) Espesamiento

Es importante considerar el espesamiento como *primer paso* del tratamiento, con objeto de reducir los costos y dimensiones de los sistemas de tratamiento en las etapas subsecuentes.

Espesamiento por gravedad.- El método de espesamiento más común por su economía, así como por su sencillez y facilidad de operación, es el espesamiento por gravedad. El mecanismo que rige el espesamiento por gravedad se basa primordialmente en el comportamiento de partículas suspendidas en procesos de sedimentación y de compactación, dependiendo fundamentalmente de su naturaleza y concentración.

Al diseñar un espesador es importante dotarle de suficiente capacidad para que la sedimentación y la compresión se lleven a cabo adecuadamente. Es necesario evaluar el proceso de sedimentación tanto en la zona de sedimentación como en la de compresión. Para lodos residuales de origen doméstico, el área requerida en la zona de compresión es generalmente mayor que en la zona de sedimentación (WPCF,1980). Los espesadores por gravedad se diseñan fundamentalmente con base en la carga hidráulica y en la carga de sólidos. Es importante determinar el área superficial mínima requerida, la profundidad del tanque y el torque (instalación de control de giro) de operación al que se sujetará el sistema.

Espesamiento por flotación

El espesado por flotación es más eficiente para los lodos ligeros, como los que provienen de procesos de lodos activados o filtros percoladores. Los lodos pesados como los obtenidos de sedimentadores primarios y combinaciones de primarios y secundarios (donde la fracción de primarios es mayor) deben manejarse más eficientemente por gravedad.

b) Estabilización

Estabilización con cal. Consiste esencialmente en aplicar al lodo, dosis suficientes de cal para elevar el pH en el residuo, durante el tiempo de contacto necesario para crear un medio fuertemente alcalino, desfavorable para la actividad biológica de los microorganismos.

Su aplicación hace que el lodo estabilizado presente condiciones favorables para su disposición en tierra, ya sea en relleno sanitario, o en suelos forestales y probablemente a suelo de cultivo. Este método se recomienda generalmente cuando se trata de plantas pequeñas asociadas a una baja producción de lodos, aunque algunas macroplantas del D.F. lo contemplan, también se recomienda para plantas que planean almacenar el lodo antes de enviarlo a otras instalaciones para su tratamiento y/o disposición posterior.

Para asegurar una buena eficiencia es importante proporcionar la dosis adecuada de cal y un mezclado suficiente. Las principales operaciones asociadas a este método de estabilización son: el manejo de la cal, mezclado de cal con el lodo y el posible almacenamiento del lodo estabilizado. El equipo e instalaciones necesarias son relativamente sencillas de adaptar y operar.

Digestión anaerobia. Es fundamentalmente la degradación del material orgánico en ausencia de oxígeno molecular. Se aplica a lodos primarios, biológicos, químicos o mezclas de ellos, de preferencia espesados previamente. Algunas ventajas de la digestión anaerobia son: la reducción de la masa total, debido a que durante el proceso se transforma en gases entre 25 y 45% de los sólidos del lodo crudo; la producción de metano que, en la mayoría de los casos, genera energía en cantidades superiores a la requerida para el mezclado y el calentamiento; el proceso destruye la mayor cantidad de organismos patógenos en el lodo; el lodo contiene nutrientes y materia orgánica que permite su disposición final como mejorador de suelos. Sin embargo, es un proceso muy sensible a variaciones (pH, temperatura, caudal, substrato, influencia de agentes inhibidores y tóxicos, etc) que involucra altos costos capitales.

Algunos parámetros importantes para el diseño del proceso son: carga orgánica, tiempo de retención celular, requerimientos de calor y mezclado, producción y utilización del gas, etc.

Digestión aerobia. La digestión aerobia consiste en la degradación de residuos biológicos en presencia de oxígeno, permitiendo el suficiente tiempo de contacto entre los organismos aerobios y la materia orgánica biodegradable. A diferencia del proceso de lodos activados, cuando el substrato exógeno se ha agotado, los microorganismos comienzan a consumir sus reservas internas (substrato endógeno) a fin de obtener energía suficiente para mantener las reacciones de supervivencia. Su operación es relativamente sencilla, sobre todo comparada con la de sistemas anaerobios; no genera malos olores, forma un producto final biológicamente estable, etc.

Cuando se trata mezclas de lodos primarios y biológicos es importante considerar que los primeros, aunque de naturaleza primordialmente orgánica, sostienen poca biomasa activa y, por lo tanto, constituyen una fuente importante de substrato exógeno para los microorganismos contenidos en los lodos biológicos. En este caso es necesario proporcionar mayores tiempos de retención celular.

c) Deshidratación

Cuando el lodo residual deba ser transportado a grandes distancias para su disposición final, es recomendable eliminar la mayor cantidad de agua, con objeto de minimizar el volumen de lodo a disponer, así como para facilitar su manejo y transporte. El sistema de deshidratación adecuado es función del caudal de lodo, de los recursos económicos, del espacio y personal disponible entre otros factores.

Normalmente los sistemas mecánicos de deshidratación tienen mayor eficiencia, por lo que se prefieren como primera opción, ya que la operación resulta ser relativamente sencilla. Aunque los sistemas mecánicos de deshidratación representan una inversión inicial alta, resulta ser a largo plazo la opción más económicamente favorable, porque es un método mucho más rápido que los lechos de secado y requiere menos espacio y personal para su operación.

Con base en su eficiencia y sencillez se recomiendan los filtros prensa y los filtros banda para llevar a cabo la deshidratación mecánica, considerando que los primeros se prefieren para los caudales menores, principalmente por su operación intermitente, y los segundos para caudales de lodo mayores, debido a que son sistemas mucho más costosos.

Por su parte, la deshidratación en lechos de secado está condicionada a un buen diseño de los sistemas para recolección de líquido y de la construcción en general y a la disposición del espacio suficiente, además de que pueden presentarse importantes problemas de operación, como, inundación en temporada de lluvias en lechos descubiertos, emisión de malos olores, atracción a insectos, etc. Sin embargo, esta alternativa no debe descartarse ya que puede representar una solución adecuada en plantas pequeñas, siempre y cuando se cuente con espacio necesario.

d) Acondicionamiento para la deshidratación

El acondicionamiento químico se puede lograr aplicando al lodo compuestos orgánicos o inorgánicos, dependiendo del método de deshidratación que será empleado. El acondicionamiento añadiendo compuestos inorgánicos se emplea generalmente cuando se desea deshidratar lodos crudos o digeridos en filtros prensa o al vacío. Normalmente se utiliza una mezcla de cal y sales de hierro o aluminio, que producen iones cargados positivamente que reaccionan con los iones negativos en el lodo, neutralizándolos y permitiendo la formación de agregados más grandes que sedimentan fácilmente, de manera que pueden ser rápidamente deshidratados.

El acondicionamiento mediante la aplicación de compuestos orgánicos de cadenas largas y altos pesos moleculares, llamados polielectrolitos, ha hecho posible la deshidratación en filtros banda (Cornier, 1983). Estos compuestos tienen grupos cargados positiva o negativamente a lo largo de sus cadenas, de manera que son capaces de desorber el agua de la superficie de las partículas sólidas en el lodo.

e) Disposición final

Una vez que los lodos han sido tratados, están listos para su disposición final. El método elegido, es el que determina en gran medida el tiempo de tratamiento previo que requieren los lodos. En este caso se proponen dos métodos prácticos de disposición en tierra; relleno sanitario y utilización como mejorador de suelos principalmente agrícolas. En ambos casos es necesario que el lodo se estabilice previamente para evitar riesgos de contaminación de acuíferos superficiales y subterráneos.

Relleno sanitario.- Este método consiste en depositar los residuos en un área alejada de lagos, estanques, ríos, pozos para suministro de agua, carreteras, aeropuertos y zonas habitadas (Bagchi, 1990), cubriéndolos posteriormente con tierra. En este caso, además de la estabilización, es necesario también deshidratar los lodos para minimizar el agua libre que pueda filtrarse.

Uso como mejorador de suelos.- Es una de las alternativas más atractivas para la disposición final de lodos biológicos tratados, ya que contiene algunos nutrientes importantes, principalmente nitrógeno y fósforo y, en la mayoría de los casos, cantidades importantes de micronutrientes tales como boro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc (EPA, 1983). A pesar de que los nutrientes no se encuentran en la proporción de cualquier fertilizante balanceado, la mayoría de los cultivos agrícolas responden favorablemente a la aplicación del lodo.

Para prevenir la contaminación por nitratos en corrientes subterráneas y superficiales, su aplicación se limita generalmente a la cantidad de lodos que contengan el nitrógeno requerido por el cultivo.

2.4.5 Factores a considerar para sugerir la propuesta de tratamiento de lodos

Para proponer una secuencia de tratamiento ideal, integrada por algunos de los sistemas propuestos y susceptible a ser modificada de acuerdo con las necesidades de cada caso, es necesario evaluar las características generales de los lodos que se generan en el país, los probables métodos de disposición final y demás factores externos mencionados.

En México, los sistemas que más se emplean para tratamiento de aguas residuales operan mediante sistemas lagunares (51.5%) y de lodos activados en sus diferentes modalidades (22.6%). En cuanto a disposición final, el país cuenta con pocos rellenos sanitarios operando correctamente y, aunque es buena alternativa para la disposición de los residuos, es más conveniente pensar en su reutilización, principalmente si se consideran las posibilidades que pueden ofrecer los suelos agrícolas a los que puede aplicarse el lodo para reducir los requerimientos de fertilizantes.

Capítulo 3.**MODELO EXPERIMENTAL DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN
DAF EMPLEADO EN LABORATORIO****3.1 ORIGEN DE LOS LODOS BIOLÓGICOS ANALIZADOS**

El tratamiento de las aguas residuales en la planta Cerro de la Estrella, se efectúa mediante el proceso biológico convencional de lodos activados y filtración con arena, grava y antracita seguido de desinfección con cloro. El tratamiento secundario se integra por dos unidades, en la primera, se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica mediante bacterias y protozoarios, asimismo recibe el lodo de los sedimentadores para mantener el equilibrio en el proceso y aire disperso mediante difusión en el fondo del tanque para garantizar el oxígeno necesario. La segunda unidad consiste en el sedimentador secundario, la cual recibe el agua del aerador con la materia digerida y microorganismos que se precipitan y se concentran mediante rastras, las tolvas recolectan el lodo para recircularlo nuevamente al reactor o enviarlo al drenaje y en un futuro próximo al tratamiento de lodos, el cual es motivo de este estudio. El efluente del clarificador recibe un pulimento del tratamiento a base de lirio acuático que elimina el 50% de sólidos en suspensión, antes del proceso de filtrado. El empleo del lirio mejora la calidad del efluente en el tratamiento secundario, en la figura 3.1 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la planta Cerro de la Estrella, cabe mencionar que aunque en este diagrama se incluye la unidad de espumación, actualmente ésta se encuentra fuera de operación.

Las aguas residuales que recibe la planta Cerro de la Estrella, provienen de la estación de bombeo Aculco situada en el cruce de las avenidas de río Churubusco y de Apatlaco en la Delegación Iztacalco, de donde se conducen hasta la planta de tratamiento, a través de una tubería de 1.83 metros de diámetro y una longitud de 8 mil metros.

Los lodos analizados en este estudio experimental, fueron obtenidos de un flujo continuo completamente mezclado del proceso de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la Estrella" (PTARCE). Las pruebas de laboratorio fueron desarrolladas en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la DICTyG de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y las muestras de lodos se tomaron en los drenes de purga de los

clarificadores de la planta. El muestreo fue puntual, el volumen de la muestra fue de 18 litros en garrafon blanco con tapa y se transportó directamente al laboratorio para someterlo inmediateamente a la experimentación, el tiempo de transporte fue en promedio de 20 minutos.

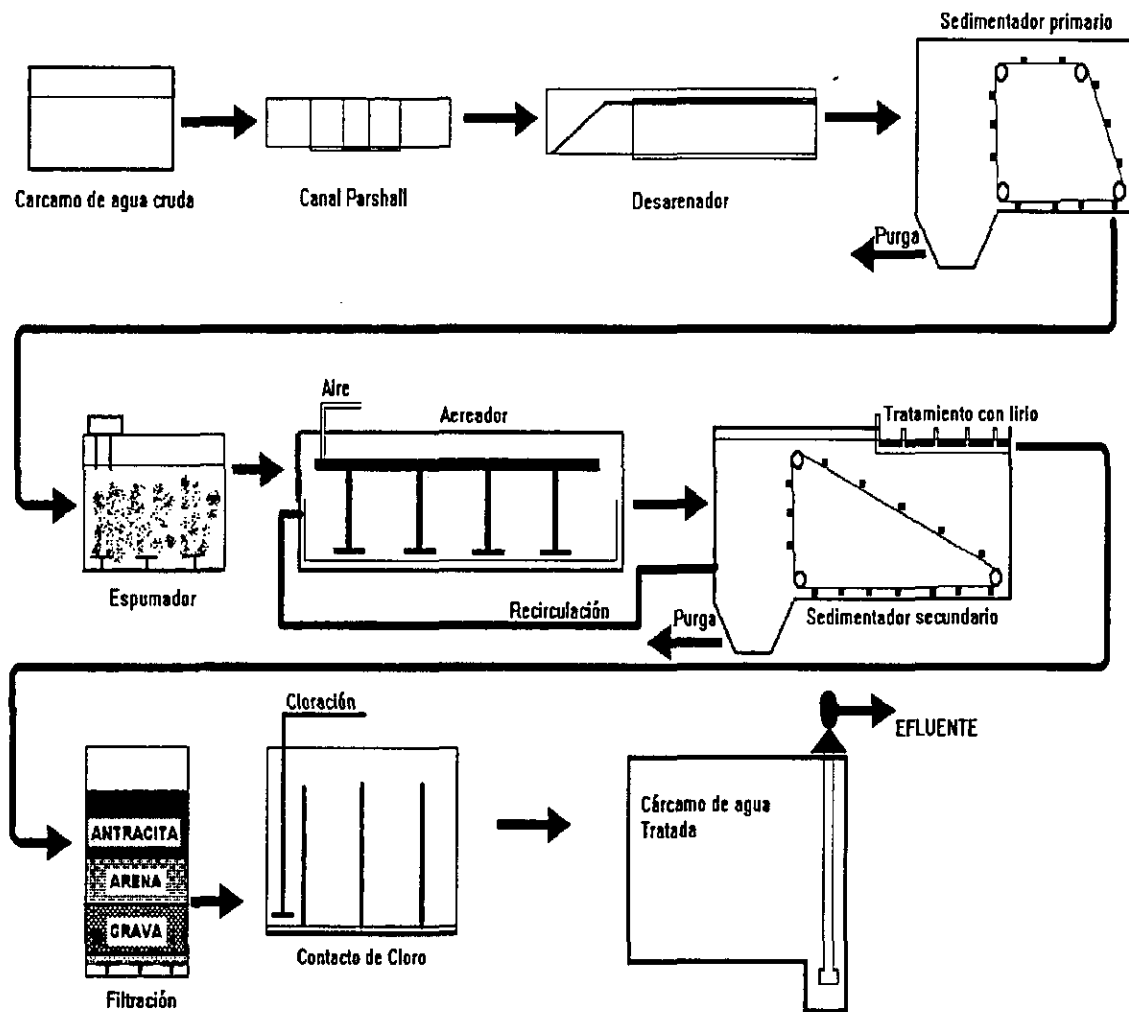


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE AGUA RESIDUAL, PLANTA "CERRO LA ESTRELLA"

3.2 MODELO EXPERIMENTAL DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN DAF

3.2.1 Características del modelo

En un proceso de flujo continuo, el proceso de flotación con aire disuelto, el residuo a tratar se separa del flujo de agua, suministrando previamente aire a presión mayor que la atmosférica (frecuentemente se han utilizado presiones de 2.8 a 4.3 kg/cm²), provocando una turbulencia debido a la saturación del aire, el cual sale de la solución en forma de pequeñas burbujas. Esta nube de burbujas atrapa o entreteje a los sólidos y la mezcla aglomerada de aire-sólidos asciende a la superficie, los sólidos flotantes son concentrados hasta un nivel determinado, para que posteriormente un dispositivo desnatador recolecte la nata flotante y sea transportada al tratamiento principal, del cual el proceso de flotación es una de las partes. Este mismo proceso es simulado mediante un equipo de laboratorio preparado específicamente con el fin de guardar una relación semejante de las condiciones de operación discontinua (batch) con las condiciones de operación de un proceso DAF a escala real, cuyo objetivo es obtener; como ya se indico, los criterios de diseño para proyectar un tanque DAF con óptima eficiencia.

El equipo y procedimiento de laboratorio utilizados en este estudio fueron diseñados e implantados de acuerdo a las referencias de los autores Ford, Ekenfelder (1970), en pruebas de flotación discontinua.

3.2.2 Elementos que componen la unidad de flotación

- Unidad de suministro de aire: consiste de un compresor de 14 kg/cm² (200 lb/plg²) de capacidad.
- Celda de presión: lo integra un deposito circular (5000 ml) de plástico de alta densidad transparente (acrílico), cubierta desmontable y fija, manómetro para 10 kg/cm²(142 lb/plg²); válvulas de suministro de aire, alivio y liberadora de presión.
- Columna de flotación: la compone un cilindro graduado de cristal transparente (probeta graduada de 1000 ml). Para la lectura de las alturas de la interfase durante el experimento, se utilizó una regla con incrementos de 1 cm, se adecuó al tamaño de la columna de flotación (en la figura 3.2 se muestra mediante un esquema los componentes del equipo experimental de laboratorio).
- Tubería flexible: se utilizó manguera flexible de alta presión, soportes para la celda de presión.
- Cronómetro de 30 minutos.
- Aparatos, equipo y cristalería para la determinación de sólidos, de acuerdo a lo indicado en los "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992".

Se construyó un primer modelo de flotación, en el cual el suministro de aire disuelto con agua se inyectaba desde la parte inferior de la columna de flotación, de acuerdo a como lo indica Metcalf & Eddy (1991); ver figura 3.2, pero en los dos primeros análisis se fracturó la columna ya que no soportó la presión a la cual se estaba trabajando y que necesariamente tendría que ser de mas de 4 kg/cm², por lo que se optó por inyectar el líquido presurizado por la parte superior, con la ayuda de una manguera flexible se podía entonces manipular la difusión del líquido presurizado cubriendo todo el fondo de la columna de flotación, en el esquema que se muestra en la figura 3.3, se puede observar la forma en que se difunde el líquido presurizado. Este segundo modelo mejoró la difusión o inyección del líquido presurizado así como también

fue posible analizar más de una muestra con diferentes cantidades de presión suministrada, cabe mencionar que también fué posible analizar muestras simultaneas con adición de dosis diferentes de polímero.

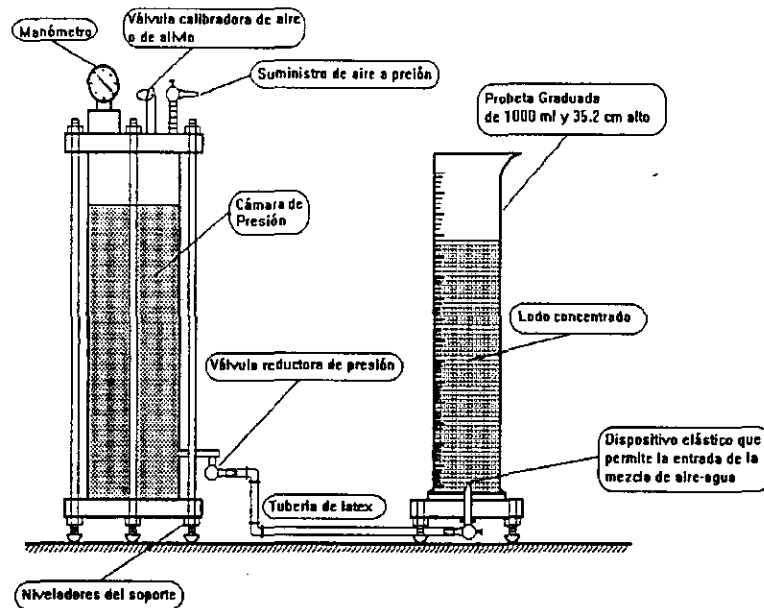
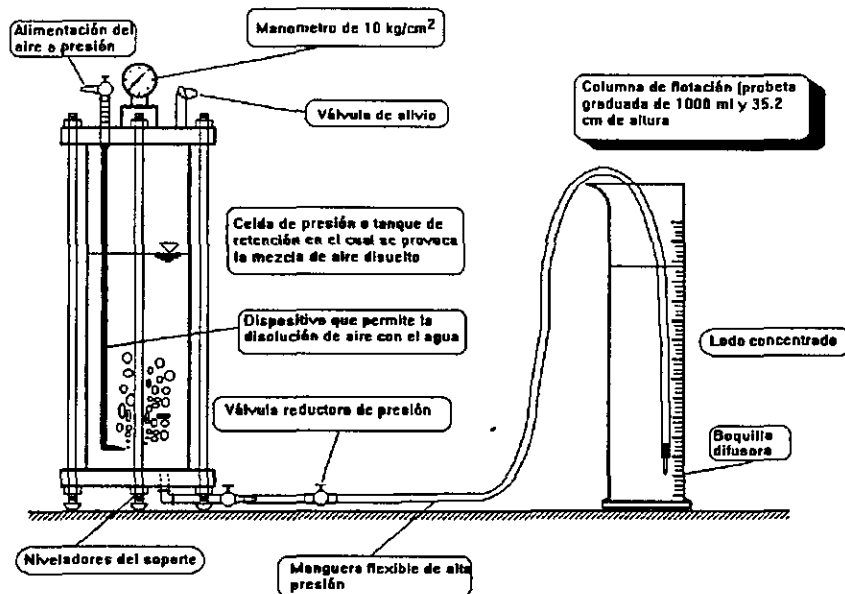


FIG. 3.2 ESQUEMA DEL PRIMER EQUIPO EMPLEADO EN EL EXAMEN DE LABORATORIO. (FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991).



SEGUNDO MODELO UTILIZADO PARA LA PRUEBA DE FLOTACIÓN (DAF) DE LABORATORIO

FIG. 3.3 ESQUEMA DEL EQUIPO DEFINITIVO EMPLEADO EN LABORATORIO. (FUENTE: Modificado de Metcalf & Eddy, 1991).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El proceso de planeación de un experimento para obtener datos apropiados que puedan ser analizados mediante métodos estadísticos y con objeto de producir conclusiones válidas y objetivas se llama **Diseño de experimentos**; en éste, se requiere un enfoque estadístico del diseño de experimentos para obtener conclusiones significativas a partir de los datos. La metodología estadística es el único enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales, tanto el diseño del experimento como el análisis estadístico de los datos, están estrechamente relacionados con el método de análisis el cual depende directamente del diseño empleado.

Los métodos de análisis de experimentos permiten extraer información significativa a partir de los datos, pero éstos sufren varias limitaciones con respecto a la arbitrariedad en la selección de niveles de significancia y formas de hipótesis. Asimismo en la mayoría de los problemas se requiere aceptar o rechazar un enunciado acerca de algún parámetro, el enunciado también llamado hipótesis tiene que someterse a un procedimiento de toma de decisiones en torno a ésta, tal enunciado se denomina prueba de hipótesis, el establecer una prueba de hipótesis depende del tamaño de la muestra para poder ser aplicable a un diseño experimental, siempre que el tamaño de la muestra sea grande (mayor de 30 datos).

Existen gran variedad de diseños experimentales, los cuales son adaptados a diversos propósitos, sin embargo para que se pueda realizar diseño de experimentos es necesario que se tengan al menos dos unidades experimentales y que las comparaciones entre estos puedan realizarse con igual precisión y que además se tenga respuesta de interés con una o más variables que en los experimentos se puedan controlar.

Por lo tanto un diseño de experimentos únicamente puede ser aplicable a procesos para obtener conclusiones simples de datos estadísticos observados, además de que es un instrumento útil para verificar ciertos supuestos que el investigador puede hacer acerca de su modelo.

En el presente estudio no fue posible hacer un diseño experimental, ya que en cada prueba las condiciones son diferentes y esto se debe a que únicamente se contó con un solo modelo experimental, es decir no se tenían unidades experimentales diferentes y las variables de operación no eran controlables además de que la modelación de las constantes cinéticas y de predicción aplicables al proceso eran ficticias, inclusive el substrato para cada corrida o prueba era diferente, por lo que la modelación del experimento se basó en un modelo matemático

3.3.1 Diseño del Modelo Experimental

La técnica de espesamiento por flotación es simplemente lo contrario que el espesamiento por gravedad. La flotación utiliza como ya se mencionó, burbujas microscópicas de aire, las cuales ascienden a la superficie y en su ascenso atrapan y remueven las partículas de lodo. Bajo este principio se argumenta que existen varios métodos de diseño para el espesamiento por flotación, dependiendo de la importancia de la instalación, de la condición del lodo a espesar y de la experiencia del ingeniero.

El método de diseño basado en la experiencia y el método basado en las pruebas de laboratorio, son los métodos más frecuentemente utilizados, ya que se basan en la sedimentación por gravedad.

a) Diseño basado en la experiencia

Se selecciona una carga hidráulica superficial, tiempo de retención y una carga de sólidos. El equipo de flotación fabricado por compañías privadas, tiene instalado generalmente numerosos mecanismos de flotación en plantas de tratamiento, además de que dan opinión del tipo de lodo producido y son capaces de estimar muy aproximadamente el rendimiento del espesamiento del lodo. Con frecuencia diseñan unidades de flotación seleccionando simplemente la carga superficial, generalmente entre 0.22 y 0.9 m³/m²·h (1 y 4 gpm/ft²), un tiempo de retención de alrededor de 30 minutos y una carga de sólidos entre 2.5 a 25 kg/m²·h (0.5 a 5 lb/ft²·h).

Se recomienda; en la medida de lo posible que el lodo sea examinado en el laboratorio antes que el espesamiento por flotación sea diseñado, ya que un diseño razonable basado en la experiencia solamente se realizará cuando no sea posible correr al menos una prueba DAF de laboratorio para una muestra de lodo.

b) Diseño basado en las pruebas discontinuas de flotación.

A partir de las pruebas de flotación de laboratorio se podrá estimar lo siguiente:

- 1) La razón aire-sólidos (A/S)
- 2) El área superficial
- 3) El tiempo de retención
- 4) La proporción de recirculación

La profundidad se determinará a partir de las limitaciones del equipo, es por eso que son estimadas las áreas de la superficie al igual que el tiempo de retención.

El aire requerido puede ser analizado considerando que la concentración del aire en el flujo recirculado está dado por: $C = f S_a P$ (3.1)

donde: f = fracción de saturación conseguida, usualmente 0.5, S_a = Solubilidad del aire o concentración de saturación del aire a una atmósfera de presión y P = presión en el tanque de retención:

$$P = \frac{(p \times 14.2248) + 14.7}{14.7}; [p, \text{kg/cm}^2]$$

Temp, °C	0	10	20	30
S_a , ml/l	29.2	22.8	18.7	15.7

La cantidad total dentro del tanque de flotación esta dada por la ecuación 3.2:

$$A_e = (fS_aP) RQ + S_aQ \quad (3.2)$$

donde:

Q = Gasto de alimentación (influyente)

R = Tasa de recirculación como fracción de Q

El último término de la ecuación (3.2) se refiere a disolver el aire en la alimentación, asumiendo la saturación completa. En el caso de que la alimentación sea lodo aerobio, la fracción contribuida por el oxígeno es despreciable.

Después, la presión es proporcionada, y el aire en equilibrio está dado por (3.3):

$$A_{\text{equil}} = S_a (R + 1)Q \quad (3.3)$$

La cantidad de aire disponible para la flotación está dada por diferencia de (3.2) y (3.3):

$$A = A_e - A_{\text{equil}} = S_a (fP - 1) RQ \quad (3.4)$$

La alimentación de sólidos es $S = QC_o$ donde C_o es la concentración de sólidos en la muestra cruda. Por lo tanto la ecuación (3.5) es la que proporciona la relación A/S de operación en un proceso continuo:

$$\frac{A}{S} = \frac{S_a (fP - 1) R}{Q C_o} \quad (3.5)$$

Comúnmente para un proceso continuo, S_a esta en mg/l, P en atmósferas y C_o en mg/l. A 20 °C, S_a es aproximadamente de 24 mg/l. En la práctica P frecuentemente se toma cerca de 3 atm, f va de 0.5 a 0.8, y la tasa de recirculación $R = 0.33$ a 1.0 (Metcalf & Eddy, 1991).

Para las pruebas de flotación discontinúa se utiliza la ecuación (3.6) siguiente:

$$\frac{A}{S} = \frac{1.293 S_a [P - 1] R}{V C_o} \quad (3.6)$$

donde:

A/S = Relación aire-sólidos en ml/mg,

Sa = Saturación del aire en mg/l,

R = Volumen presurizado en litros y

V = Volumen de la muestra de lodo en litros.

El factor 1.293 es el peso en miligramos de 1 ml de aire y el termino (-1) entre paréntesis prevé la posibilidad de que el sistema sea operado en condiciones atmosféricas (Metcalf & Eddy, 1991). Por lo tanto con la ecuación (3.6) se obtiene a partir de un proceso discontinuo de laboratorio la relación A/S de operación y que que posteriormente al sustituirlo en la ecuación (3.5) se obtienen las condiciones de operación para un proceso continuo.

3.4 METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO.

El procedimiento de laboratorio y el equipo necesario para determinar los parámetros de diseño son los discutidos por Wood y Dick en 1973 y posteriormente modificados y actualizados por Gehr y Henry en 1976, los detalles de diseño del proceso "DAF" los describen Bratby y Marais en 1976 y 1977 (mencionado en Fair, 1993). A continuación se describe la metodología adaptada a las condiciones particulares de este estudio pero con fundamento en los procedimientos de los autores antes mencionados (Eckenfelder, 1970).

1. Se agrega una cantidad definida de lodo activado en la columna de flotación (500 ml o 750 ml). Se toma una muestra para determinar la concentración de sólidos totales y sólidos suspendidos totales.
2. Se llena la celda de presión a 3/4 partes del total con agua limpia y se suministra aire comprimido hasta alcanzar una presión de 4.0 kg/cm² (57 lb/plg²).
3. Se agita el contenedor durante un minuto y se mantiene presurizado al menos cinco minutos.
4. Se libera un volumen de líquido presurizado al cilindro graduado, para mezclarlo con el lodo.
5. Indicar el conteo del tiempo registrando la proporción de elevación (altura de interfase, cm).
6. Después de 15 minutos se separan los lodos espesados para determinar sólidos totales y suspendidos totales, así mismo se extrae el líquido clarificado y cualquier sólido que pueda estar asentado dentro del recipiente de flotación. Se mezcla éste y se analizan los sólidos suspendidos.
7. Se repite el experimento usando diferentes presiones de 3.8 a 4.5 kg/cm² (54 a 64 lb/plg²) y variando la tasa de recirculación (150, 250 y 500 ml de líquido presurizado). Se registran los resultados de cada corrida.
8. Se relacionan los sólidos suspendidos del efluente y los sólidos flotantes determinando la razón aire/sólidos (A/S). Cuando se utiliza el reciclaje presurizado, la razón aire/sólidos se determina con la expresión correspondiente a la relación A/S para la prueba discontinua (batch) de laboratorio.
9. Desarrollar una relación entre la razón aire-sólidos, sólidos suspendidos en el efluente y la concentración de lodo flotante (figura, 3.4).
10. Determinar la tasa de remoción (tasa de derrame) y determinar el área requerida usando la tasa obtenida en este paso.

Al adicionar productos químicos, deberán ser añadidos al lodo primero en el cilindro graduado e iniciar el procedimiento desde el paso 4, (Una fotografía del aparato utilizado se muestra en la lamina 3.1).

El aire y el agua son presurizados por burbujas de aire y esta mezcla es suministrada dentro de la celda de flotación, simulando la operación de un espesador (ver lamina 3.2). Conduciendo una serie de pruebas con varias combinaciones de lodo y agua, alimentando bajo diferentes presiones es posible establecer el criterio de diseño óptimo.

Los resultados de las pruebas de laboratorio se pueden graficar, relacionando los sólidos suspendidos del líquido clarificado y los sólidos espesados o flotantes calculando la razón aire/sólidos (A/S), utilizando el reciclaje presurizado. Primero se construye una gráfica donde se relacione la razón A/S y los sólidos suspendidos en el líquido clarificado y después otra gráfica donde se relacione la razón A/S y la concentración de lodo espesado o flotante (figura 3.4).

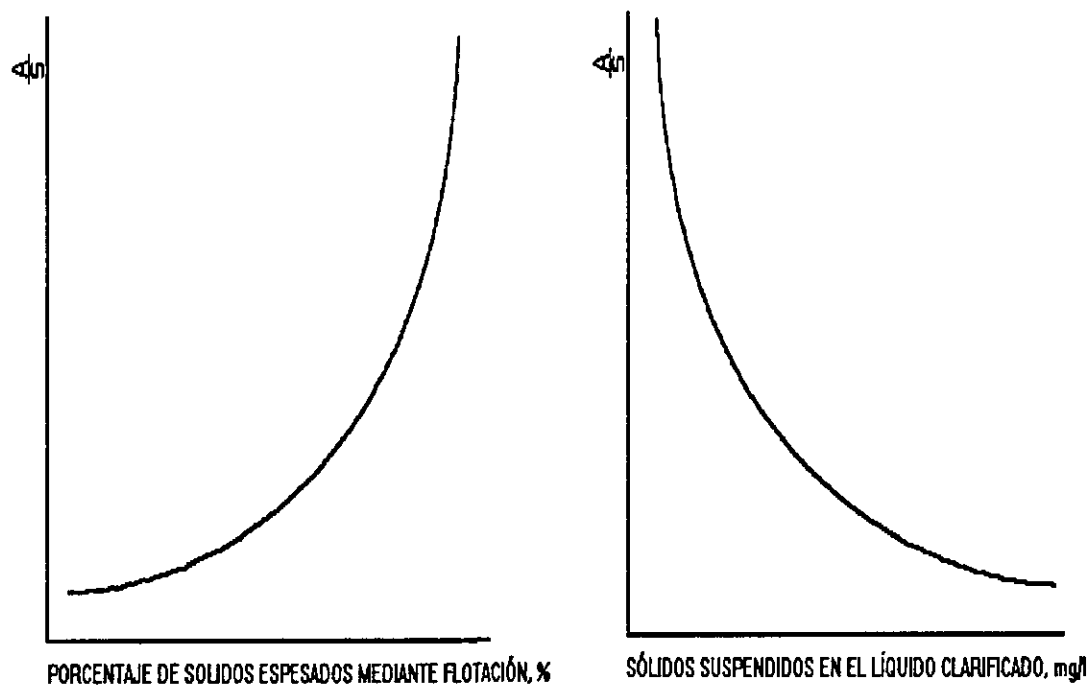
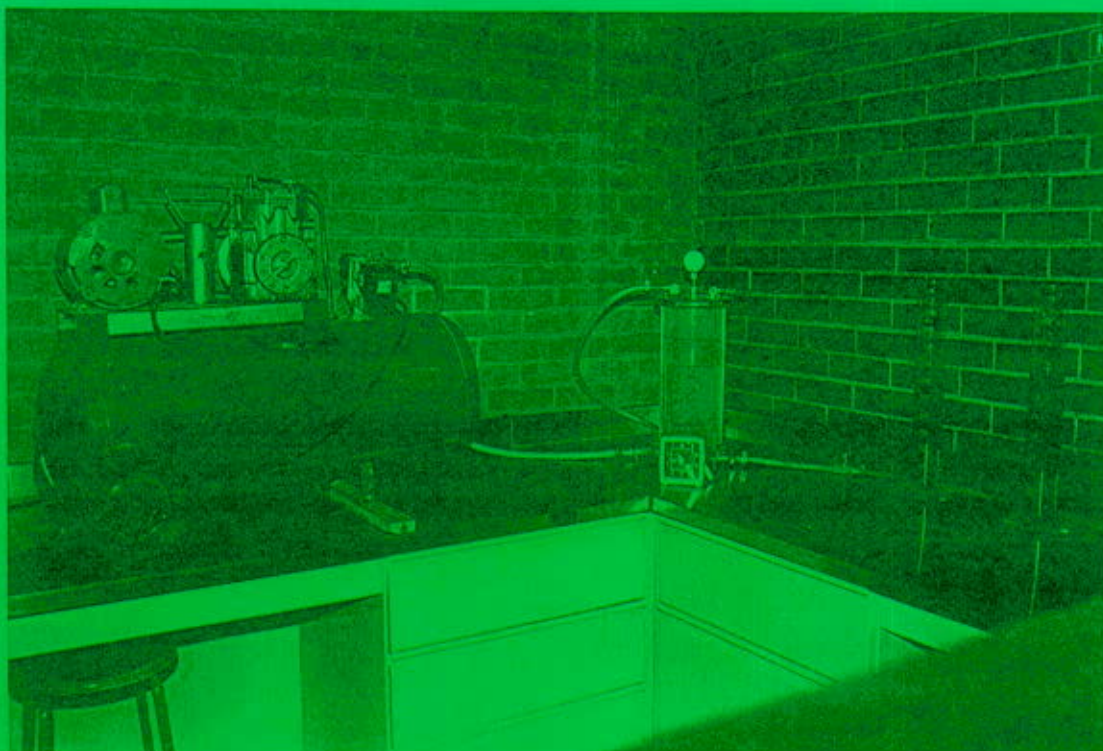
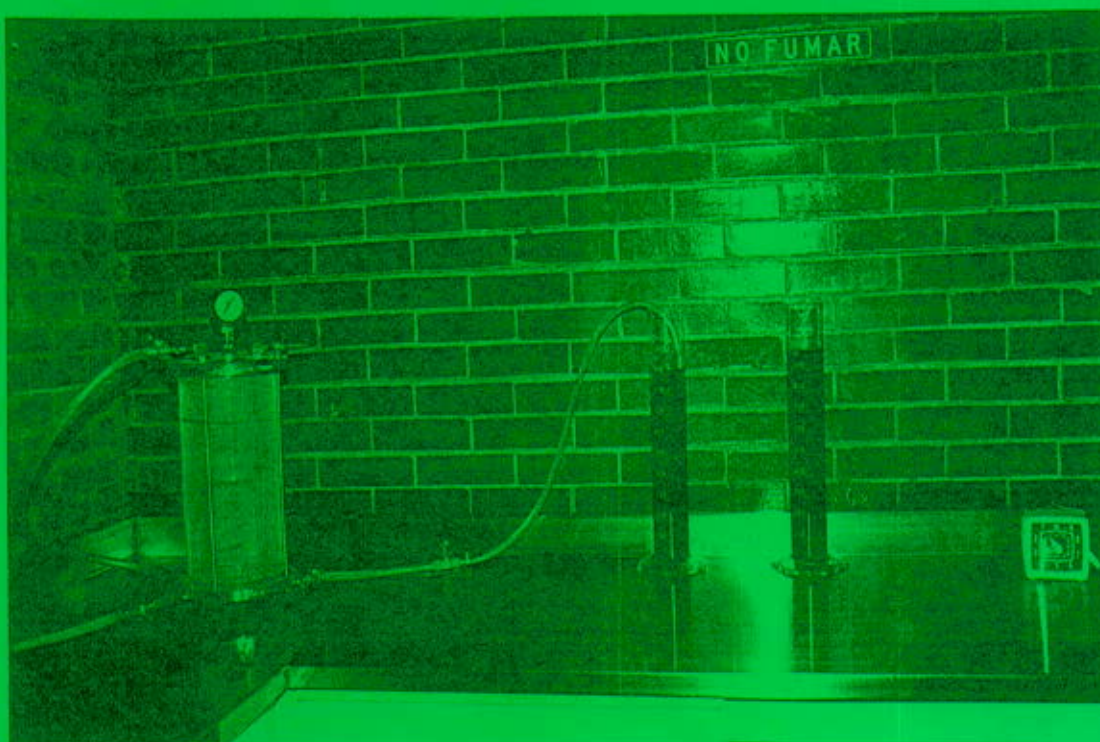


FIGURA 3.4 CURVAS TÍPICAS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE FLOTACIÓN.
 (FUENTE: Vesilind, 1986).

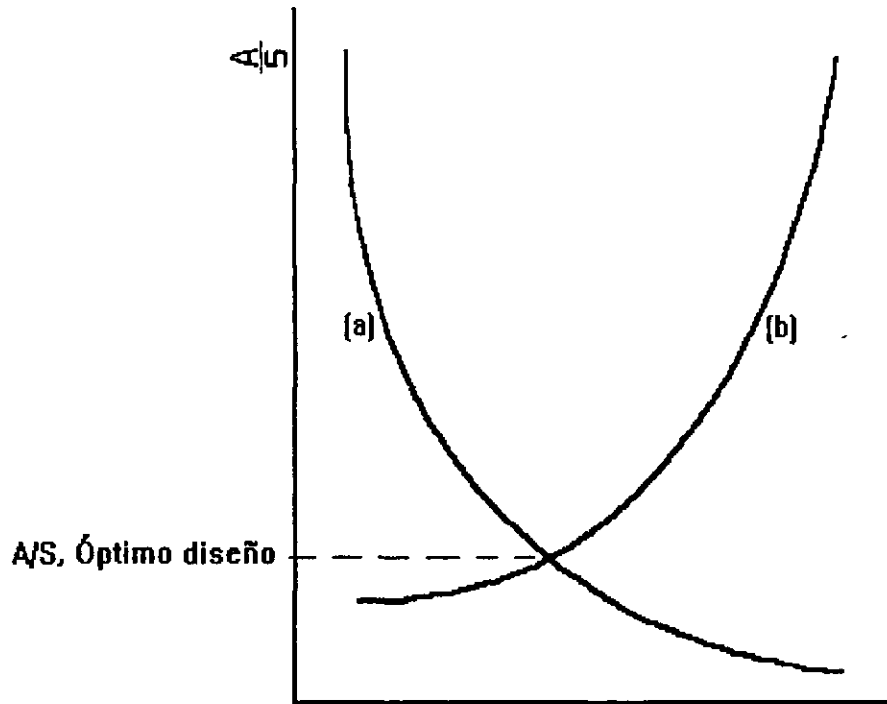
Para varias relaciones de A/S, las curvas resultantes para los sólidos en el efluente y el porcentaje de la nata de sólidos, será interpretado de manera que resulte obvio que en algún punto, cualquier incremento adicional en la relación A/S, no incrementaría considerablemente la eficiencia de operación, por lo que basándose en esta información se seleccionaría un diseño tal, considerando la relación A/S en cuestión (ver figura 3.5).



LAMINA 3.1 EN LA ILUSTRACIÓN SE OBSERVA EL EQUIPO DE LABORATORIO COMPLETO QUE SE EMPLEÓ PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTTO.



LAMINA 3.2 MOMENTO EN QUE SE ESTA SUMINISTRADO EL LIQUIDO PRESURIZADO A UNA MUESTRA DE LODO SIN POLÍMERO Y A OTRO CON POLÍMERO.



a) SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LÍQUIDO CLARIFICADO, mg/l

b) PORCENTAJE DE LODO ESPESADO, %

FIGURA 3.5. RELACION A/S OPTIMA DE DISEÑO, EN LA CUAL SE CONSIDERA QUE EN EL PUNTO DE INTERCEPCIÓN, SE DÁ EL MÁXIMO ESPESAMIENTO SIMULTANEO A LA MAXIMA CLARIFICACIÓN; SIN AUMENTAR CONSIDERABLEMENTE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN. (FUENTE: Vesilind, 1986).

El área superficial para el espesador frecuentemente no es diseñada del todo, ya que se puede establecer mejor a través de la experiencia. Esto se debe en parte a la dificultad que involucra lo establecido como factores de seguridad para realizar las pruebas de laboratorio.

Para determinar el área superficial de un espesador por flotación se hace la consideración de que el tanque de flotación es como un tanque de sedimentación y se aplican los mismos procedimientos y métodos utilizados para el diseño de sedimentación por gravedad.

Las curvas de altura o interfase del lodo espesado mediante flotación contra tiempo, son igualmente obtenidas para espesamiento por gravedad, con la excepción de que para flotación las curvas están invertidas. A partir de estas curvas, las cuales indican la velocidad de ascenso y en base a la carga de sólidos, se puede diseñar el área superficial.

La tasa de recirculación es una relación del volumen del efluente (V_R), el cual se agrega dentro de la columna de flotación (probeta) con respecto al volumen de lodos (V_L) en la columna. Por ejemplo, para tener una tasa de recirculación del 33%, se agrega 250 ml de líquido

clarificado para 750 ml de muestra de lodos crudo ($[250 \text{ ml}/750 \text{ ml}] \cdot 100 = 33\%$). Un cálculo general del volumen necesario, con R como el porcentaje de recirculación es obtenido con la siguiente expresión:

$$V_R \text{ (ml)} = (1000 \times R)/(100 + R) \quad \text{y} \quad V_L \text{ (ml)} = 1000 - V_R$$

donde: R es el porcentaje de recirculación

Se hace la consideración que la tasa de recirculación obtenida en las pruebas de laboratorio, deberá ser la misma que se usará en los espesadores DAF a escala real. En el caso de que la temperatura, la aplicación del aire presurizado y los niveles de sólidos suspendidos fueran muy semejante a los de escala real entonces la relación A/S de diseño se afectaría por un coeficiente de seguridad.

Por otro lado la tasa de remoción de lodos se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$\% R = \frac{C_k (C_o - C_f)}{C_o (C_k - C_f)} \times 100$$

Donde:

R = Tasa de remoción en %,

C_k = S.S. del lodo espesado mediante flotación en mg/l,

C_o = S.S. del lodo crudo en mg/l y

C_f = S.S. del líquido clarificado en mg/l.

La tasa de recirculación se puede obtener a través de la ecuación (3.5). En el caso de una relación de A/S desconocida y grado de recirculación desconocido, no se puede determinar el proceso. Así que todo requiere de un diseño de parámetros que puedan obtenerse a partir de la experiencia del laboratorio.

El funcionamiento de la prueba discontinua de flotación DAF, se mejora adicionando polímero (CYTEC al 0.4%). Los polímeros pueden incrementar la recuperación de sólidos en el lodo espesado de un 85 a 99% y también reduce sólidos suspendidos del líquido clarificado. Las dosis típicas de polímeros se encuentran en el intervalo de 2 a 5 gramos de polímero seco por kilogramo de sólidos secos (del 0.2 al 0.5%), pero estos rangos dependen considerablemente del tipo de lodo y del proceso de flotación.

Teóricamente la pendiente, de la curva que represente el comportamiento de la altura de interfase con respecto al tiempo, es la tasa de ascenso de las partículas de lodo. Una tasa rápida es equivalente a una carga superficial alta (figura 3.6).

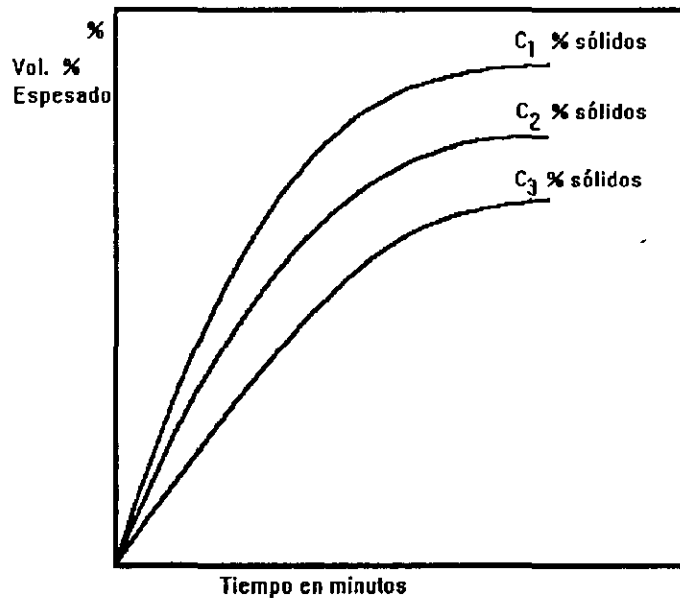


FIGURA 3.6.- CURVAS TÍPICAS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE FLOTACIÓN EXPRESADAS COMO PORCENTAJE DE REMOCIÓN REFERIDA A LA CONCENTRACIÓN DE LODO. (FUENTE: Eckenfelder, 1970).

Después de que el experimento de flotación ha sido ejecutado para varias dosis y tipos de polímeros, se grafica la dosis de polímero empleada (abscisa) contra la tasa de remoción (ordenada), para posteriormente determinar el porcentaje de recuperación para el polímero usado.

Los resultados tienen la siguiente interpretación: La dosis de polímeros que proporcionará una flotación óptima del lodo a escala real es la que se adopta para ser la dosis que dé la máxima tasa de crecimiento, la concentración de sólidos flotados y el porcentaje de remoción.

Si se dificulta la interpretación de los resultados para obtener la dosis, se repite el procedimiento, usando un segundo juego de dosis apropiadas. La dosis óptima puede ser entonces convertida a un costo para el polímero en particular y así comparar con otras alternativas. Otro método para seleccionar un polímero es la designación de una tasa de remoción específica. Este valor es obtenido mediante la experimentación de los lodos a través del proceso de flotación discontinua (batch), cuando se está operando a una eficiencia deseada. Cuando se está experimentando con otros polímeros, la dosis fallida prevé la ejecución o selección de otro valor específico que dé una predicción de la dosis, que pueda ser requerida por el lodo en cuestión.

En el experimento de flotación discontinua, no es recomendable pronosticar un buen resultado para un equipo a escala real. Sin embargo, el procedimiento puede ser modificado de varias formas para mejorar convenientemente a una instalación dada. La relación aire-sólidos,

presión, tiempo de presurización y tiempo de flotación pueden ser ajustados de tal manera que los resultados del procedimiento de laboratorio, sean semejantes a lo obtenidos en un proceso a escala real.

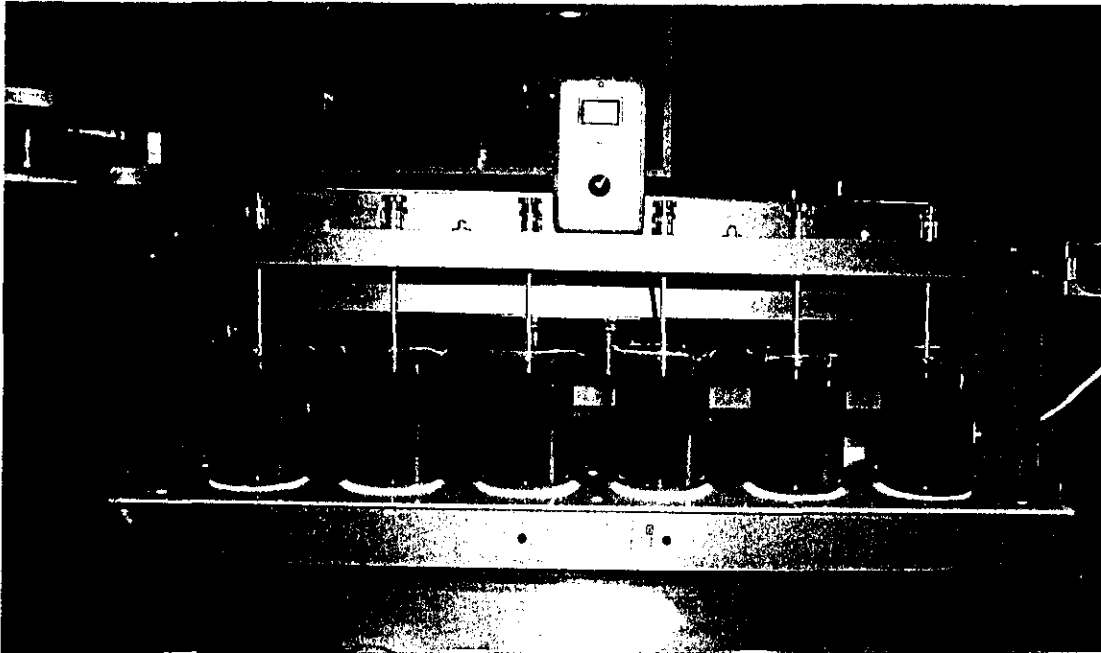
3.5 MUESTREO Y MONITOREO.

De 15 muestras de lodo que se tomaron aleatoriamente en la planta, cinco correspondieron al sistema de recirculación de lodos por bombeo, cinco al tipo de recirculación de lodos denominado como "Air lips" (dispositivo que aprovecha el aire de los difusores para crear carga hidráulica en la línea de lodos y con la presión acumulada es posible, debido a esta carga; depositar los lodos biológicos en un canal que los conduce por gravedad hacia el tanque de aeración); y cinco se tomaron en el sistema que recolecta lodos del sedimentador secundario mediante bombas sumergibles.

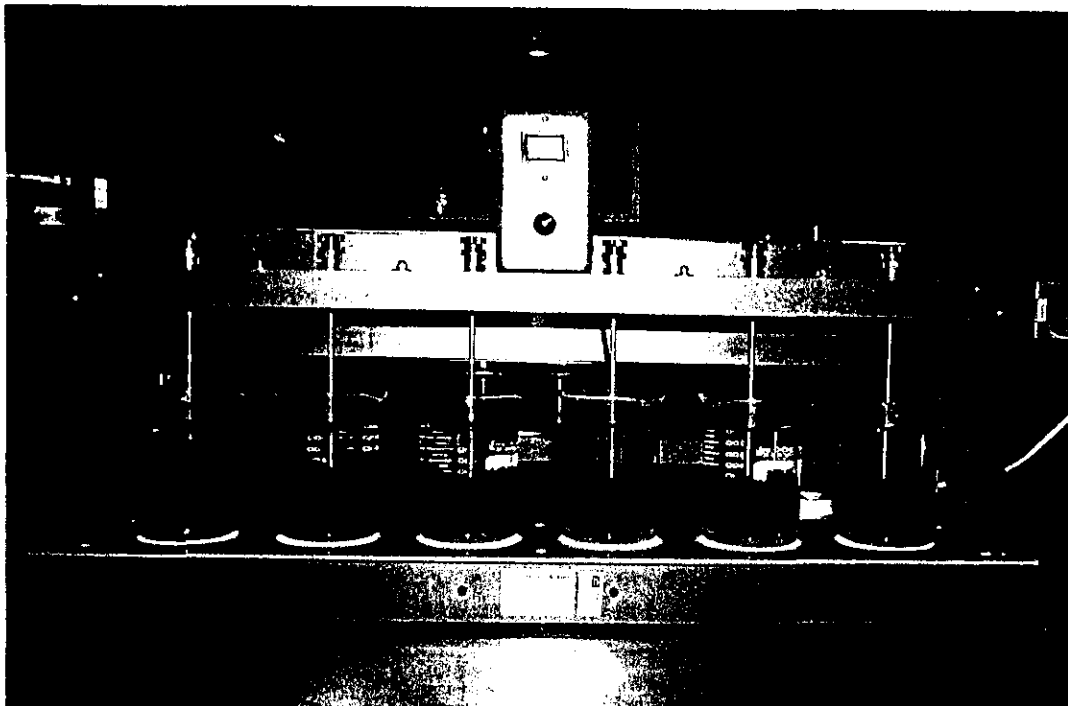
El muestreo de lodos en la planta se realizó del 20 de junio al 5 de agosto todos los días de la semana excepto fines de semana, las muestras se tomaron entre las 9:00 y 11:30 de la mañana, los experimentos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Se realizaron 30 pruebas de flotación, de las cuales 20 fueron sin adicionar polímero y con recirculación de 33 y 100% y 10 pruebas se efectuaron con adición de diferentes dosis de polímero CYTEC al 0.4%, para cada muestra de lodo se efectuaron diferentes corridas experimentales de flotación en laboratorio, variando las condiciones de operación con el fin de establecer preliminarmente las condiciones de prueba definitiva, ya que la determinación de sólidos, de acuerdo con el procedimiento estandarizado requería demasiado tiempo de análisis de laboratorio. Las condiciones de operación se hicieron variar de acuerdo al procedimiento que se indica en la tabla 3.1.

A cada muestra analizada se le determinó inicialmente la temperatura y el peso específico, para llevar a cabo la determinación de este último; se tomó una muestra de 50 ml de lodo con una pipeta volumétrica de 50 ml, posteriormente se vertía a un recipiente a peso tara para determinar el peso de la muestra de 50 ml de lodo, de esta forma se obtenían los gramos por mililitro que equivale a kg/l. Posteriormente se procedió a la determinación de sólidos totales y sólidos suspendidos totales de la muestra cruda, de acuerdo al procedimiento establecido por "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992", la determinación de sólidos se obtuvo por duplicado tanto para S.T. como para S.S.T., ésto con el fin de obtener un resultado confiable. Para las pruebas donde se empleó polímero, se determinaron los sólidos de la muestra de lodo con la dosis de polímero obtenida de la prueba de jarras, que previamente se practico a la muestra de lodo con el fin de optimizar la adición del producto químico (ver lamina 3.3 y 3.4).



LAMINA 3.3 SE MUESTRA EL MOMENTO PREVIO A LA DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO, DÓISIS DIFERENTES DE POLÍMERO ADICIONADAS A LA MUESTRA CRUDA DE LODO (APARATO DE JARRAS).



LAMINA 3.4 LA MEJOR DOSIS DE POLÍMERO FUE AQUELLA QUE ARROJABA LA MENOR TURBIEDAD EN EL LÍQUIDO CLARIFICADO Y LA MAYOR CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.

Se procedió a realizar la prueba de flotación con aire disuelto de acuerdo al procedimiento indicado en el apartado 3.4 (Metodología Experimental), el tiempo de retención se estableció constante a 15 minutos. Se realizó el experimento variando las presiones de 3.8 a 4.5 kg/cm², se pudo observar que para 4.2 kg/cm² la flotación se efectuó casi siempre, ya que al utilizar presiones menores a ésta, existía gran incertidumbre en llevarse a cabo el experimento. Se ensayó la prueba primero con un volumen de recirculación de 150 ml, posteriormente de 250 ml y por último de 500 ml de líquido presurizado. Se registraron los resultados de cada corrida. Observándose que los mejores resultados para 250 y 500 ml, es decir para tasas de recirculación de 33 y 100%.

TABLA 3.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL, RECIRCULACIONES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL EXPERIMENTO

VOLUMEN DE MUESTRA DE LODO; V_M , ml	LIQUIDO PRESURIZADO V_R , ml	RECIRCULACIÓN, % $R = [V_R/V_M] \cdot 100$
750	150	20
500	150	30
750	250	33
500	250	50
750	500	67
500	500	100

LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL EXPERIMENTO FUERON

- Presión suministrada en las pruebas de laboratorio. 3.8, 4, 4.2 y 4.5 kg/cm²
- El tiempo de retención se mantuvo constante a 15 minutos en cada corrida
- La dosis de polímero (CYTEC al 0.4%) fue de 1, 2, 3, 4, y 6 ml por litro de lodo

NOTA: Los recirculaciones de 33 y 100% fueron las que arrojaron resultados exitosos es decir si flotó, se realizaron pruebas para cada recirculación indicada y con las condiciones de operación también indicada en esta tabla.

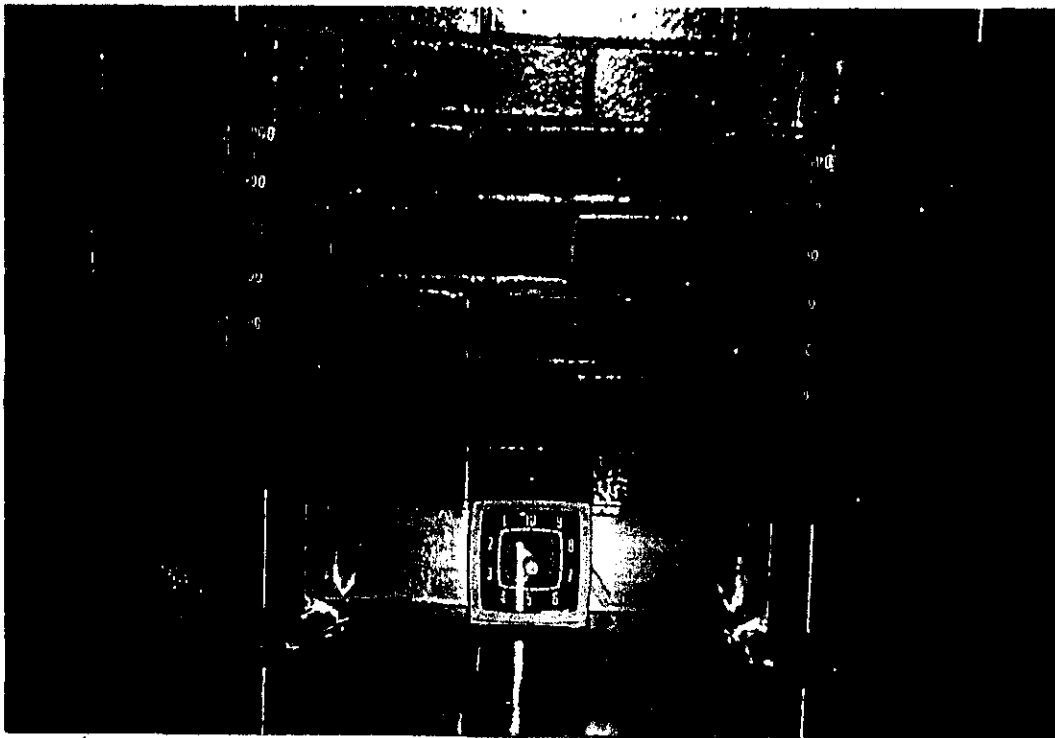
En cada corrida de prueba de flotación, se determinaron la tasa de ascenso, obtenida en función de la altura de interfase (cm) con respecto al tiempo (min), también se obtuvo el porcentaje de lodo espesado o flotado, tasa de recirculación, relación A/S y la concentración de sólidos totales y suspendidos totales tanto para la muestra espesada como para el líquido clarificado, en el capítulo siguiente se presenta una serie de tablas en las que se muestra un registro de los resultados obtenidos para cada prueba, tanto para las pruebas con la adición de polímero y sin la adición de éste.

Cabe mencionar que para cada muestra traída de la PTARCE, se realizaron diferentes análisis, hasta obtener un resultado satisfactorio ya que en la mayoría de los casos las primeras corridas resultaban fallidas, por lo que se tuvieron que variar algunas de las condiciones de operación, tales como: presión suministrada, tasa de recirculación, tiempo de disolución, entre otras.

El tiempo de realización de pruebas en el laboratorio fue de aproximadamente dos meses y medio, se realizaron en promedio de 4 a 6 pruebas por cada sesión, es decir del orden de 140 pruebas de las cuales en 30 se obtuvieron resultados confiables para hacer una evaluación. Por otra parte se consideró a las pruebas fallidas; como aquellas que presentaron algunas de las características que indica la tabla 3.2, en la lamina 3.5 se pueden ver ejemplos de pruebas fallidas, asimismo en la lamina 3.6 se observan ejemplos de pruebas exitosas.

TABLA 3.2 CARACTERISTICAS DE LAS PRUEBAS CONSIDERADAS COMO FALLIDAS

CARACTERISTICAS DE LAS PRUEBAS DAF CONSIDERADAS COMO FALLIDAS	
a)	No se presentó el ascenso o la flotación del lodo, para las condiciones de presión y tasa de recirculación adoptada inicialmente.
b)	Se presentó un ascenso de lodo en forma parcial, es decir se fractura la columna de lodo después de suministrado el líquido presurizado, parte asciende y parte sedimenta, este efecto generalmente se dió cuando se usaron muestras de lodo muy concentradas, también en pruebas donde se suministraron en general presiones menores de 4.1 kg/cm ² , la mínima presión suministrada fue de 3.8 kg/cm ² cabe mencionar que para algunas pruebas el resultado fué exitoso utilizando esta presión.
c)	También se consideraron como pruebas fallidas aquellas que presentaron fractura en la masa de lodo por espesar después del minuto 13, ya que para este tipo de pruebas el tiempo de retención de 15 minutos resultó insuficiente.
d)	En el caso de las pruebas con adición de polímero, fueron fallidas aquellas que no ascendieron completamente, ya que en ocasiones el exceso de polímero producía una floculación muy densa comportandose el lodo como una masa homogénea en toda la columna sedimentando en lugar de flotar, y finalmente se consideraron fallidas aquellas pruebas donde el ascenso fue menor de 7.5 cm en 10 minutos.



LAMINA 3.5 SE PUEDE OBSERVAR UN PAR DE PRUEBAS FALLIDAS, EN LA PROBETA DE LA IZQUIERDA LA TASA DE ASCESO FUE MUY LENTA MENOS DE 7.5 cm EN 15 min. Y EN LA DERECHA EL LODO FLOCULO PERO SE FRACTURO Y NO ASCENDIÓ.



LAMINA 3.6 SE MUESTRAN TRES PRUEBAS NO FALLIDAS CON DIFERENTES CONDICIONES, A LA IZQUIERDA LODO SIN POLIMERO Y R: AL 100%, AL CENTRO LODO SIN POLÍMERO Y R: AL 33% Y ENSEGUIDA LODO CON POLIMERO Y R: AL 33%.

3.6 CUANTIFICACIÓN DE LOS LODOS DE EXCESO

Con objeto de cuantificar la cantidad de lodos que produce la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella (PTARCE), se registraron los valores de los parámetros de operación, obtenidos de las bitácoras diarias de la PTARCE y que se encuentra condensada en las tablas 3.4. Cabe recordar que la planta produce lodos de exceso que pueden ser primarios y secundarios pero en este estudio únicamente se enfocará a la cuantificación de lodos secundario o biológicos. Las ecuaciones de balance para determinar la cantidad de lodo secundario son las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 las cuales se presentan a continuación:

$$TLAP = (1-k) X_i - X_e + \Delta X \quad (3.7)$$

$$\Delta X = \Delta(Y) \quad \text{y} \quad \Delta S = hS_o - iS_e \quad (3.8), (3.9)$$

donde:

- TLAP = Total de lodo activado producido, Kg/día
- S_o = DBO en el influente, kg/día
- X_i = Sólidos suspendidos en el influente, kg/día
- h = Fracción de DBO no removida en el clarificador primario
- i = Fracción de DBO no removida en el sistema biológico
- X_e = Sólidos suspendidos en el efluente, kg/día
- k = Fracción de X_o (sólidos suspendidos, kg/día) removidos en el sedimentador primario
- ΔX = Producción neta de sólidos por acción biológica, kg/día
- Y = Productividad de lodos, en kg SST/kg de DBO removida

Las variables más importantes para predecir la producción de lodos en el sistema de lodos activados son: la cantidad de materia orgánica eliminada durante el proceso, la masa de microorganismos en el sistema, los sólidos biológicamente inertes en el influente del proceso y los sólidos suspendidos en el efluente.

Todas estas variables se relacionan de acuerdo con las ecuaciones 3.7, 3.8 y 3.9 (Vesilind, 1986). Los lodos provenientes de otro proceso biológico como el de filtros percoladores también es posible determinarlos con base en estos modelos, aunque en la actualidad se han desarrollado modelos matemáticos específicos para predecir tal producción. En cuanto a los biodiscos aún no han sido tan estudiados como los de los sistemas antes mencionados; sin embargo, se sabe que es similar al lodo formado en el filtro percolador en concentración de sólidos, contenido de nutrientes y otras características (EPA, 1979). A manera de ejemplo se presentan en la Tabla 3.3 algunos valores de la producción de lodos de aguas residuales generalmente aceptados en plantas que operan con filtro percolador y biodiscos.

En general, los lodos primarios son más concentrados, tienen mayor poder calorífico, mayor contenido de grasas y aceites, aunque sus propiedades nutritivas son más pobres que los lodos secundarios.

TABLA 3.3 PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS EN LAS PLANTAS QUE OPERAN CON SISTEMA BIOLÓGICOS DE PELÍCULAS FIJA

PERIODO CONSIDERADO	FILTRO PERCOLADOR GR SST/KG DBO ELIMINADA	BIODICOS gr SST/kg DBO ELIMINADO
Promedio anual	600 - 800	400 - 500
Meses pico	1000 - 1500	900 - 1000
Valor máximo	2000 - 3000	2000 - 3000

Fuente: WEF/ASC, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 1992.

A manera de ejemplo de cuantificación de lodos: se estima que para el 2000 se tratarán 121 m³/s de agua residual y las características que se habrán de considerar segun Metcalf son del orden de 220, 500 y 220 mg/l para DBO₅, DQO y SST respectivamente. A continuación se determinará la cantidad de lodo biológico producido de acuerdo con las ecuaciones 3.7, 3.8 y 3.9. (ejemplo citado en Metcalf & Eddy 1991, en el caso de México segun CNA (1994); las características son del orden de DBO₅=280, DQO=614 y SST=249 mg/l).

Los sólidos suspendidos en el influente, $X_i = (220 \text{ mg/l})(121,000 \text{ l/s}) \rightarrow X_i = 121,968 \text{ kg/hr}$

La DBO removida en el sedimentador secundario, considerando $h = 0.7$ y $i = 0.1$ (Metcalf & Eddy, 1991) es de: $DBO_r = \Delta S = hS_o - ihS_o = 60374.08 \text{ kg/hr}$

Si $Y = 0.5$ (Metcalf & Eddy, 1991) y $\Delta X = \Delta S(Y)$, tenemos que: $\Delta X = 30187.08 \text{ kg/hr}$

Los sólidos suspendidos en el efluente: $X_r = (20 \text{ mg/l})(121,000 \text{ l/s}) \rightarrow X_r = 8712 \text{ kg/hr}$

Por tanto, la cantidad de lodo activado que se estima generar mediante el tratamiento de 121 m³/s es de: $TLAP = (1-K)X_i - X_r + \Delta X \rightarrow TLAP = 59807.88 \text{ kg/hr}$ o bien 1435.4 ton día como sólidos secos.

Si se considera que el lodo presenta una concentración en promedio de 1%, el volumen total como caudal a manejar será del orden de 143,540 m³/día (1.66 m³/s).

A continuación se cuantifican los lodos biológicos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cerro de la Estrella, basandose, en las ecuaciones de Vesilind, las cuales se describieron anteriormente en este mismo apartado. Cabe señalar que es muy importante cuantificar la cantidad de lodos que produce la PTARCE, así como la concentración, ya que estos parámetros son fundamentales determinantes para establecer el diseño de las etapas subsecuentes de un sistema de tratamiento de lodos residuales. Por otro lado esta información dará un acercamiento sobre el estado de funcionamiento del sistema biológico en estudio.

TABLA 3.4 CUANTIFICACIÓN PROMEDIA MENSUAL DE LODOS BIOLÓGICOS EN EL SISTEMA BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS A PARTIR DE LOS VALORES MEDIOS MENSUALES DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN TRENES 1 Y 2 "PTARCE (DE FEB/94 A SEP/96, DETERMINADOS EN EL LABORATORIO DE LA MISMA PLANTA).

	MES	Q _r l/s	SST, mg/l	DQO, mg/l	SST, mg/l	DQO, mg/l	SST, mg/l	DQO, mg/l	Y	ΔS kg/día	ΔX kg/día	TLAP kg/día	TLAP m ³ /d
1994	FEB	2228.1	111.73	386	52.73	29.80	59.00	356.20	0.166	46814.1	7754.2	6206.8	620.7
	MAR	1811.1	100.1	447	35.27	37.50	64.83	409.50	0.158	44066.1	6976.3	7722.7	772.3
	ABR	1693.2	93.6	309	32.43	22.43	61.17	286.57	0.213	28478.8	6078.9	6811.9	681.2
	MAY	1736.9	93.6	314	44.74	25.30	48.86	288.70	0.169	29686.5	5024.2	3928.7	392.9
	JUN	1912.0	116.2	241	53.36	18.35	62.84	222.65	0.282	25081.8	7079.0	5942.5	594.3
	JUL	2347.3	53.36	197	11.68	13.52	41.68	183.48	0.227	25170.3	5717.8	7677.7	767.8
	AGO	2351.0	58.57	191	13.43	18.40	45.14	172.60	0.262	24442.2	6392.4	8423.2	842.3
	SEP	2075.2	59.67	181	12.9	5.35	46.77	175.65	0.266	20445.3	5443.1	7410.5	741.1
	OCT	2230.2	57.1	223	11.03	10.15	46.07	212.85	0.216	27070.9	5859.3	8134.9	813.5
	NOV	2325.5	56.8	233	10.79	13.33	46.01	219.67	0.209	29493.5	6177.4	8554.5	855.5
1995	FEB	1516.0	68.0	238	19.5	19.8	48.5	218.20	0.222	19639.5	4365.3	5373.9	537.4
	MAR	1951.0	78.2	283	18.89	20.1	59.31	262.90	0.226	30053.7	6780.1	8868.6	886.9
	ABR	1967.0	75.4	306	12.7	29.92	62.70	276.08	0.227	32762.7	7440.7	10408.	1041
	MAY	1965.5	81.7	282	17.5	28.96	64.20	253.04	0.254	30170.1	7654.6	10232.	1023
	JUN	2056.1	84.95	249	17.0	26.86	67.95	222.14	0.306	27867.5	8524.4	11541.	1154
	JUL	1739.9	61.33	207	17.78	21.02	43.55	185.98	0.234	19604.2	4590.6	5605.6	560.6
	AGO	2110.4	98.83	168	11.67	14.06	87.16	153.94	0.566	19298.7	10927	16007	1601
	SEP	2033.4	67.00	158	16.00	7.42	51.00	150.58	0.339	17487.8	5922.9	7820.3	782.0
	OCT	2014.5	64.00	202	12.00	14.86	52.00	187.14	0.278	22149.9	6154.7	8521.9	852.2
	NOV	1673.6	72.86	199	26.30	21.5	46.56	177.50	0.262	18128.4	4755.3	5166.5	516.7
	DIC	2034.6	97.35	246	29.80	22.58	67.55	223.42	0.302	27243.9	8237.1	9843.7	984.4
	1996	ENE	1876.5	110.0	290	32.01	27.17	77.99	262.83	0.297	29621.1	8789.5	10734
FEB		1979.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MAR		1854.5	99.54	296	21.34	18.67	78.20	277.33	0.282	29869.5	8425.3	11386	1139
ABR		1855.8	ND	361	ND	34.72	ND	326.28	ND	ND	ND	ND	ND
MAY		2028.0	ND	367	ND	32.00	ND	335.00	ND	ND	ND	ND	ND
JUN		2053.8	57.65	112	11.20	8.98	46.45	103.02	0.451	12520.8	5645.4	7749.9	775
JUL		1885.0	97.32	215	14.50	10.79	82.82	204.21	0.406	22054.9	8946.7	12925	1293
AGO		1869.3	76.09	266	19.27	16.98	56.82	249.02	0.228	27065.4	6175.6	7979.0	798
SEP		2071.3	70.89	199	13.09	12.64	57.80	186.36	0.310	22436.3	6958.7	9690.7	969.1
PROMEDIO		1974.9	80.07	254	21.81	20.11	58.26	233.89	0.272	26249.1	6770.2	8543.2	825.7
Desv. Estand.		201.4	19.21	74.8	12.54	8.41	12.68	67.74	0.09	7403.5	1537.5	2610.4	218.5
<p>Y: Productividad de lodos $Y = X_r \cdot Q_r / (DQO_r - DQO_0) Q_r$ [kg SST/kg DQO]</p> <p>$\Delta X = \Delta S (Y)$ y $\Delta S = hS_0 - iS_0$; [kg/día]</p> <p>TLAP : Total de lodos activados producidos ND : No Determinado</p>							<p>dónde</p> <p>h: Fracción de DQO no removida en el sedim. primario = 0.7 i: Fracción no removida en el sistema biológico = 0.1 k: Fracción de X₀ removidos en el sedim. primario = 0.6</p> <p>Fuente: Metcalf & Eddy, 1991</p> <p>TLAP = 8543.2 kg/día (como sólidos secos) TLAP al 1% = 825.65 m³/día (como caudal al 1% de sólidos)</p>						

De la tabla 3.4 se puede concluir, que el valor de la productividad de lodos ($Y = 0.272$) es considerablemente menor a lo indicado en la literatura ($Y = 0.5$, Metcalf & Eddy, 1991); de acuerdo al estudio realizado, la cuantificación de lodo biológico para PTARCE, está representado como si se produjera al 1% como concentración de sólidos, en la realidad el lodo crudo que se produce en la planta se encuentra en promedio al 0.56 % y mediante flotación con aire disuelto es posible llevarlo bajo las condiciones de este estudio en promedio hasta 1.64%, por lo que se estima que la planta tendrá un caudal de lodo crudo (sin espesamiento) de 1,525.571 m³/día (17.66 l/s) y con espesamiento por flotación de 520.93 m³/día (6.03 l/s), la memoria de calculo para obtener estas cantidades se presenta a continuación:

- Con base en la cuantificación de lodos obtenidos anteriormente, se producen 8,543.2 kg/l como sólido seco y su concentración es de 0.56% sin espesamiento (el lodo tiene aproximadamente un peso de 1 kg/l).

$$\begin{aligned} 8543.2 \text{ kg/día} &\rightarrow 0.56 \% \\ x \text{ kg/día} &\rightarrow 100 \% \end{aligned}$$

$$(100\%)(8543.2 \text{ kg/día})/0.56\% = 1,525,571. \text{ kg/ día o bién } 1,525.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

- La producción de lodos despues del espesamiento cuya concentración es del 1.64% se podría estimar como sigue:

$$\begin{aligned} 8543.2 \text{ kg/día} &\rightarrow 1.64 \% \\ x \text{ kg/día} &\rightarrow 100 \% \end{aligned}$$

$$(100\%)(8543.2 \text{ kg/día})/1.64\% = 520,926. \text{ kg/día o bién } 520.96 \text{ m}^3/\text{día}$$

Capítulo 4.**RESULTADOS****4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Las pruebas experimentales que se realizaron en el laboratorio, permitieron obtener datos importantes con los que se obtendrán los criterios que servirán para implantar el diseño del tanque de flotación DAF, y con esto llevar a cabo el espesamiento de lodos biológicos generados en la PTARCE.

A continuación se presenta una lista de los parámetros que fueron obtenidos en cada prueba DAF analizada en laboratorio:

- a) temperatura (°C),
- b) densidad de lodo (kg/l),
- c) volumen de muestra cruda de lodo (ml),
- d) presión suministrada en la celda de flotación (kg/cm²),
- e) volumen de líquido presurizado (ml),
- f) tasa de recirculación (%),
- g) sólidos totales de la muestra cruda (mg/l),
- h) sólidos totales de la muestra cruda con adición de polímero según sea el caso (mg/l),
- i) solubilidad del aire (ml/l),
- j) sólidos totales del lodo espesado (mg/l),
- k) sólidos suspendidos de la muestra cruda (mg/l),
- l) sólidos suspendidos del lodo espesado (mg/l),
- m) sólidos suspendidos del líquido clarificado (mg/l),
- n) tasa del flujo ascendente (cm/min),
- ñ) concentración de lodo crudo en (%),
- o) concentración de lodo espesado (%),
- p) tasa de remoción de lodo espesado (%) y
- r) relación de aire-sólidos (ml/mg).

Los resultados de laboratorio para cada prueba, se pueden observar en el Anexo 1

denominado "Resultados de Laboratorio"; indicándose para cada ensayo o prueba analizada una tabla con los resultados de los parámetros descritos anteriormente, así como la gráfica correspondiente la cual representa la velocidad de ascenso en función del tiempo y el volumen de lodo espesado en %.

Las pruebas se analizaron utilizando diferentes cantidades de aire suministrado, tasas de recirculación y dosis de polímero, con el fin de obtener resultados que puedan inducir al valor de la relación A/S que arroje la mejor eficiencia de operación.

Los resultados de las pruebas realizadas se presentan en tres grupos; los dos primeros comprenden los resultados de 20 pruebas sin la adición de polímero; nueve de estas se realizaron con tasa de recirculación al 100 % y once con recirculación al 33%; un tercer grupo resume los resultados de 10 pruebas con la adición de polímero utilizando indistintamente la tasas de recirculación del 100 y 33%.

En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se presenta en síntesis los valores de resultados antes mencionados (para cada grupo de análisis de laboratorio), las tablas indican valores promedio y de igual forma a continuación se presentan los gráficos que indican el comportamiento de las pruebas realizadas en este estudio.

La evaluación de estos resultados y los gráficos que relacionan la concentración de sólido espesado y líquido clarificado contra la relación A/S, serán discutidos y evaluados en el capítulo siguiente, con el fin de obtener los criterios de diseño.

TABLA 4.1 PRIMER GRUPO DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DISCONTINUO DE LABORATORIO DEL PROCESO DE FLOTACIÓN, SIN ADICIÓN DE POLÍMERO Y RECIRCULACIÓN AL 100 %.

PRUEBA No.	TEMP °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	LODO CRUDO		LODO ESPESADO		LIQUIDO CLARIF. SST, mg/l	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
				ST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l				
1	22	0.9904	4.0	4876	4360	8632	11650	124	2.06	0.008	98.26
2	23.3	0.9956	3.8	3744	3180	7515	10020	95	2.16	0.0097	97.90
3	21	0.9905	4.0	2030	1230	13260	13780	40	2.32	0.028	97.03
6	20.4	0.9902	4.0	13390	13640	14695	18970	430	0.93	0.0025	99.09
10	21	0.9988	4.2	5650	4520	14956	15330	76	1.92	0.0122	96.39
11	21	0.9962	4.2	3235	2740	14695	14330	90	2.03	0.0134	97.33
22	19.5	0.9978	4.2	3996	3480	18120	12530	80	2.02	0.0108	98.33
29	23	0.9916	4.5	3852	2872	52200	12850	44	2.2	0.0135	98.81
30	23	0.9916	4.3	3852	2872	13600	10910	60	1.01	0.0042	98.45
PROME	21.6	0.9936	4.2	4958	4322	17514	13375	115	1.85	0.0114	97.96

- Pruebas realizadas sin la adición de polímero.
 - Recirculación al 100 % para todas las pruebas; 250 ml de líquido presurizado y 750 ml de lodo biológico.
 - Tiempo de retención de 15 minutos.

- La tasa de remoción de lodos se calcula mediante $\%R = \frac{C_0(C_0 - C_1)}{C_0(C_1 - C_2)} \times 100$

donde: C_0 =S.S. del lodo espesado en mg/l, C_1 =S.S. lodo crudo en mg/l y C_2 =S.S. del líquido clarificado en mg/l.

TABLA 4.2 SEGUNDO GRUPO DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DISCONTINUO DE FLOTACIÓN, SIN ADICIÓN DE POLÍMERO Y RECIRCULACIÓN AL 33 %.

PRUEBA No.	TEMP °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	LODO CRUDO		LODO ESPESADO		LÍQUIDO CLARIF. SST, mg/l	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
				ST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l				
4	21	0.9905	4.0	2030	1230	12160	11980	184	2.07	0.0093	86.67
5	21	0.9968	4.0	13380	13640	20005	28740	240	0.45	0.0008	99.10
7	20.4	0.9989	4.3	13390	13640	39325	44810	155	0.91	0.0009	99.21
9	21	0.9988	4.3	5650	4520	15450	16110	104	1.93	0.0028	98.33
12	22	0.9961	4.2	4280	4044	14080	12800	108	1.70	0.0030	98.16
14	22	0.9930	4.0	4052	3608	9285	17420	88	2.10	0.0031	98.06
16	22.4	0.9929	4.3	4116	3580	16000	28460	88	1.93	0.0034	97.84
18	22.4	0.9987	4.3	3956	3720	13720	10520	200	1.9	0.0033	96.46
20	22.5	0.9982	4.3	4000	3840	14920	11722	152	1.9	0.0032	97.30
24	19.5	0.9977	4.2	3996	3480	9485	10200	48	1.63	0.0036	99.09
26	20	0.9904	4.2	5600	5200	10890	8640	156	0.5	0.0032	98.78
PROME	21.3	0.9956	4.2	5860	5500	15938	18309	138.5	1.54	0.0033	97.18

- Pruebas realizadas sin la adición de polímero.
 - Recirculación al 33 % para todas las pruebas; 500 ml de líquido presurizado y 500 ml de lodo biológico.
 - Tiempo de retención de 15 minutos.
 - Solubilidad del aire a temperatura de 21.3 °C es de 18.33 ml/l.

TABLA 4.3 TERCER GRUPO DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE FLOTACIÓN DISCONTINUO DE LABORATORIO, CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO Y RECIRCULACIÓN AL 33 Y 100 %.

PRUEBA No.	TEMP °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	DOSIS DE POLÍMERO CYTEC 0.4% ml/l	LODO CRUDO		LODO CRUDO C/POLÍMERO	LODO ESPESADO		LÍQUIDO CLARIF. SST, mg/l	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
					ST, mg/l	SST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l				
13	22	0.9961	4.2	3	4280	4044	9012	7880	13930	12	1.70	0.003	99.79
15	22	0.9930	4.2	3	4052	3608	10780	15790	24460	52	1.87	0.0033	98.70
17	20.4	0.9964	4.3	3	4116	3580	9974	15521	17280	20	1.85	0.0034	99.56
19	22.4	0.9987	4.2	1	3956	3720	8780	14120	16050	68	1.88	0.0032	98.59
21	22.5	0.9982	4.3	1	4000	3840	10900	16150	18060	36	1.89	0.0032	99.26
23	19.5	0.9979	4.2	2	3996	3480	10790	19195	17750	84	2.15	0.0108	98.05
25	19.5	0.9979	4.2	2	3996	3480	10710	13400	13770	72	1.85	0.0036	98.40
27	20.0	0.9904	4.2	4	5600	5200	11860	17765	15730	324	1.30	0.0024	95.74
28	20.0	0.9904	4.2	6	5600	5200	11860	11862	16280	128	1.71	0.0024	98.31
31	23.0	0.9916	4.4	3	3852	2872	8128	8128	14710	4	1.68	0.0044	99.89
PROME	21.33	0.9951	4.2	2.8	4344	3902.4	10272	15387.3	16802	80	1.79	0.004	98.63

- Pruebas realizadas con la adición de polímero.
 - Recirculación al 33 y 100 %.
 - Tiempo de retención de 15 minutos.

FIGURA 4.1 RESULTADOS DE NUEVE PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON RECIRCULACIÓN A 100% Y SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO, LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE SÓLIDOS EN LA MUESTRA CRUDA FUE DE 4322 mg/l.

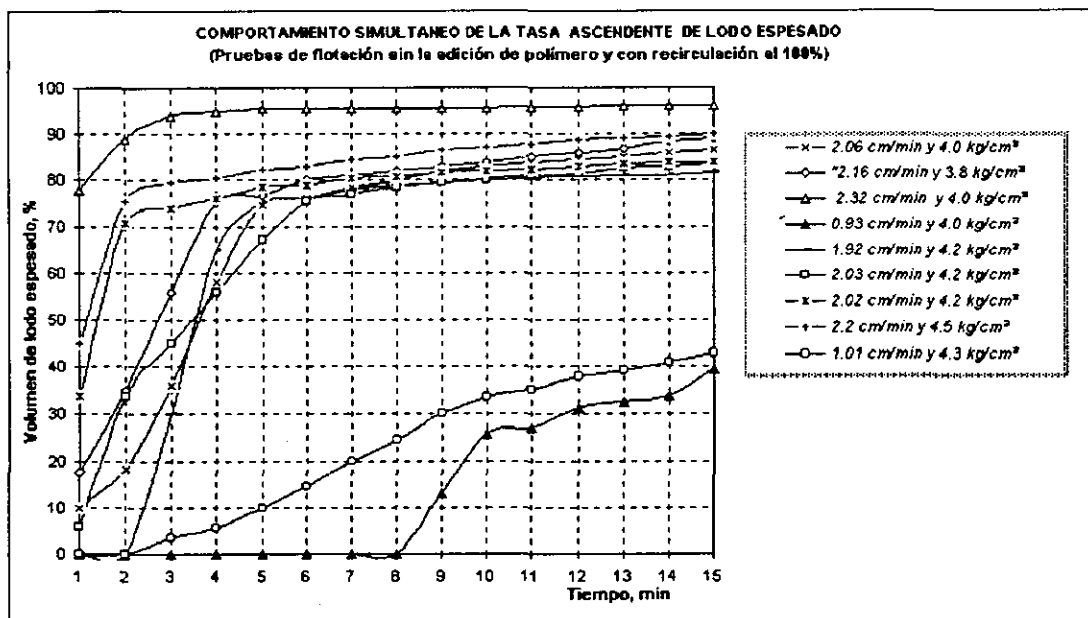


FIGURA 4.2 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD MEDIA DE ASCENSO O TASA DE ASCENSO MEDIA, DE LAS PRUEBAS INDICADAS DEN LA FIGURA 4.1.

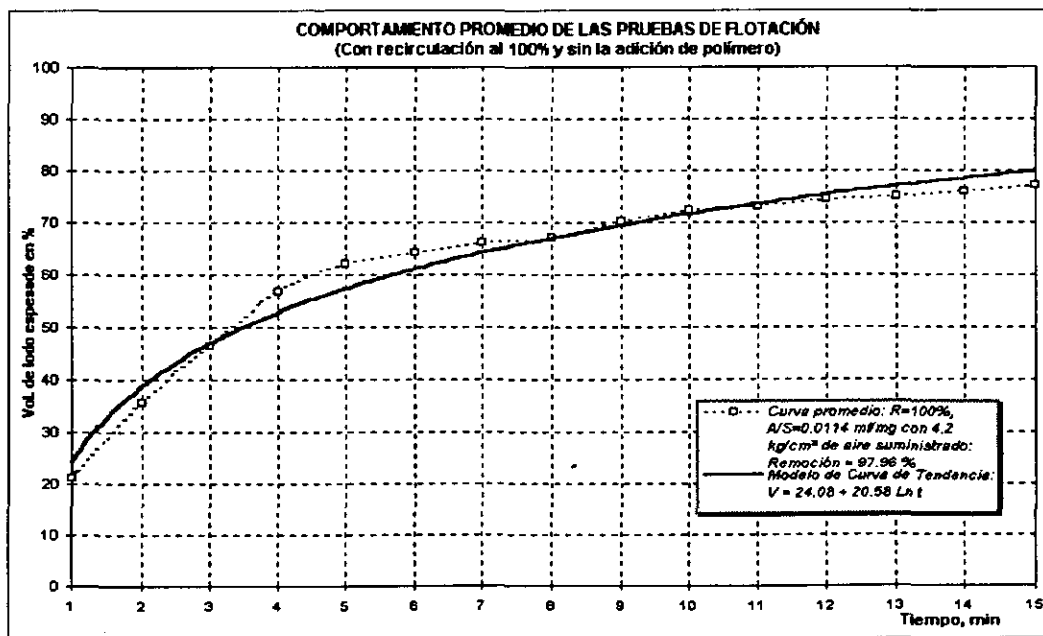


FIGURA 4.3 RESULTADOS DE ONCE PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON RECIRCULACIÓN A 33% Y SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO, LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE SÓLIDOS EN LA MUESTRA CRUDA FUE DE 8642 mg/l.

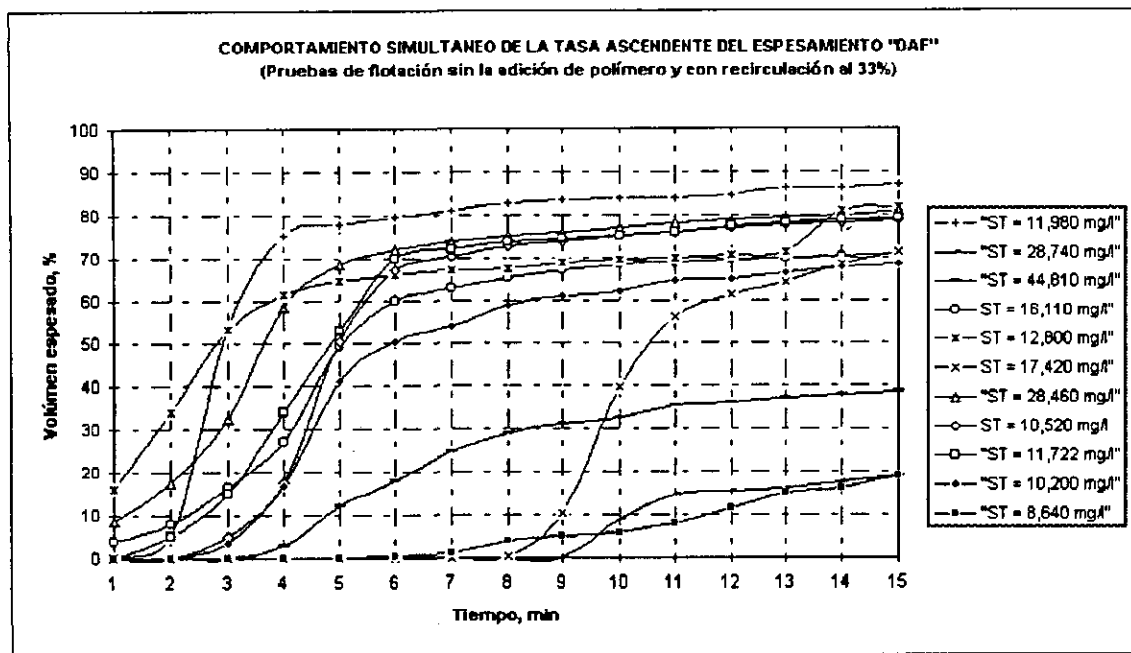


FIGURA 4.4 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD MEDIA DE ASCENSO O TASA DE ASCENSO MEDIA, DE LAS PRUEBAS INDICADAS DEN LA FIGURA 4.3.

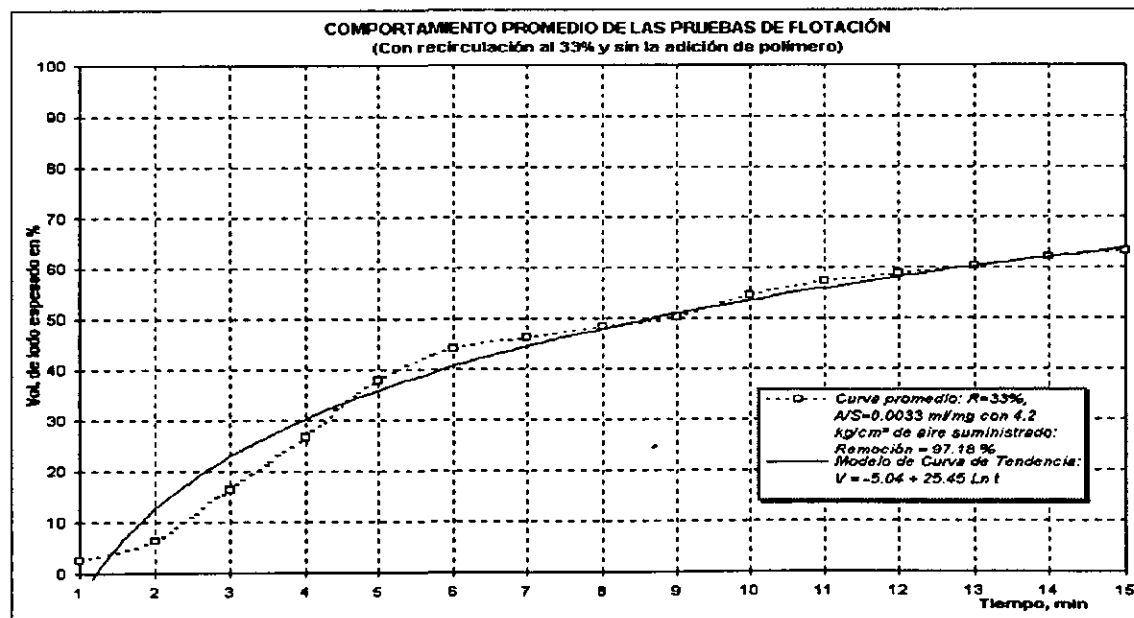


FIGURA 4.5 RESULTADOS DE DIEZ PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON RECIRCULACIÓN DE 33 Y 100%, ADICIONANDO EN PROMEDIO DOSIS DE 2.8 ml/l DE POLÍMERO "CYTEC" AL 0.4%, LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE SÓLIDOS EN LA MUESTRA CRUDA FUE DE 3903 mg/l.

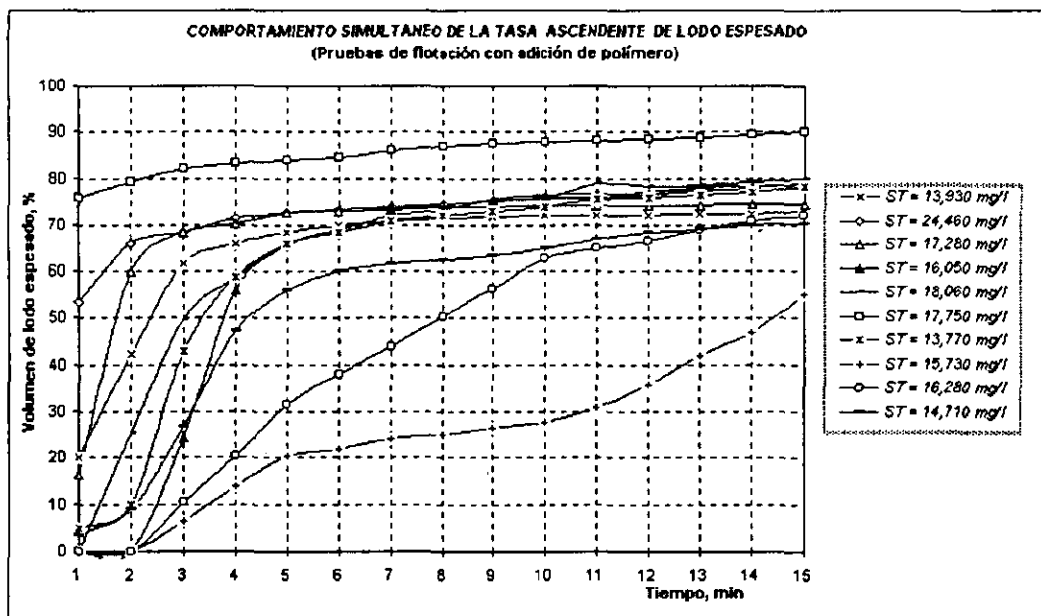


FIGURA 4.4 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD MEDIA DE ASCENSO O TASA DE ASCENSO MEDIA, DE LAS PRUEBAS INDICADAS DEN LA FIGURA 4.3.

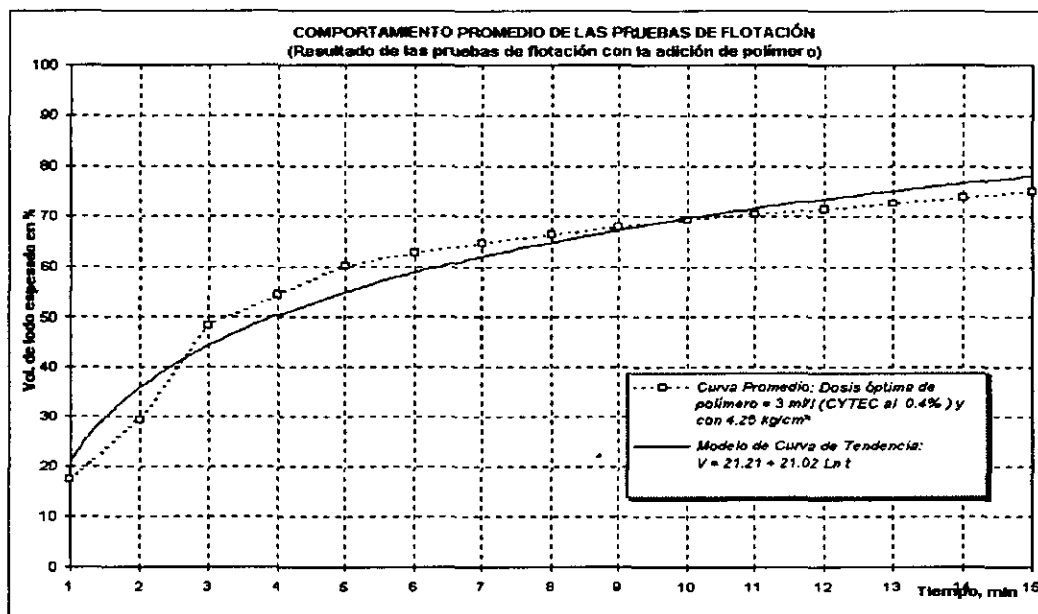


FIGURA 4.7 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LÍQUIDO CLARIFICADO CON RESPECTO A LA RELACIÓN A/S, PARA LAS PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

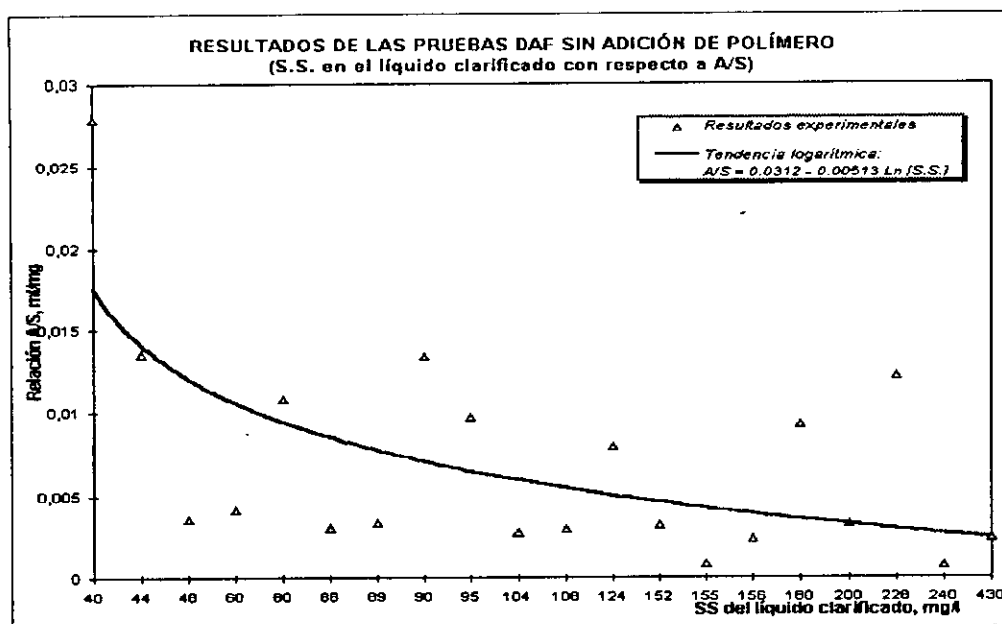


FIGURA 4.8 COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE LODO ESPESADO CON RESPECTO A LA RELACIÓN A/S, PARA LAS PRUEBAS REALIZADAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

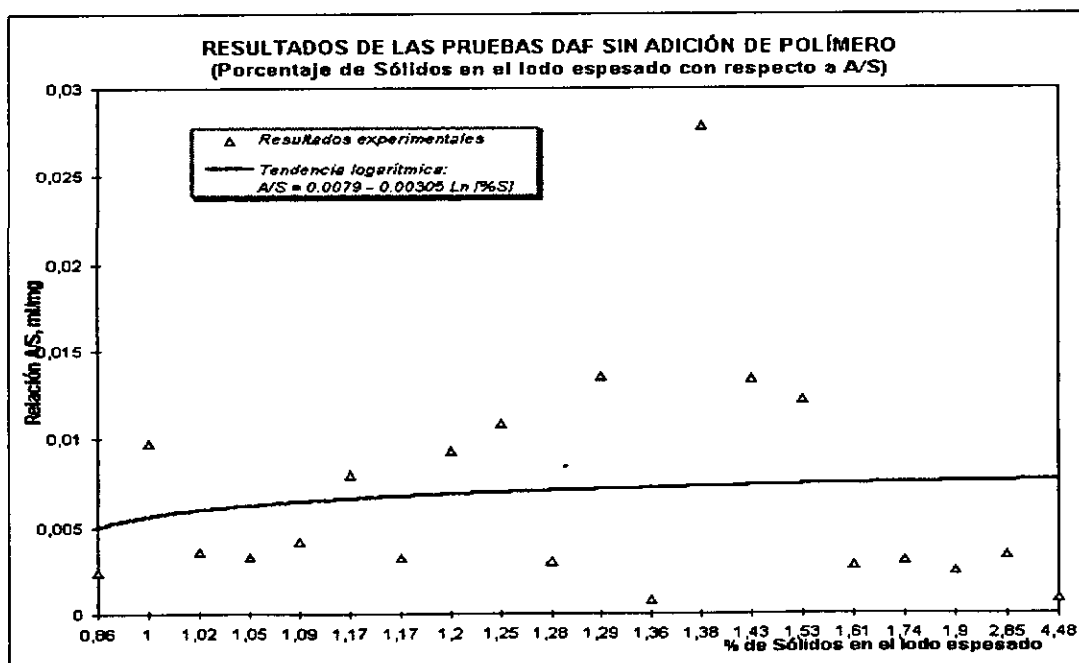


FIGURA 4.9 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LÍQUIDO CLARIFICADO CON RESPECTO A LA RELACIÓN A/S, PARA LAS PRUEBAS CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

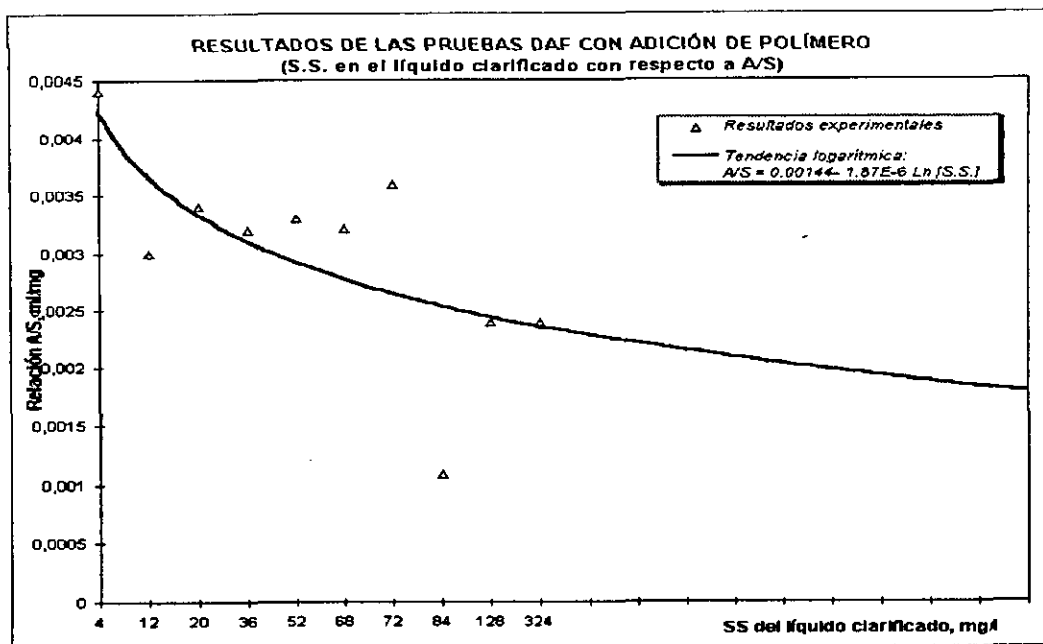
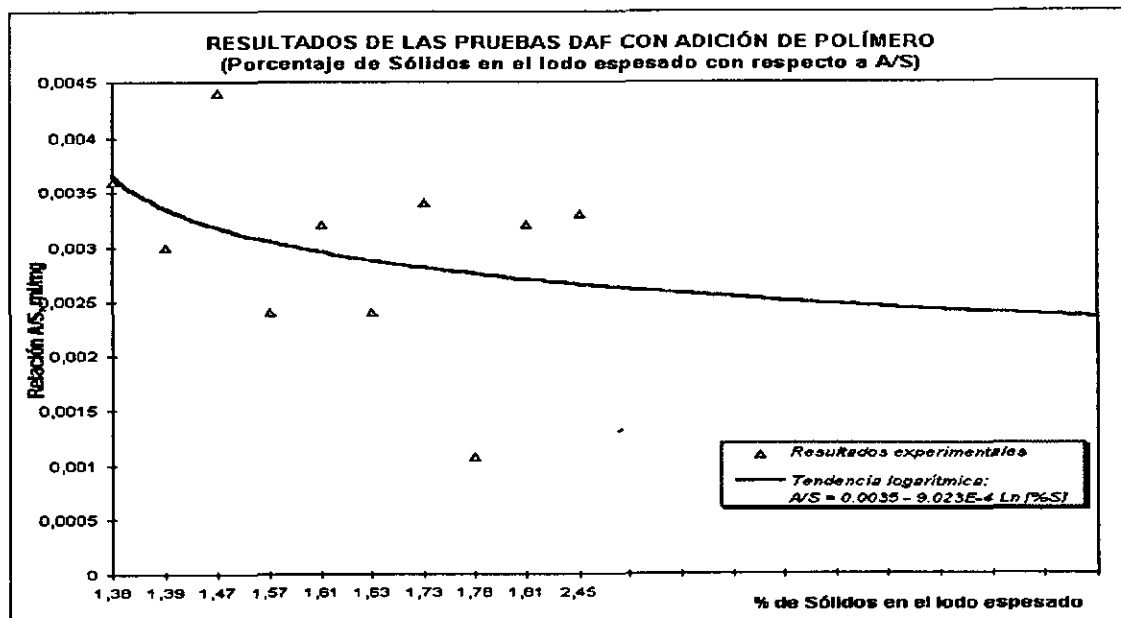


FIGURA 4.10 COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE LODO ESPESADO CON RESPECTO A LA RELACIÓN A/S, PARA LAS PRUEBAS REALIZADAS CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO.



Capitulo 5.**EVALUACIÓN DE RESULTADOS****5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Las pruebas de laboratorio que actualmente se utilizan para el diseño, operación y control de los dispositivos experimentales (DETB) no se encuentran estandarizados, aunque son ampliamente utilizados en la experimentación. Estas pruebas o análisis están limitadas por la escala de los dispositivos; así como por la cantidad de muestras por analizar.

Los resultados obtenidos en general están sujetos a dificultades inherentes, los errores más comunes en la operación de los DETB son los relacionados con:

- Escala física del sistema.
- Cuantificación de volúmenes.
- Niveles de recursos para profundizar en la investigación.
- Procedimiento de mediación y evaluación de resultados.

Dado esto se buscó minimizar errores manteniendo un control en los siguientes parámetros:

- 1) El tiempo de retención hidráulico se mantuvo constante, así como el volumen de la celda de flotación, con el fin de guardar posteriormente una proporción a escala real.
- 2) El tiempo de disolución entre el líquido y el aire a presión, se observó que no fue suficiente de tres minutos como lo indica Eckenfelder. Para las condiciones de la Cd. de México, se realizaron diferentes pruebas y el tiempo que se adoptó en la disolución fue de al menos diez minutos, con este tiempo de disolución se realizaron las pruebas subsecuentes dando como resultado una eficiente remoción, el factor que puede explicar este fenómeno es la presión atmosférica a la que esta sujeta la Cd. de México.
- 3) De acuerdo con los análisis preliminares, se observó que al suministrar aire con presión menor que 4.0 kg/cm^2 (57.2 kg/plg^2), la prueba resultaba en la mayoría de los casos fallida, por lo que se optó suministrar a una presión mayor a ésta, siendo la presión de 4.2 kg/cm^2 (60 kg/plg^2) la que arrojó mejores resultados.

- 4) La determinación de sólidos tanto para STT como para SST se realizó por duplicado, con el fin de corroborar los resultados.

Los resultados para el primer grupo de ensayos del experimento discontinuo de flotación, sin adicionar polímero y con recirculación al 100 %, fueron los que se presentan a continuación:

TEM. °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	LODO CRUDO		LODO ESPESADO		LÍQUIDO CLARIF.	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
			ST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l	SST, mg/l			
21.6	0.9936	4.2	4958	4322	17514	13375	115	1.85	0.0114	97.96

Para el segundo grupo de ensayos o pruebas sin la adición de polímero y con recirculación al 33 %, los resultados fueron en promedio los siguientes:

TEM. °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	LODO CRUDO		LODO ESPESADO		LÍQUIDO CLARIF.	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
			ST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l	SST, mg/l			
21.3	0.9956	4.2	5860	5500	15938	18309	138.5	1.54	0.0039	97.18

Por último para el tercer grupo de pruebas con la adición de polímero y recirculaciones de 33 y 100%, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

TEM. °C	DENSID kg/l	PRESIÓN kg/cm ²	DOSIS DE POLÍMERO	LODO CRUDO		LODO CRUDO C/POLÍMERO	LODO ESPESADO		LÍQUIDO CLARIF.	TASA cm/min	A/S ml/mg	REMOCI %
			CYTEC 0.4%, ml/l	ST, mg/l	SST, mg/l	SST, mg/l	ST, mg/l	SST, mg/l	SST, mg/l			
21.33	0.9951	4.2	2.8	4344	3902.4	10272	15387.3	16802	80	1.79	0.004	98.63

5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

No fué posible hacer un diseño estadístico del experimento, ya que en cada prueba las condiciones fueron diferentes, debido a que únicamente se empleo un mismo modelo experimental, es decir no se tenían unidades experimentales diferentes en las cuales se pudieran obtener y comparar datos estadísticos. En este estudio el comportamiento de las variables o parámetros de operación para cada prueba, no podía ser controlable ya que éstas se establecían previo a realizar la prueba DAF discontinua de laboratorio, además de que la modelación de las constantes cinéticas y de predicción aplicables al proceso eran ficticias, inclusive el substrato o lodo biológico para cada corrida era diferente. Por lo tanto el procedimiento de las pruebas realizadas fué fundamentado en el procedimiento antes mencionado y con ello fue posible obtener resultados de parámetros de operación para el proceso DAF en cuestión, para compararlos con los parámetros de óptimo operación de espesamiento DAF, establecidos en prácticas reales descritas en la bibliografía.

A continuación se discuten los resultados obtenidos en las pruebas realizadas:

El tiempo de retención se mantuvo constante a 15 minutos para los tres grupos de resultados obtenidos, en las figuras 4.1 a 4.4 del capítulo anterior se puede observar el comportamiento de la tasa de ascenso para cada grupo de pruebas realizadas. En el caso de las pruebas realizadas sin la adición de polímero se estima que la presión atmosférica es un factor importante en la influencia del tiempo de presurización. Seguramente existen otros parámetros que se pudieran analizar en este trabajo, pero esto está fuera del alcance de este estudio ya que las líneas de investigación se abrirían para cada parámetro que pudiera estar involucrado en este estudio.

Uno de los inconvenientes importantes y que influyó en los resultados del proceso DAF es sin duda la *condición del lodo biológico*, ya que éste como se puede observar en los resultados, se presentaba en la mayoría de los casos concentraciones por debajo del 1% de contenido de sólidos, la poca concentración de sólidos en el lodo posiblemente fue ocasionada por la dilución (ya que los muestreos se realizaron en época de lluvia), aunque se considera que no fue factor que desviara la línea de investigación ya que la concentración del lodo analizado fue la típica de un lodo residual biológico crudo.

En las pruebas realizadas con la adición de polímero, la dosis de polímero a usar fue seleccionada previa a cada ensayo mediante la "prueba de jarras", en ésta se dió un tiempo de mezcla rápida (100 rpm) de 15 a 20 segundos y mezcla lenta (15 rpm) de 2 a 3 minutos, el parámetro indicativo fue la turbiedad del sobrenadante así como algunos visuales (tamaño de flóculo, su rápida formación, su consistencia, etc.), con la dosis seleccionada se procedía entonces a realizar la prueba de flotación discontinua y a observar el comportamiento de la nata flotante. Basándose en la teoría de que la mayor eficiencia de operación, puede ser investigada realizando una serie de pruebas de laboratorio para varias relaciones A/S que resultan del uso de varias dosis de polímeros.

De tres diferentes polímeros analizados, el polímero que mejores resultados arrojó fue también el empleado en todas las pruebas de flotación ("CYTEC" al 0.4%), la adición de dosis mayores no favorecían el proceso de manera importante, ya que los resultados fueron muy similares. En las gráficas 4.5 y 4.6 se puede observar el comportamiento de ascenso y las concentraciones alcanzadas en el lodo espesado.

El funcionamiento de la prueba discontinua de flotación DAF, mejoró con la adición de polímeros. Los polímeros incrementaron la recuperación de sólidos en el lodo espesado (Remoción de 97.18% sin/polímero, remoción de 98.63% con/polímero), asimismo disminuyó el contenido de sólidos suspendidos del líquido clarificado (de 115 mg/l de SST sin/polímero a 80 mg/l de SST en las pruebas con/polímero), el líquido clarificado analizado con polímero obtuvo turbiedades abajo de 4 UTN, las turbiedades en el caso del análisis sin la adición de sustancias químicas resultaron superiores a 30 UTN.

Las dosis típicas de polímeros recomendadas para las condiciones específicas en este estudio, se encuentran en el rango de 2 a 4 gramos de polímero seco por kilogramo de sólidos secos (del 0.2 al 0.4%), también se realizaron pruebas en las cuales se aplicaron diferentes dosis, la dosis óptima que favoreció los resultados subsecuentes en promedio fue de 2.8 ml/l,

la dosis dependen considerablemente de la concentración de lodo y del polímero a usar. La dosis de polímero que ofreció la mayor remoción de sólidos fue de 3 ml con una remoción de 99.89%, se realizaron pruebas con 4, 5 y 6 ml de polímero pero éstas presentaron remociones de lodo por debajo del 98.4%, observandose la menor remoción de lodos (95.74%) en las pruebas con dosis de 4 ml de polímero.

A través de las curvas obtenidas las cuales indican la velocidad de ascenso en cada prueba, se puede concluir que una tasa rápida es equivalente a una carga superficial alta. Después de que el experimento de flotación se ejecutó para varias dosis de polímero, se graficaron las respectivas relaciones obtenidas A/S contra concentración de sólidos tanto en el líquido clarificado como en lodo espesado.

La dosis de polímeros que proporciona una flotación óptima de lodo para un proceso a escala real se puede adoptar como la dosis que se espera que dé la máxima tasa de remoción de sólidos espesados o flotados en el proceso bach y por lo tanto la máxima tasa de ascenso en el proceso.

5.2.1 Efecto de los parámetros analizados

Efecto de la temperatura.- La temperatura es un factor de gran importancia en las pruebas de flotación, aunque no fue posible realizar pruebas en las que se hiciera variara a proposito la temperatura durante la experimentación, se pudo constatar que en los días con menor temperatura, se mejoraban los resultados del proceso, ya que ésta afecta en cuanto a la composición del lodo, peso específico y en la solubilidad del aire a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa.

Efecto de la densidad de lodo.- La densidad de lodo crudo en todos los análisis fue aproximadamente igual a la del agua, en promedio 0.9951 kg/l ésta se puede tomar como un indicador para corroborar que el lodo analizado es fresco y producido por un proceso biológico.

Efecto de la profundidad de la columna de flotación.- La profundidad se mantuvo constante ya que uno de los objetivos del trabajo es demostrar el espesamiento eficiente de lodo para estructuras pequeñas, sin duda alguna un parámetro que puede optimizar aun más el procedimiento es la profundidad ya que ésta tiene influencia directa en la velocidad ascendente del lodo.

Efecto del diámetro de la columna.- Al igual que la profundidad, el diámetro de la columna se mantuvo constante, en investigaciones anteriores se ha establecido que los diámetros de la columna, cuanto más grandes no tienen efecto significativo o benéfico para la tasa de ascenso, Vesilin, en su trabajo con lodos activados investigó los efectos de diferentes diámetros nominales y pudo observar que las velocidades iniciales para concentración de sólidos de 0.2% eran mayores y para concentraciones del 1.0% resultaban menores en función de la variación del diámetro tendiendo todas a estabilizarse en un solo punto por lo que se puede concluir que el tiempo de retención es el parámetro directo a considerar cuando se analice con diferentes diámetros de columna.

Efecto del tiempo de disolución del aire con el líquido presurizado.- De acuerdo con el procedimiento de laboratorio (Eckenfelder, 1970) el tiempo de disolución es de tres minutos, uno para adicionar el aire presurizado y dos para agitar con el fin de obligar la disolución con el aire, en este estudio tres minutos no eran suficientes para que se presentaran una buena disolución, se tuvo que dar al menos un tiempo de 10 minutos para que la flotación se llevara a cabo, este argumento puede tener su explicación, en la influencia de la presión atmosférica ya que en la Cd. de México la solubilidad de oxígeno de saturación es muy pobre, debido a que ésta se encuentra a más de 2000 msnm (Oxígeno de saturación no mayor de 6.4 mg/l, Metcalf, 1993).

Efecto de la presión suministrada.- Se realizaron diferentes pruebas variando la presión de saturación y se obtuvieron buenos resultados (remoción mayor de 98%), al emplear presiones en el rango de 4.2 a 4.5 kg/cm².

Existen algunos otros parámetros los cuales podrían afectar considerablemente el proceso y los cuales necesariamente se tendrían que estudiar con el fin de optimizar la flotación, sin duda estos parámetros abrirían nuevas líneas de investigación, los parámetros referidos pueden ser: el diámetro de la boquilla, el tiempo de disolución, incluir agitación mecánica en la disolución del aire con el líquido clarificado, el tamaño de la burbuja entre otros.

5.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

En las gráficas 4.7, y 4.8 se presenta el comportamiento que tiene la relación aire-sólidos con respecto a la concentración de sólidos en el líquido clarificado y lodo espesado, para las pruebas efectuadas sin la adición de polímero, asimismo en las gráficas 4.9 y 4.10 se presenta el comportamiento de la relación aire-sólidos con respecto a la concentración de sólidos en el líquido clarificado y lodo espesado para las pruebas con la adición de polímero.

La relación A/S que da la eficiencia y operación óptima, o bien de diseño, se interpreta de tal manera que resulte obvio que en algún punto, cualquier incremento adicional en la relación A/S, no incrementaría considerablemente la eficiencia de operación, por lo que basándose en esta información y con la ayuda de las gráficas antes mencionadas, se selecciona la relación aire-sólidos de óptima eficiencia, la cual será aquella que proporcione la máxima concentración de sólidos en la nata flotada simultáneamente con la máxima clarificación o bien la menor concentración de sólidos en el líquido clarificado.

La relación A/S óptima que nos da la mejor eficiencia, para las pruebas sin la adición de polímero es $A/S = 0.0053 \text{ ml/mg}$, la selección de esta relación se obtiene sobreponiendo la curva que relaciona los sólidos suspendidos del líquido clarificado contra relación A/S; con la curva que relaciona el porcentaje de lodo espesado contra relación A/S a la misma escala, donde se intercepten las dos curvas se considera que no incrementa considerablemente la eficiencia de operación, por lo que se tiene el máximo espesamiento simultáneamente con la máxima clarificación del efluente. Asimismo para las pruebas realizadas con la adición de polímero la relación óptima es $A/S = 0.00273 \text{ ml/mg}$.

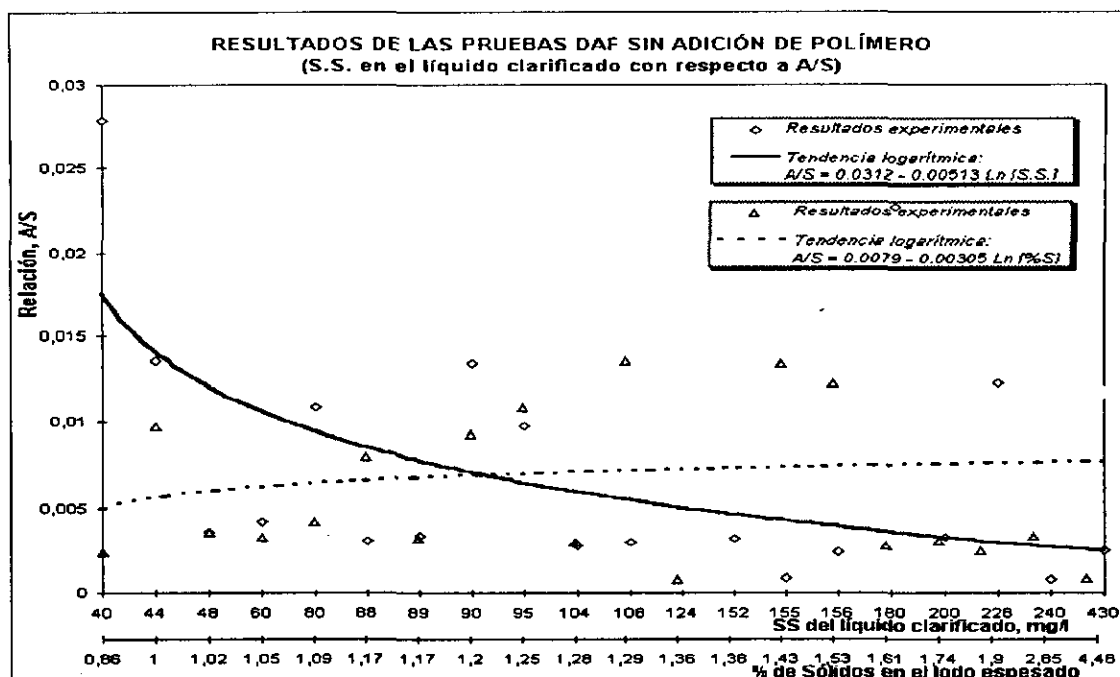


FIG 5.1 RELACIÓN A/S EN LA QUE SE CONSIDERA QUE NO INCREMENTA CONSIDERABLEMENTE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN, EL PUNTO DE INTERCEPCIÓN INDICA EL MÁXIMO ESPESAMIENTO SIMULTÁNEO CON LA MÁXIMA CLARIFICACIÓN, PARA LAS PRUEBAS DE FLOTACIÓN SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

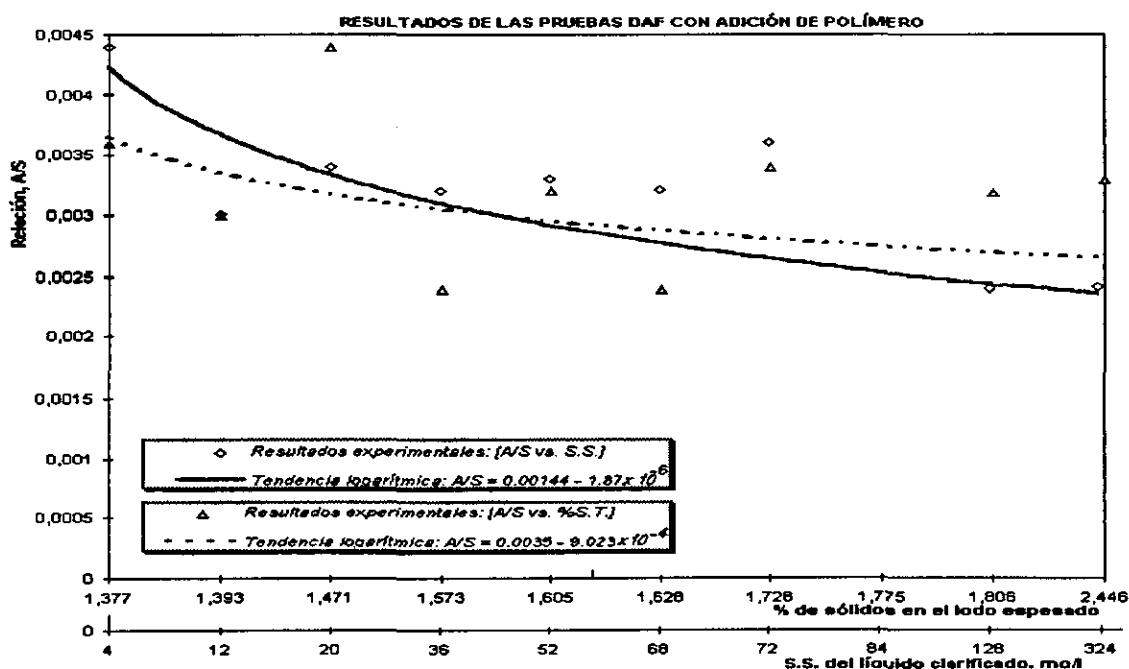


FIG 5.2 RELACIÓN A/S EN LA QUE SE CONSIDERA QUE NO INCREMENTA CONSIDERABLEMENTE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN, EL PUNTO DE INTERCEPCIÓN INDICA EL MÁXIMO ESPESAMIENTO SIMULTÁNEO CON LA MÁXIMA CLARIFICACIÓN PARA LAS PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

5.4 DISEÑO DE TANQUE DE FLOTACIÓN DAF, CONSIDERANDO LOS CRITERIOS DE DISEÑO OBTENIDOS EN EL ESTUDIO.

A continuación se muestran en la Tabla 5.1 los valores de diseño que se requieren para proyectar un espesador DAF con y sin recirculación presurizada, estas condiciones de diseño son las que se obtuvieron en el estudio de laboratorio para el lodo biológico residual producido en la PTARCE.

TABLA 5.1 CRITERIO DE DISEÑO OBTENIDOS PARA EL PROCESO DE FLOTACIÓN SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO Y PARA EL PROCESO CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO.

SIN ADICIÓN DE POLIMERO	CON ADICIÓN DE POLIMERO
1. Relación óptima A/S = 0.0053 ml/mg	1. Relación óptima A/S = 0.00273 ml/mg.
2. Temperatura = 21.45°C, 70.61°F	2. Temperatura = 21.33°C, 70.4°F
3. Solubilidad del aire = 18.27 ml/l	3. Solubilidad del aire = 17.84 ml/l
4. Presión del sistema de recirculación = 4.2 kg/cm ² , 60 lb/in ²	4. Presión del sistema de recirculación = 4.2 kg/cm ² , 60 lb/in ²
5. *Carga hidráulica superficial = 600 gpd/pie ² (17.1 l/min/m ² = 0.417 gpm/ft ²)	5. *Carga hidráulica superficial = 31.2 l/min/m ² (0.764 gpm/ft ²)
6. Fracción de saturación = 0.5	6. Fracción de saturación = 0.5
7. Sólidos suspendidos de la muestra cruda, C ₀ = 4911 mg/l	7. Dosis de polímero *CYTEC* al 0.4% = 2.8 ml/l
8. Gasto de lodos producidos = 1525.6 m ³ /día (17.66 l/s)	8. Sólidos suspendidos de la muestra cruda c/polímero, C ₀ = 10,272 mg/l
	9. Gasto de lodos producidos = 1525.6 m ³ /día (9.62 l/s)
<p>* La carga hidráulica superficial media recomendada en el tratamiento de lodos activados es de 600 gpd/pie² (0.285 l/s·m² ó 17.1 l/min/m²), se adopta convenientemente ésta para el diseño del espesador DAF sin adicinar polímero.</p> <p>** La carga hidráulica superficial pico recomendada en el tratamiento de lodos activados es de 1100 gpd/pie² (0.52 l/s·m² ó 31.2 l/min/m²), se adopta convenientemente esta carga para el diseño del espesador DAF con adición de polímero.</p> <p>Fuente: CNA, 1994.</p>	

5.4.1 Diseño de un tanque de flotación para espesar lodo activado residual, sin la adición de polímero.

El área necesaria para el espesador esta determinada considerando la velocidad ascensional de los sólidos, para el caso del espesamiento sin polímero se utilizó 17.1 l/m² x min (0.417 gpm/ft²) y para el espesamiento con polímero de 31.2 l/min/m² (0.764 gpm/ft²), según la concentración de éstos, el grado de espesamiento logrado y la carga de sólidos.

a) Con recirculación

1.- Cálculo de la presión en atmósferas:

$$\circ P(\text{atm}) = \frac{p + 14.7}{14.7}, \quad p \text{ en } [\text{lb/plg}^2]$$

$$\circ P(\text{atm}) = \frac{60 + 14.7}{14.7}; \quad P = 5.082 \text{ atm}$$

2.- Determinación del gasto de recirculación necesario para que se dé la relación A/S de diseño:

$$\circ \frac{A}{S} = \frac{1.293 S_a (fP-1)R}{C_0 Q}; \quad [\text{ml/mg}]$$

$$\circ \quad 0.0053 = \frac{1.293 \text{ mg/ml (18.27 ml/l) (0.5 \times 5.082 - 1) R}{(4911 \text{ mg/l) (1525.6 m}^3/\text{día)}} \rightarrow \text{Se despeja R y se tiene que:}$$

$$\circ \quad R = 1,080.51 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\circ \quad \% R = \frac{V_R}{V_L} \times 100 = \frac{1080.51}{1525.6} \times 100 = 70.83 \%$$

$$\circ \quad \text{Porcentaje de recirculación} \rightarrow \% R = 70.83 \%$$

3.- Determinación del área superficial requerida para la recirculación obtenida y la presión suministrada de 5.07 atm (4.2 kg/cm²):

$$\circ \quad A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q_{\text{Total}}}{\text{Carga Hidráulica superficial (l/min x m}^2\text{)}}$$

$$\circ \quad A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{(1525.6 + 1080.51) \text{ m}^3/\text{día}}{17.1 \text{ (l/min x m}^2\text{)}} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 105.84 \text{ m}^2$$

$$\circ \quad \text{Area Superficial} = 105.84 \text{ m}^2$$

Del mismo modo se puede establecer el caudal de recirculación y determinar la presión, se evaluará en este caso para el porcentaje de recirculación utilizada en el estudio, % R = 33 % por lo tanto el volumen recirculado es:

$$\circ \quad V_R = \frac{1525.6 \times 33}{100} = 503.45 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Y la presión que corresponde a este volumen de recirculación es:

$$\circ \quad P = \frac{\left[\frac{0.0053 \times 4911 \times 1525.6}{1.29 \times 18.27 \times 503.45} \right] + 1}{0.5} = 8.69 \text{ atm}$$

$$\circ \quad 8.69 \text{ atm} = \frac{p \text{ (lb/plg}^2\text{)} + 14.7}{14.7} \rightarrow p = 8.69 \times 14.7 - 14.7 = 113.04 \text{ lb/plg}^2$$

$$\circ \quad p = 113.04 \text{ lb/plg}^2 \text{ (7.95 kg/cm}^2\text{)}$$

Area superficial requerida para la recirculación establecida al 33 % y para la presión correspondiente de 113.04 lb/pul² (7.95 kg/cm²) es:

$$\circ \quad A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{(1525.6 + 508.45) \text{ m}^3/\text{día}}{17.1 \text{ (l/min x m}^2\text{)}} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 82.61 \text{ m}^2$$

$$\circ \quad \text{Area Superficial} = 82.60 \text{ m}^2$$

b) Sin recirculación

1.- Cálculo de la presión requerida, partiendo de la ecuación sin recirculación:

$$\circ \frac{A}{S} = \frac{1.293 S_a (fP-1)}{C_0} ; \text{ [ml/mg]} \leftrightarrow \text{ Con la relación A/S experimental} = 0.0053 \text{ ml/mg}$$

$$\circ 0.0053 = \frac{1.293 \text{ mg/ml (18.27 ml/l) (0.5xP-1)}}{(4911 \text{ mg/l})} \rightarrow \text{ Se despeja P y se tiene que:}$$

$$\circ P = (1.102 + 1)/0.5 = 4.02 \text{ atm (47.09 lb/plg}^2 \text{ o } 3.31 \text{ kg/cm}^2)$$

2.- Determinación del área superficial requerida para la presión de 4.02 atm o 3.31 kg/cm²:

$$\circ A \text{ (m}^2) = \frac{Q_{\text{Total}}}{\text{Carga Hidráulica superficial (l/min x m}^2)}$$

$$\circ A \text{ (m}^2) = \frac{(1525.6 \text{ m}^3/\text{día})}{17.1 \text{ (l/min x m}^2)} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 61.96 \text{ m}^2$$

$$\circ \text{ Area Superficial} = 62 \text{ m}^2$$

3.- Checar la carga de sólidos respecto a lo lo indicado en la tabla 5.2:

$$\circ \text{ Carga de sólidos} = \frac{Q_{\text{Lodos}} \times C_0}{\text{Area Superficial}}$$

$$\circ \text{ Carga de sólidos} = \frac{(1525.6 \text{ m}^3/\text{día})(4911 \text{ mg/l})(1000 \text{ l/m}^3)(1 \text{ kg}/1000000 \text{ mg})}{62 \text{ m}^2} = 120.84 \frac{\text{kg}}{\text{día x m}^2}$$

$$\circ \text{ Carga de Sólidos} = 120.84 \text{ kg/día x m}^2 \text{ (24.75 lb/ft}^2 \text{ x día)} \leftrightarrow \text{ OK}$$

TABLA 5.2 CARGAS TÍPICAS DE SÓLIDOS PARA LAS UNIDADES DE FLOTACIÓN DAF, SIN Y CON LA ADICIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Tipo de Lodo	Carga de lodo, lb/ft ² x día	
	Sin adición de polímero	Con la adición de polímero
- Lodo activado aereado	menor de 10	mayor que 45
- Lodo activado con alta pureza de oxígeno	14 - 20	mayor que 55
- Lodo activado de filtro percolador	14 - 20	mayor que 45
- Lodo primario + lodo activado aereado	14 - 30	mayor que 45
- Lodo primario + lodo de filtro percolaedor	20 - 30	mayor que 60
- Lodo primario	20 - 30	mayor que 60
- Lodo biológico residual	20 - 28	mayor que 60

Nota: Carga de sólidos necesaria para producir un mínimo de 4 % de concentración de sólidos en el lodo espesado (lb/ft²/día x 4.8824 = kg/m² x día); Metcalf- Eddy, 1991, 3^a Ed.

5.4.2 Diseño de un tanque de flotación para espesar lodo activado residual, con la adición de polímero.

a) Con recirculación

1.- Cálculo de la presión en atmosferas:

$$\circ P(\text{atm}) = \frac{p + 14.7}{14.7}, \quad p \text{ en } [\text{lb/plg}^2]$$

$$\circ P(\text{atm}) = \frac{60 + 14.7}{14.7}; \quad P = 5.082 \text{ atm}$$

2.- Determinación del gasto de recirculación necesario para que se dé la relación A/S de diseño:

$$\circ \frac{A}{S} = \frac{1.293 S_p (fP-1)R}{C_0 Q}; \quad [\text{ml/mg}]$$

$$\circ 0.00273 = \frac{1.293 \text{ mg/ml } (17.84 \text{ ml/l}) (0.5 \times 5.082 - 1) R}{(10272 \text{ mg/l}) (1525.6 \text{ m}^3/\text{día})} \rightarrow \text{Se despeja R y se tiene que:}$$

$$\circ R = 1,203.55 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\circ \% R = \frac{V_R}{V_L} \times 100 = \frac{1203.55}{1525.6} \times 100 = 78.89 \%$$

$$\circ \text{Porcentaje de recirculación} \rightarrow \% R = 78.9 \%$$

3.- Determinación del área superficial requerida para la recirculación obtenida y la presión suministrada de 5.07 atm (4.2 kg/cm²):

$$\circ A (\text{m}^2) = \frac{Q_{\text{Total}}}{\text{Carga Hidráulica superficial } (\text{l/min} \times \text{m}^2)}$$

$$\circ A (\text{m}^2) = \frac{(1525.6 + 1203.55) \text{ m}^3/\text{día}}{31.2 (\text{l/min} \times \text{m}^2)} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 60.75 \text{ m}^2$$

$$\circ \text{Area Superficial} = 60.8 \text{ m}^2$$

Asimismo es posible establecer el caudal de recirculación y determinar la presión, se evaluará en este caso para el porcentaje de recirculación utilizada en el estudio con adición de 2.8 ml/l de polímero y un porcentaje de recirculación = 33 % por lo tanto el volumen recirculado esta dado por:

$$\circ V_R = \frac{1525.6 \times 33}{100} = 503.45 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Y la presión que corresponde a este volumen de recirculación es:

$$\circ P = \frac{\left[\frac{0.00273 \times 10272 \times 1525.6}{1.293 \times 17.84 \times 503.45} \right] + 1}{0.5} = 9.37 \text{ atm}$$

$$\circ 9.37 \text{ atm} = \frac{p \text{ (lb/plg}^2) + 14.7}{14.7} \rightarrow p = 9.37 \times 14.7 - 14.7 = 123 \text{ lb/plg}^2$$

$$\circ p = 123 \text{ lb/plg}^2 \text{ (8.7 kg/cm}^2)$$

Area superficial requerida para la recirculación establecida al 33 % y para la presión correspondiente de 123 lb/plg² (8.7 kg/cm²) es:

$$\circ A \text{ (m}^2) = \frac{(1525.6+508.45) \text{ m}^3/\text{día}}{31.2 \text{ (l/min x m}^2)} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 45.27 \text{ m}^2$$

$$\circ \text{Area Superficial} = 45.3 \text{ m}^2$$

b) Sin recirculación

1.- Cálculo de la presión requerida, partiendo de la ecuación sin recirculación:

$$\circ \frac{A}{S} = \frac{1.293 S_e (fP-1)}{C_o} ; \text{ [ml/mg]}$$

Relación A/S experimental = 0.00273 ml/mg

$$\circ 0.00273 = \frac{1.293 \text{ mg/ml (17.84 ml/l) (0.5xP-1)}}{(10272 \text{ mg/l)}} \rightarrow \text{Se despeja P y se tiene que:}$$

$$\circ P = (1.210 + 1)/0.5 = 4.43 \text{ atm (50.44 lb/pul}^2 \text{ o } 3.55 \text{ kg/cm}^2)$$

2.- Determinación del área superficial requerida para la presión requerida (4.43 atm o 3.55 kg/cm²):

$$\circ A \text{ (m}^2) = \frac{Q_{\text{Lodos}}}{\text{Carga Hidráulica superficial (l/min x m}^2)}$$

$$\circ A \text{ (m}^2) = \frac{(1525.6) \text{ m}^3/\text{día}}{31.2 \text{ (l/min x m}^2)} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{día}}{1440 \text{ min}} = 33.96 \text{ m}^2$$

$$\circ \text{Area Superficial} = 34 \text{ m}^2$$

3.- Checar la carga de sólidos respecto a la tabla 5.2:

$$\circ \text{ Carga de sólidos} = \frac{Q_{\text{Lodos}} \times C_o}{\text{Area Superficial}}$$

$$\circ \text{ Carga de sólidos} = \frac{(1525.6 \text{ m}^3/\text{día})(10272 \text{ mg/l})(1000 \text{ l/m}^3)(1 \text{ kg}/1000000 \text{ mg})}{34 \text{ m}^2} = 460.91 \frac{\text{kg}}{\text{día} \times \text{m}^2}$$

$$\circ \text{ Carga de Sólidos} = 460.91 \text{ kg/día} \times \text{m}^2 \text{ (94.40 lb/ft}^2 \times \text{día)} \leftrightarrow \text{OK}$$

Para un proceso continuo de espesamiento de lodos (cuya producción es estimada en 1525.6 m³/día) y de acuerdo al estudio realizado, es posible que el tanque de flotación diseñado dé una remoción de lodo espesado del 97.6 % **sin la adición de polímero** y 98.63% **con la adición de éste**, se establece en la tabla 5.3, las alternativas de diseño bajo las características antes mencionadas:

TABLA 5.3 DIFERENTES ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL TANQUE DE ESPESAMIENTO MEDIANTE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO

ALTERNATIVAS DE DISEÑO	AREA SUPERFICIAL REQUERIDA
<i>SIN ADICIÓN DE POLÍMERO Y CON RECIRCULACIÓN PRESURIZADA</i>	
1) Presión = 4.2 kg/cm ² (59.73 lb/plg ²) y % R = 71 %	105.84 m ²
2) Presión = 8 kg/cm ² (113.07 lb/plg ²) y % R = 33%	82.60 m ²
<i>SIN ADICIÓN DE POLÍMERO Y SIN RECIRCULACIÓN PRESURIZADA</i>	
3) Presión = 3.31 kg/cm ² (47.09 lb/plg ²)	62 m ²
<i>CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO Y CON RECIRCULACIÓN PRESURIZADA</i>	
4) Presión = 4.2 kg/cm ² (59.73 lb/plg ²) y % R = 79%	60.75 m ²
5) Presión = 8.7 kg/cm ² (123 lb/plg ²) y % R de 33%	45.27 m ²
<i>CON LA ADICIÓN DE POLÍMERO Y SIN RECIRCULACIÓN PRESURIZADA</i>	
6) Presión = 3.55 kg/cm ² (50.44 lb/plg ²)	34 m ²

La alternativa 3 y 6 (sin recirculación) aparentemente arrojan los mejores diseños, puesto que el área y presión requeridas son las menores obtenidas. En la experiencia práctica se ha observado que para instalaciones pequeñas el diseño resultante de estas alternativas sería de gran eficiencia; sin embargo para plantas con caudales grandes suelen tener considerables problemas en la operación, por lo que; el diseño óptimo y el más recomendable para instalaciones grandes, es aquella que utiliza la recirculación, la cuarta alternativa es la que se ajusta favorablemente para las condiciones reales de la PTARCE, además de que cumple con la presión establecida en el estudio y un área superficial moderada (menor de 80 m²).

Durante la planeación del proyecto se deben evaluar además los costos de bombeo con recirculación, sistema de presurización y de construcción del tanque a fin de hallar la combinación mas económica.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Con base a los resultados de los experimentos llevados a cabo en este estudio, se derivan las siguientes conclusiones:

- En cada prueba de laboratorio que se realizó, paralelamente se procedió a vertir lodo de muestra cruda en una probeta de 1000 ml y se determinaba el tiempo de sedimentación por gravedad, mediante este examen se pudo observar que el proceso de espesamiento mediante Flotación (DAF) resultó ser aproximadamente 12 veces más rápida que la sedimentación.
- De acuerdo a la aplicación de la "Ley de Stokes", durante el desarrollo de los experimentos con las condiciones de operación establecidos en este trabajo, se estima que se logró un diámetro de burbujas de aire de 80 a 100 μm , lo que proporcionó mayor eficiencia en la fuerza de apoyo para la separación de sólidos de la fase líquida; estas características hacen posible el diseño de equipos con menor tiempo de retención (5 a 10 min), menor profundidad del tanque (120 a 150 cm) y por lo tanto estructuras de menor tamaño, lo que representa un bajo costo en el tratamiento de lodos.
- Se logró conseguir una nata flotante de lodo espesado de hasta 4% de sólidos (en sedimentación se obtienen de 0.5 a 0.7%).
- Una tasa rápida es equivalente a una carga superficial alta (figuras 4.1, 4.3 y 4.5).

Efecto de los factores analizados:

- Efecto del **diámetro de la partícula de lodo**: fue el factor más importantes a considerar en la prueba de flotación discontinua, al aumentar el diámetro de la partícula de lodo, mejoró la eficiencia del proceso, el aumento de la partícula de lodo se logró con la adición de polímero; 3 ml/l en promedio (CYTEC a 0.4%) fue la mejor dosis.
- Efecto de la **presión suministrada**: se obtuvieron remociones mayores a 98% empleando presiones de 4.2 a 4.5 kg/cm^2 (60 a 64.3 lb/plg^2).

- Efecto del **tiempo de disolución**: durante el experimento de laboratorio se observó que la mejor dilución del aire con el líquido a presurizar fue cuando se proporcionó un tiempo de disolución de entre 5 y 10 min, con lo cual se logró que la mayor parte de pruebas realizadas fueran exitosas.
 - Efecto de la **temperatura**: afecta directamente en cuanto a la condición del lodo y a la solubilidad del aire; a mayor temperatura menor solubilidad y por lo tanto menor eficiencia de remoción, y viceversa.
 - Efecto de la **tasa de recirculación**: se ensayaron tasas de recirculación de 20, 30, 33, 50, 67 y 100% resultando ser adecuadas las de 33 y 100%, el control de estas tasas de recirculación permitieron variar proporcionalmente la cantidad de aire disuelto con la cantidad de lodo suministrado en la columna de flotación.
 - Efecto de la **adición de polímero**: se mejoró considerablemente las pruebas de flotación, se proporcionó al lodo una consistencia estable de tal manera que fue posible conducir la prueba adecuadamente para lograr turbiedades en el líquido clarificado por debajo de 2 UTN y una concentración de sólidos de hasta 4 mg/l.
- El procedimiento de "Prueba de Jarras" fue el método de acondicionamiento que se empleó para obtener las dosis óptimas de prueba (15 segundos de mezcla rápida), las mejores dosis van de 2 a 4 ml de polímero en emulsión por 5 gr. sólidos secos.
- En función del gasto de lodo biológico producido en la PTARCE (1525.6 m³/día); se estima que se requieren de 2 - 4 litros de polímero (al 0.4%) por cada m³ de a espesar y de 4 a 8 litros de polímero por día de producción en la planta (suponiendo una operación continua de 24 horas).
- El comportamiento de las relaciones A/S contra concentración de sólidos del lodo espesado y líquido clarificado se puede observar en las gráficas 4.7 a 4.10. A partir de éstas fue posible determinar las relaciones A/S de máxima eficiencia.
- La relación A/S de máxima eficiencia se obtiene, sobreponiendo las curvas del gráfico 4.7 con la curva del gráfico 4.8 como lo muestra la figura 5.1., para el caso de los ensayos sin la adición de polímero y para el caso de las pruebas con la adición de éste, se sobreponen las curvas del gráfico 4.9 con la curva del gráfico 4.10 como lo muestra la figura 5.2., se considera el máximo espesamiento simultáneamente a la máxima clarificación, sin aumentar considerablemente la eficiencia de operación.
- La dosis de polímero de 3 ml/l fue la que presentó la máxima tasa de remoción de sólidos flotados (99.89%) así como la máxima tasa de ascenso en el proceso. Esta dosis es la que proporcionará una flotación óptima en el proceso a escala real.

TABLA 6.1 PRUEBAS REALIZADAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO

◆	Para un lodo que en promedio presentó una concentración de sólidos de 5,500 mg/l, tasa de recirculación del 33% y presión suministrada de 4.2 Kg/cm ² los resultados fueron los siguientes:
-	Tasa media de ascenso = 1.54 cm/min,
-	Concentración media de lodo espesado = 18,309 mg/l (en el líquido clarificado 138.5 mg/l)
-	Volumen de lodo espesado de 60% a los 13 min y 70% a los 15 min (remoción 97.18%).
◆	Para un lodo que en promedio presentó una concentración de sólidos de 4,322 mg/l, tasa de recirculación del 100% y presión suministrada de 4.2 Kg/cm ² los resultados fueron los siguientes:
-	Tasa media de ascenso = 1.85 cm/min,
-	Concentración media de lodo espesado = 17,514 mg/l (en el líquido clarificado 115 mg/l)
-	Volumen de lodo espesado de 70% a los 9 min y 80% a los 15 min (remoción 97.96%).
-	La relación A/S óptima para los ensayos sin adición de polímero es de 0.0053 ml/mg

TABLA 6.2 PRUEBAS REALIZADAS CON LA ADICIÓN DE UNA DOSIS PROMEDIO DE 2.8 ml/l POLÍMERO "CYTEC" AL 0.4%

◆	Para un lodo biológico de concentración media de sólidos de 4,344 mg/l y de 10,272 mg/l en el lodo crudo con polímero; Recirculación del 33 al 100% y una presión óptima de 4.0 Kg/cm ² se obtuvieron los siguientes resultados
-	Tasa media de ascenso = 1.79 cm/min
-	Concentración media de lodo espesado = 16,802 mg/l (en el líquido clarificado 80 mg/l)
-	Volumen de lodo espesado de 80% en el minuto 10 y 90% a minuto 15 (remoción 98.63%).
-	La relación A/S óptima para los ensayos con adición de polímero es de 0.00273 ml/mg .

- Se concluye que las pruebas con la adición de polímero fueron las que permitieron efectuar eficientemente el experimento y por lo tanto la que arrojará los criterios de diseño.
- Con las relaciones A/S obtenidas, el gasto de lodos producidos y la carga superficial recomendada es posible con la ayuda de la siguiente expresión, dimensionar el tanque de flotación y obtener la mejor presión y tasa de recirculación de operación.

$$\frac{A}{S} = \frac{1.293 S_a (fP - 1)R}{C_o Q}$$

Anexo 1

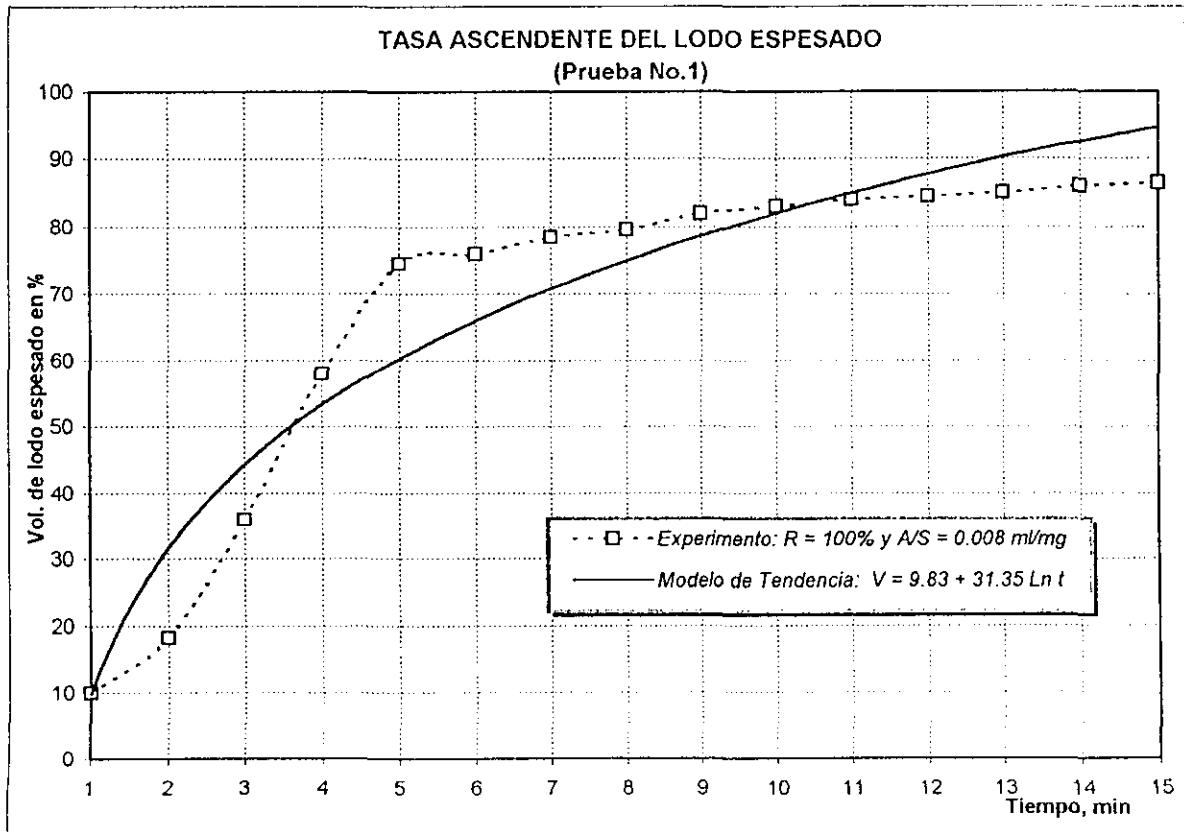
RESULTADOS DE LABORATORIO

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 1 Fecha de análisis Junio, 20/1997 Fecha de muestreo junio, 19/1997
 Hora de muestre 11:18 hs. Temperatura 22 °C Densidad del lodo 0.9904 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso + R.S.	SST, (mg/l)	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, (mg/l)
78.1666	Lodo Crudo	25	78.0447	4876	22.1242	Cruda	25	22.2332	4360
51.4540	Espesado	25	51.2382	8632	23.1314	Espesado	10	23.2479	11,650
					25.0172	Clarificada	25	25.0203	124

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	3.4	900	32.6	3.4	10.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.0 Kg/cm ²	2	6.8	818	29.2	3.4	18.2
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	12.8	640	23.2	6.0	36.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	20.8	420	15.2	8.0	58.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,876 mg/l	5	26.7	254	9.3	5.9	74.6
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	27.3	240	8.7	0.6	76.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	8,632 mg/l	7	28.1	215	7.9	0.8	78.5
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	4,360 mg/l	8	28.6	203	7.4	0.5	79.7
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	11,650 mg/l	9	29.3	180	6.7	0.7	82.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	124 mg/l	10	29.8	170	6.2	0.5	83.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.06 cm/min	11	30.0	160	6.0	0.2	84.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.43 %	12	30.2	155	5.8	0.2	84.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.17 %	13	30.5	150	5.5	0.3	85.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.26 %	14	30.7	140	5.3	0.2	86.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.008 ml/mg	15	30.9	135	5.1	0.2	86.5

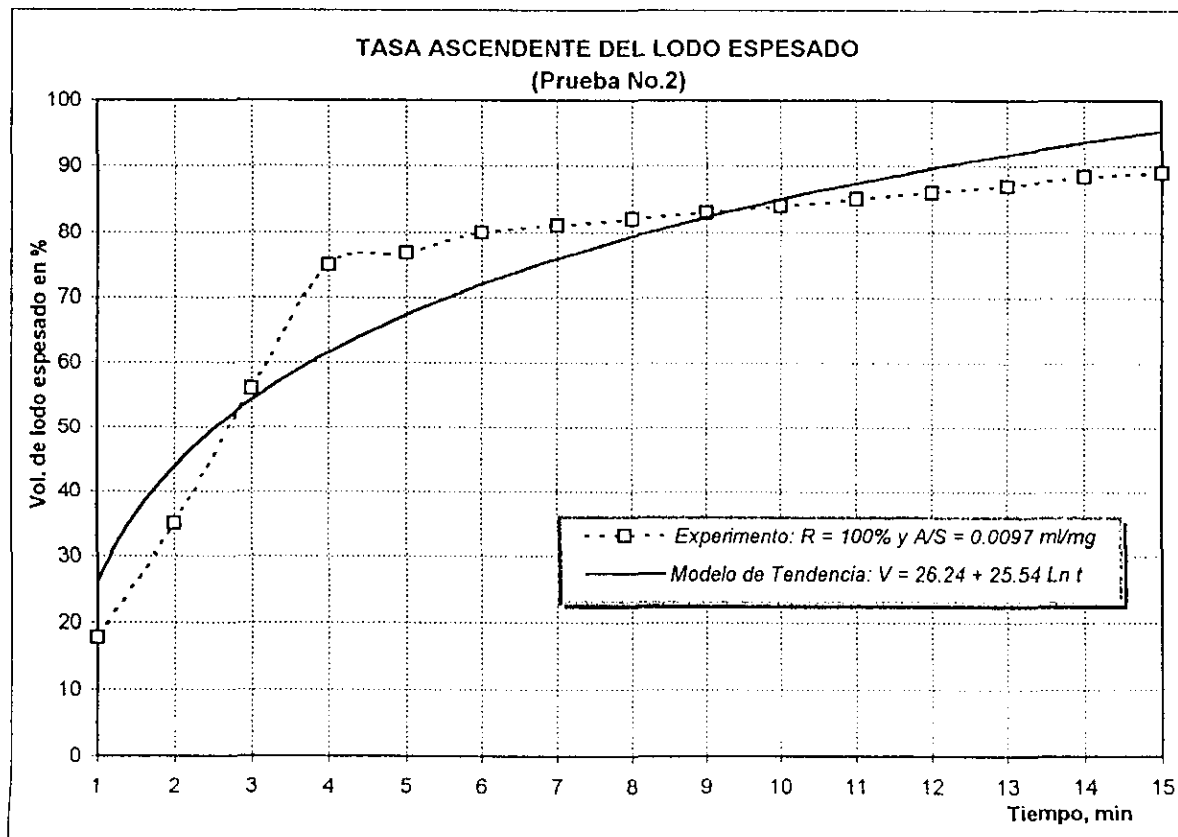


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 2 Fecha de análisis Junio, 23/1997 Fecha de muestreo Junio, 23/1997
 Hora de muestro 10:54 hs. Temperatura 23.3 °C Densidad del lodo 0.9956 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
56.0954	Lodo Crudo	25	56.1890	3,744	21.5645	Cruda	10	21.5963	3,180
78.1564	Espesado	20	78.3067	7,515	22.1330	Espesado	10	22.2332	10,020
					30.7030	Clarificada	20	30.7049	95

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. HATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	6.1	822	29.9	6.1	17.8
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	3.8 Kg/cm ²	2	12.3	650	23.7	6.2	35.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	20.1	440	15.9	7.8	56.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	27.0	250	9.0	6.9	75.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,744 mg/l	5	27.7	232	8.3	0.7	76.8
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	28.7	200	7.3	1.0	80.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	7,515 mg/l	7	29.1	190	6.9	0.4	81.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,180 mg/l	8	29.5	180	6.5	0.8	82.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	10,020 mg/l	9	29.9	170	6.1	0.4	83.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	95 mg/l	10	30.2	160	5.8	0.3	84.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.16 cm/min	11	30.6	150	5.4	0.4	85.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.32 %	12	31.1	140	4.9	0.5	86.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.01 %	13	31.3	130	4.7	0.2	87.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	97.9 %	14	31.6	115	4.4	0.3	88.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0097 ml/mg	15	32.0	109	4.0	0.4	89.1

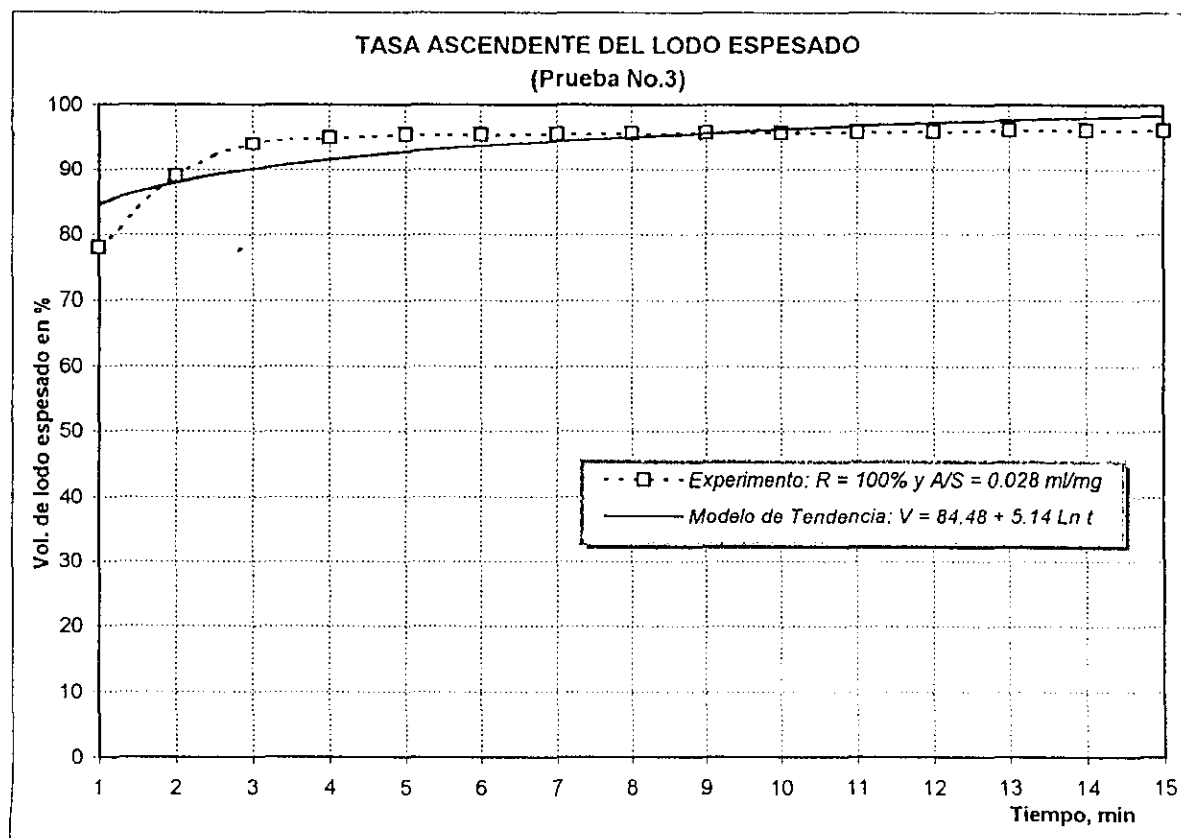


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 3 Fecha de análisis Junio, 24/1997 Fecha de muestreo junio, 24/1997
 Hora de muestre 10:54 hs. Temperatura 21 °C Densidad del lodo 0.9905 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SS1, [mg/l]
61.0114	Lodo Crudo	20	61.0520	2,030	22.7353	Cruda	10	22.7476	1,230
50.0539	Espesado	20	50.3191	13,7353	24.7267	Espesado	10	24.8642	13,780
					25.3553	Clarificada	10	25.3554	40

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, HATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	27.8	220	8.2	27.8	76.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4,0 Kg/cm ²	2	31.8	110	4.2	4.0	89.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	33.6	60	2.4	1.8	94.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	34.0	50	2.0	0.4	95.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	2,030 mg/l	5	34.1	45	1.9	0.1	95.5
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	34.1	45	1.9	0.0	95.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	13,260 mg/l	7	34.3	44	1.7	0.3	95.6
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	1,230 mg/l	8	34.4	43	1.6	0.1	95.7
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	13,780 mg/l	9	34.4	42	1.6	0.0	95.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	40 mg/l	10	34.4	42	1.6	0.0	95.8
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.32 cm/min	11	34.4	41	1.6	0.0	95.9
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.12 %	12	34.4	40	1.6	0.0	96.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.38 %	13	34.5	38	1.5	0.1	96.2
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	97.03 %	14	34.5	38	1.5	0.1	96.2
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.028 ml/mg	15	34.5	38	1.5	0.1	96.2

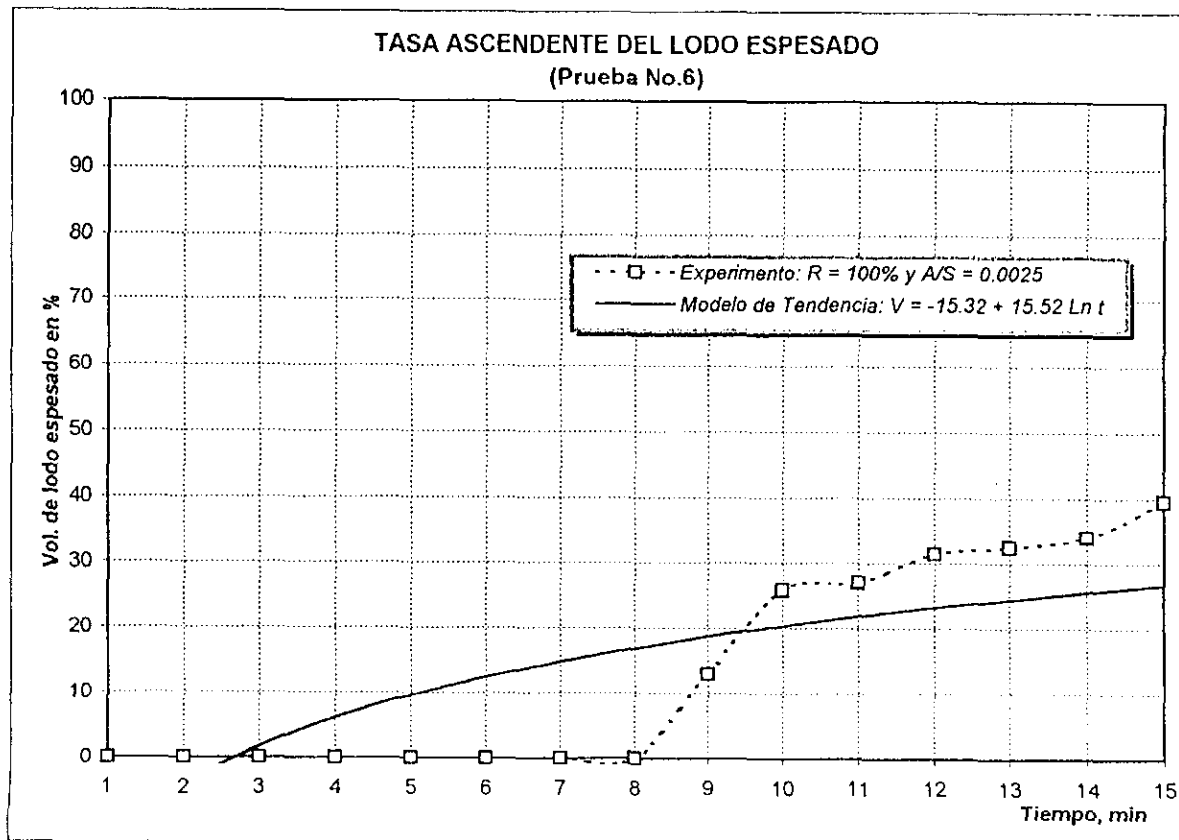


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 6 Fecha de análisis Junio, 25/1997 Fecha de muestreo junio, 25/1997
 Hora de muestre 11:25 hs. Temperatura 20.4 °C Densidad del lodo 0.9902 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cta.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cta.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0106	Lodo Crudo	20	61.2784	13,390	22.1334	Cruda	10	22.2698	13,640
63.8663	Espesado	20	64.1602	14,695	24.0915	Espesado	10	24.2812	18,970
					25.0177	Clarificada	20	25.0263	430

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.0 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	0.0	1000	36	0.0	0.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	13,390 mg/l	5	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	14,695 mg/l	7	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	13,640 mg/l	8	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	18,970 mg/l	9	4.5	870	31.5	4.5	13.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	430 mg/l	10	9.0	741	27.0	4.5	25.9
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	0.93 cm/min	11	9.5	730	26.5	0.5	27.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	1.36 %	12	11.0	686	25.0	1.5	31.4
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.90 %	13	11.5	675	24.5	0.5	32.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.09 %	14	12.0	660	24.0	0.5	34.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0025 ml/mg	15	14.0	605	22.0	2.0	39.5

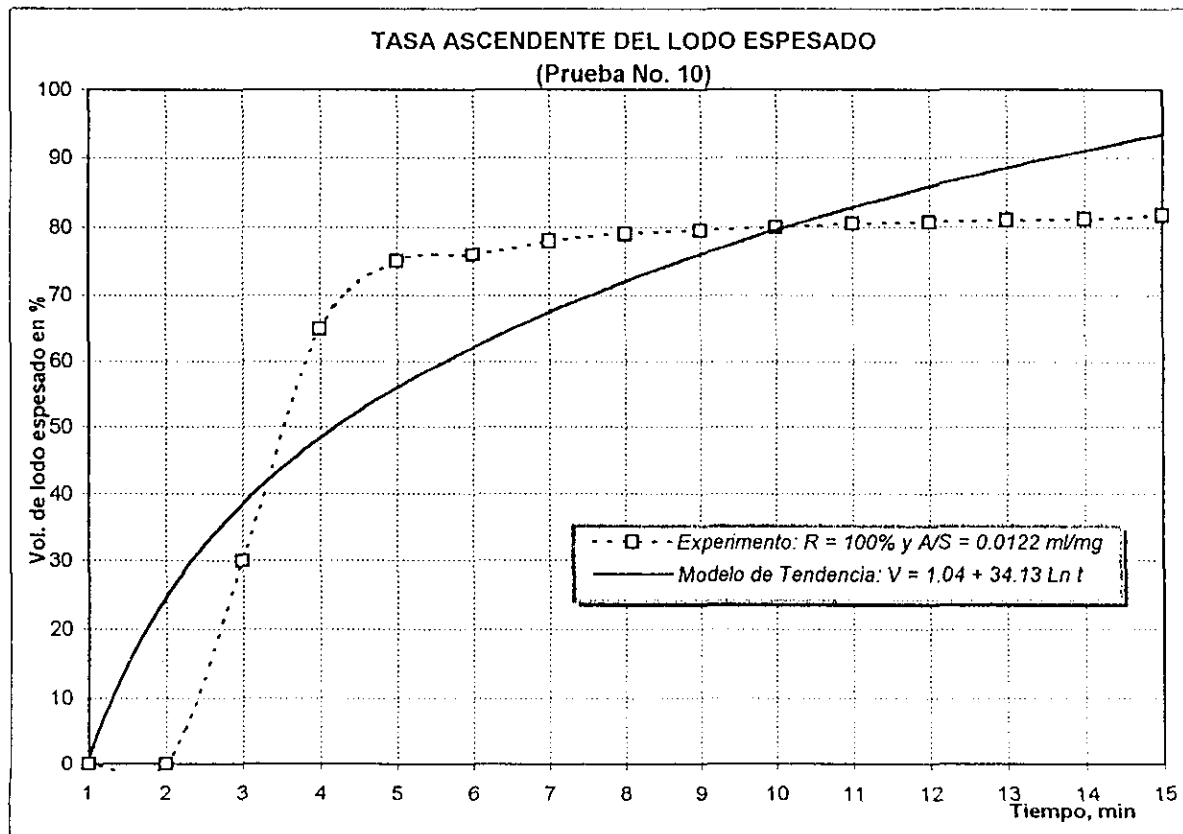


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 10 Fecha de análisis Junio, 26/1997 Fecha de muestreo junio, 26/1997
 Hora de muestra 11:43 hs. Temperatura 21 °C Densidad del lodo 0.9988 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
78.1499	Lodo Crudo	20	78.2629	5,650	22.1313	Cruda	10	22.1765	4,520
64.4661	Espesado	20	64.7652	14,955	25.3532	Espesado	10	25.5065	15,330
					29.4943	Clarificada	25	29.5000	228

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	1	0.0	1000	36.0	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	2	0.0	1000	36.0	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	3	6.5	700	29.5	6.5	30.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	4	14.0	350	22.0	7.5	65.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5	24.5	250	11.5	10.5	75.0
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	6	26.5	240	9.5	2.0	76.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	7	27.0	220	9.0	0.5	78.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	8	27.5	210	8.5	0.5	79.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	9	27.7	205	8.3	0.2	79.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	10	28.0	200	8.0	0.3	80.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	11	28.3	195	7.7	0.3	80.5
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	12	28.5	193	7.5	0.2	80.7
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	13	28.6	190	7.4	0.1	81.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	14	28.7	188	7.3	0.1	81.2
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	15	28.8	182	7.2	0.1	81.8

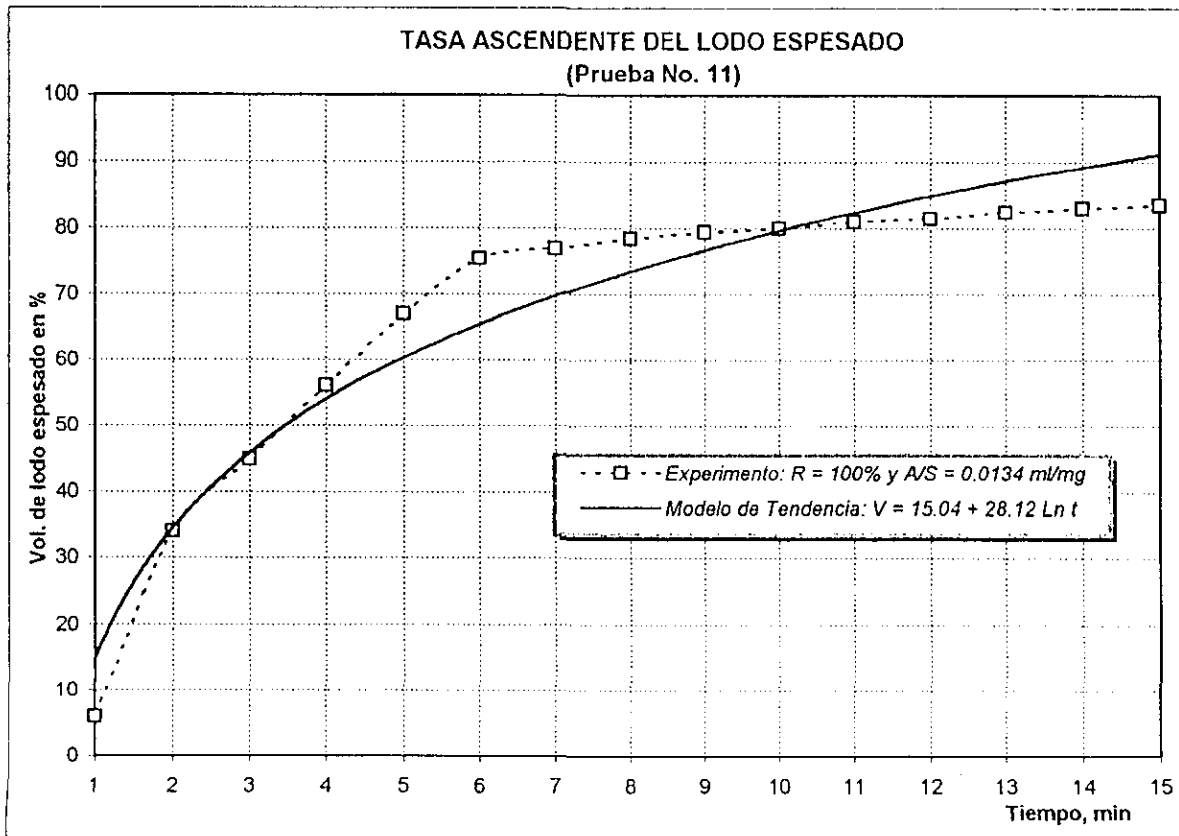


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 11 Fecha de análisis Junio, 26/1997 Fecha de muestreo Junio, 26/1997
 Hora de muestre 11:53 hs. Temperatura 21 °C Peso específico 0.9962 kg/l

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
51.4544	Lodo Crudo	20	51.5191	3,235	23.1269	Cruda	10	23.1543	2,740
52.6329	Espesado	20	52.9268	14,695	22.7336	Espesado	10	22.8769	14,330
					24.7253	Clarificada	20	24.7271	90

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE crv/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	2.0	994	34	2.0	6.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	12.0	660	24	10.0	34.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	16.0	550	20	4.0	45.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	20.0	440	16	4.0	56.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,235 mg/l	5	24.0	330	12	4.0	67.0
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	27.0	245	9.0	3.0	75.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	14,695 mg/l	7	27.5	230	8.5	0.5	77.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	2,740 mg/l	8	28	215	8.0	0.5	78.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	14,330 mg/l	9	28.5	205	7.5	0.5	79.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	90 mg/l	10	28.7	200	7.3	0.2	80.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.03 crv/min	11	29.0	190	7.0	0.3	81.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.27 %	12	29.5	185	6.5	0.5	81.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.43 %	13	29.7	175	6.3	0.7	82.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	97.33 %	14	29.8	170	6.2	0.1	83.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0134 ml/mg	15	30.0	165	6.0	0.2	83.5

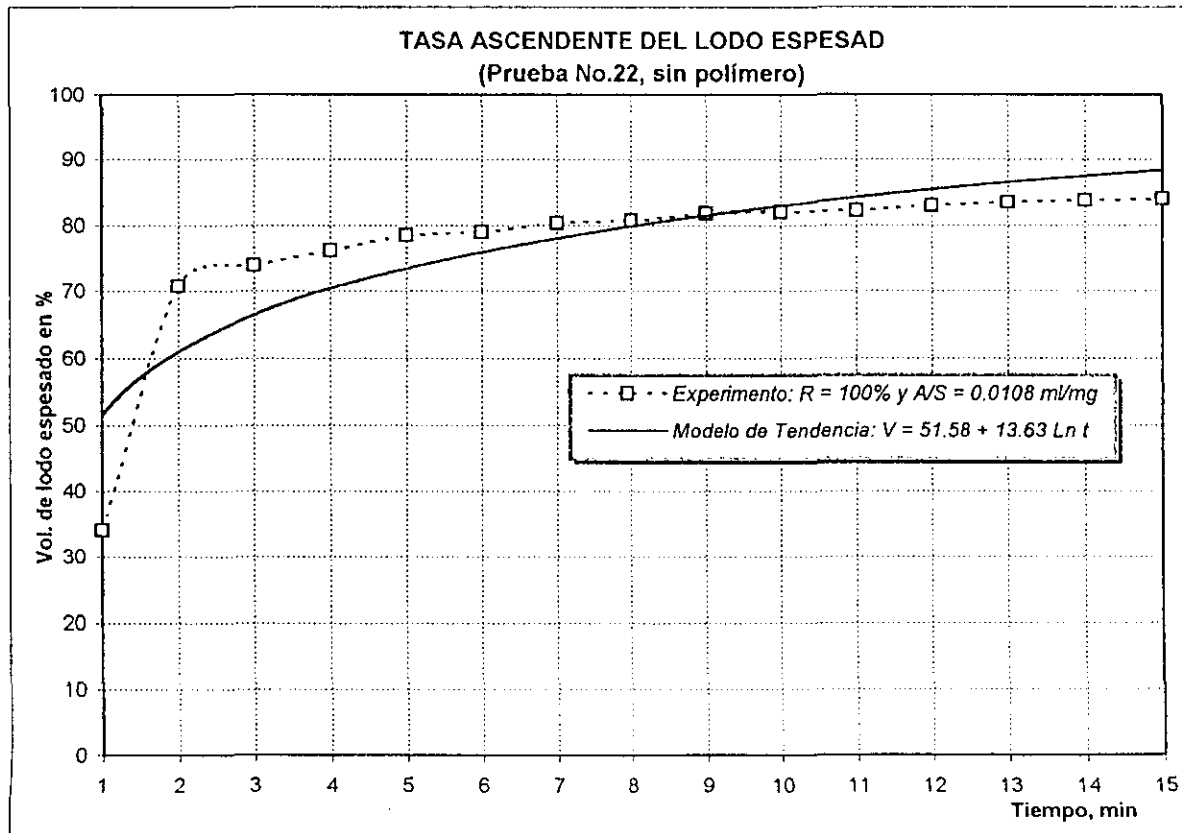


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 22 Fecha de análisis Julio, 08/1997 Fecha de muestreo julio, 08/1997
 Hora de muestre 10:53 hs. Temperatura 19.5 °C Peso específico 0.9978 kg/l

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0043	Lodo Crudo	25	61.1096	3,996	22.5937	Cruda	25	22.6807	3,480
47.2231	Espesado	20	47.5855	18,120	25.4369	Espesado	10	25.5622	12,530
					22.5950	Clarificada	25	22.5970	80

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	12.0	660	34	12.0	34.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	25.3	292	10.7	13.3	70.8
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	26.5	260	9.5	1.2	74.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	27.3	238	8.7	0.8	76.2
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,996 mg/l	5	28.0	215	8.0	0.7	78.5
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	28.2	210	7.8	0.2	79.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	18,120 mg/l	7	28.8	196	7.2	0.6	80.4
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,480 mg/l	8	28.9	192	7.1	0.1	80.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	12,530 mg/l	9	29.1	189	6.9	0.2	81.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	80 mg/l	10	29.4	180	6.6	0.3	82.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.02 cm/min	11	29.6	178	6.4	0.2	82.2
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.39 %	12	29.7	170	6.3	0.1	83.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.81 %	13	30.0	165	6.0	0.3	83.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.33 %	14	30.1	162	5.9	0.1	83.8
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0108 ml/mg	15	30.3	160	5.7	0.2	84.0



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 29

Fecha de análisis Agosto, 5/1997

Fecha de muestreo Agosto, 5/1997

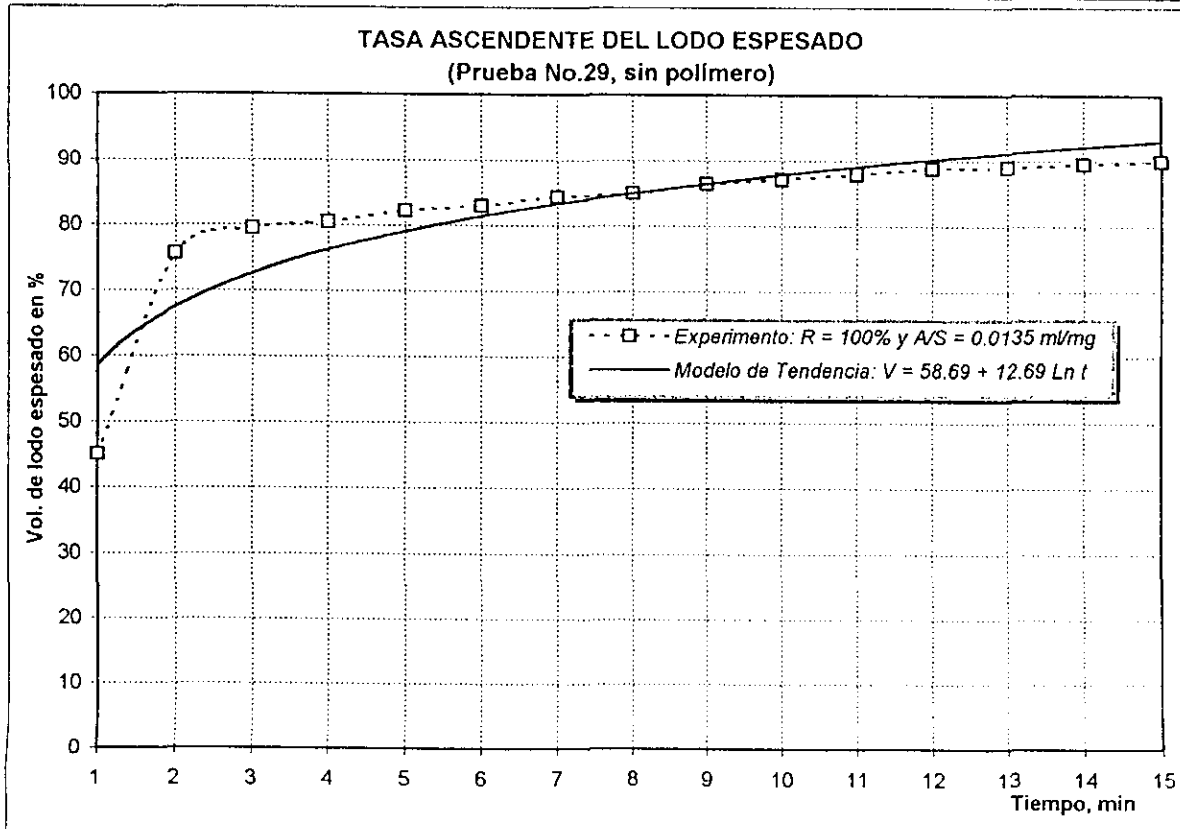
Hora de muestra 10:43 hs.

Temperatura 23 °C

Peso específico 0.9916 kg/l

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0047	Lodo Crudo	25	61.1010	3,852	23.1287	Cruda	25	23.2005	2,872
77.1528	Espesado	25	78.4572	52,200	30.7014	Espesado	10	30.8299	12,850
					22.5964	Clarificada	25	22.5975	44

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	1	16.0	550	20.0	16.0	45.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	2	27.0	245	9.0	11.0	75.5
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	3	28.5	205	7.5	1.5	79.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	4	28.8	195	7.2	0.3	80.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5	29.5	178	6.5	0.7	82.2
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	6	29.8	170	6.2	0.3	83.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	7	30.1	155	5.9	0.3	84.5
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	8	30.5	150	5.5	0.4	85.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	9	31.0	135	5.0	0.5	86.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	10	31.3	128	4.7	0.3	87.2
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	11	31.5	120	4.5	0.2	88.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	12	31.8	112	4.2	0.3	88.8
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	13	31.9	110	4.1	0.1	89.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	14	32.1	105	3.9	0.2	89.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	15	32.2	100	3.8	0.2	90.0

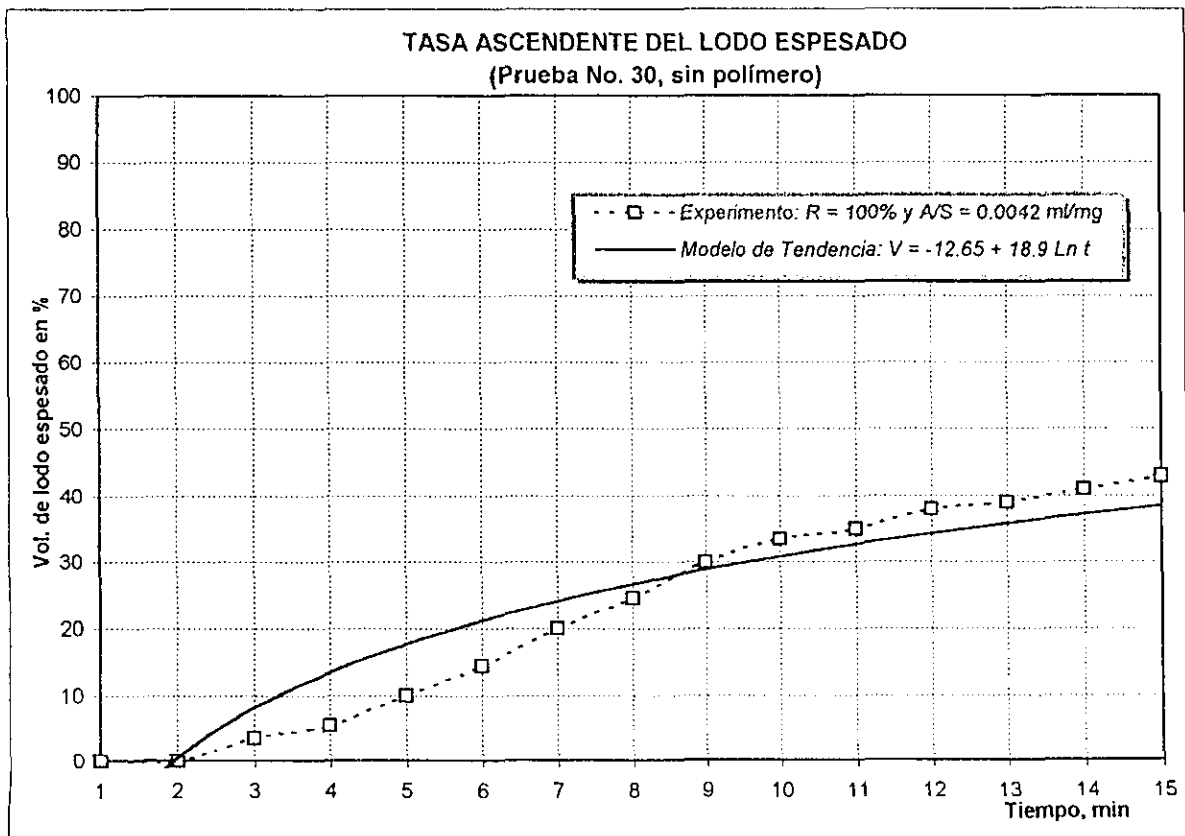


RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 30 Fecha de análisis Agosto 05/1997 Fecha de muestreo Agosto 05/1997
 Hora de muestre 10:43 hs. Temperatura 23 °C Peso específico 0.9916 kg/l

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso + R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0047	Lodo Crudo	25	61.1010	3,852	23.1287	Cruda	25	23.2005	2,872
50.0469	Espesado	25	50.3869	13,600	25.0162	Espesado	10	25.1253	10,910
					24.0905	Clarificada	25	22.0920	60

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE: cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	500 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	500 ml	3	1.0	965	35.0	1.0	3.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	100 %	4	1.7	945	34.3	0.7	5.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,852 mg/l	5	3.4	900	32.6	1.7	10.0
SÓLIDOS TOTALES m. CRUDA C/POLÍMERO	-	6	5.0	855	31.0	1.6	14.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	13,600 mg/l	7	7.0	800	29.0	2.0	20.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	2,872 mg/l	8	8.5	755	27.5	1.5	24.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	10,910 mg/l	9	10.5	700	25.5	2.0	30.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	60 mg/l	10	11.8	665	24.2	1.3	33.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.01 cm/min	11	12.4	650	23.6	0.6	35.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.39 %	12	13.4	620	22.6	1.0	38.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.36 %	13	13.8	610	22.2	0.4	39.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.45 %	14	14.5	590	21.5	0.7	41.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0042 ml/mg	15	15.2	570	20.8	0.7	43.0



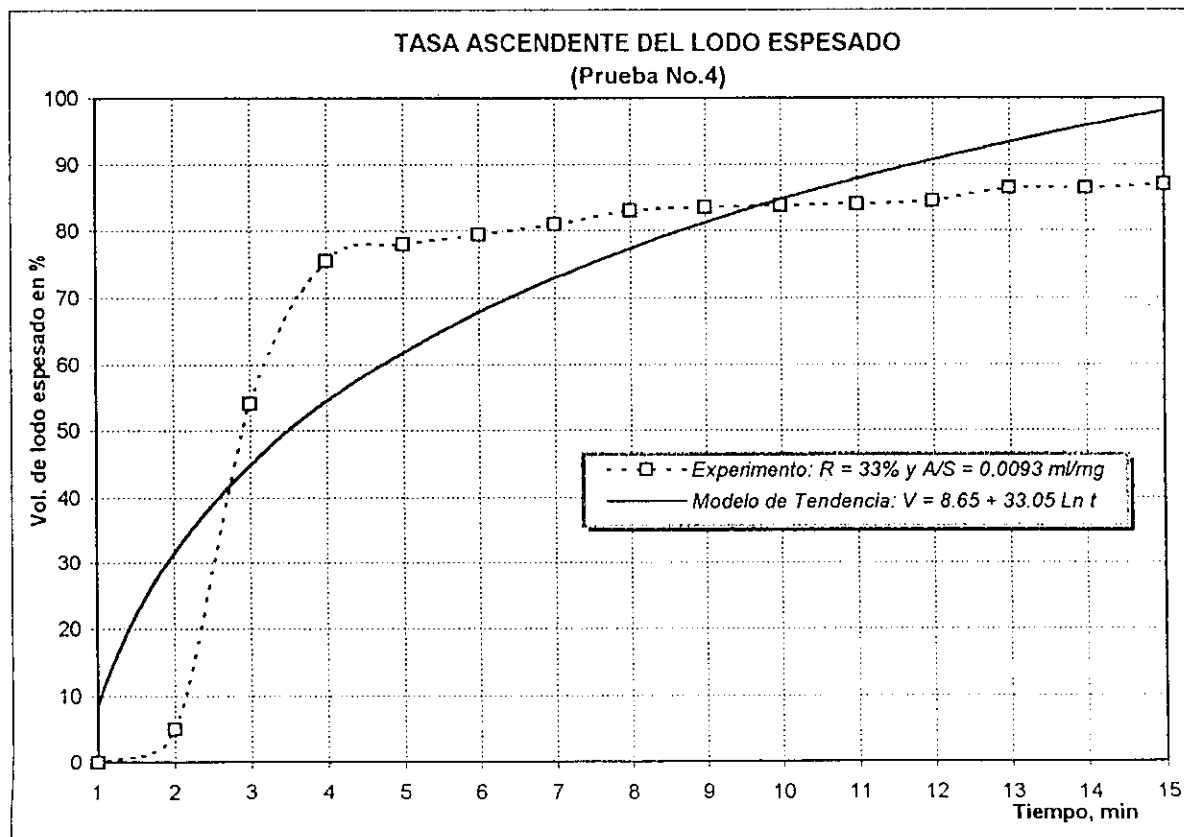
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 4 Fecha de análisis Junio, 24/1997
 Hora de muestra 10:54 hs. Temperatura 21 °C

Fecha de muestreo junio, 24/1997
 Densidad del lodo 0.9905 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST. [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST. [mg/l]
61.0114	Lodo Crudo	20	61.0520	2,030	22.7353	Cruda	10	22.7476	1,230
47.2255	Espesado	20	47.4687	12,160	24.7267	Espesado	10	24.8465	11,980
					25.3550	Clarificada	10	25.3568	180

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. HATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.0 Kg/cm ²	2	2.0	950	34.0	5.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	12.0	460	24.0	54.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	27.0	245	9.0	75.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	2,030 mg/l	5	28.0	220	8.0	78.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.4 ml/l	6	28.5	205	7.5	79.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	12,160 mg/l	7	29.0	190	7.0	81.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	1,230 mg/l	8	29.5	170	6.5	83.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	11,980 mg/l	9	29.8	165	6.2	83.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	184 mg/l	10	30.0	162	6.0	83.8
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.07 cm/min	11	30.5	160	5.5	84.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.20 %	12	30.7	155	5.3	84.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.22 %	13	31.0	135	5.0	86.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	86.67 %	14	31.0	135	5.0	86.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0093 ml/mg	15	31.0	135	5.0	87.0



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

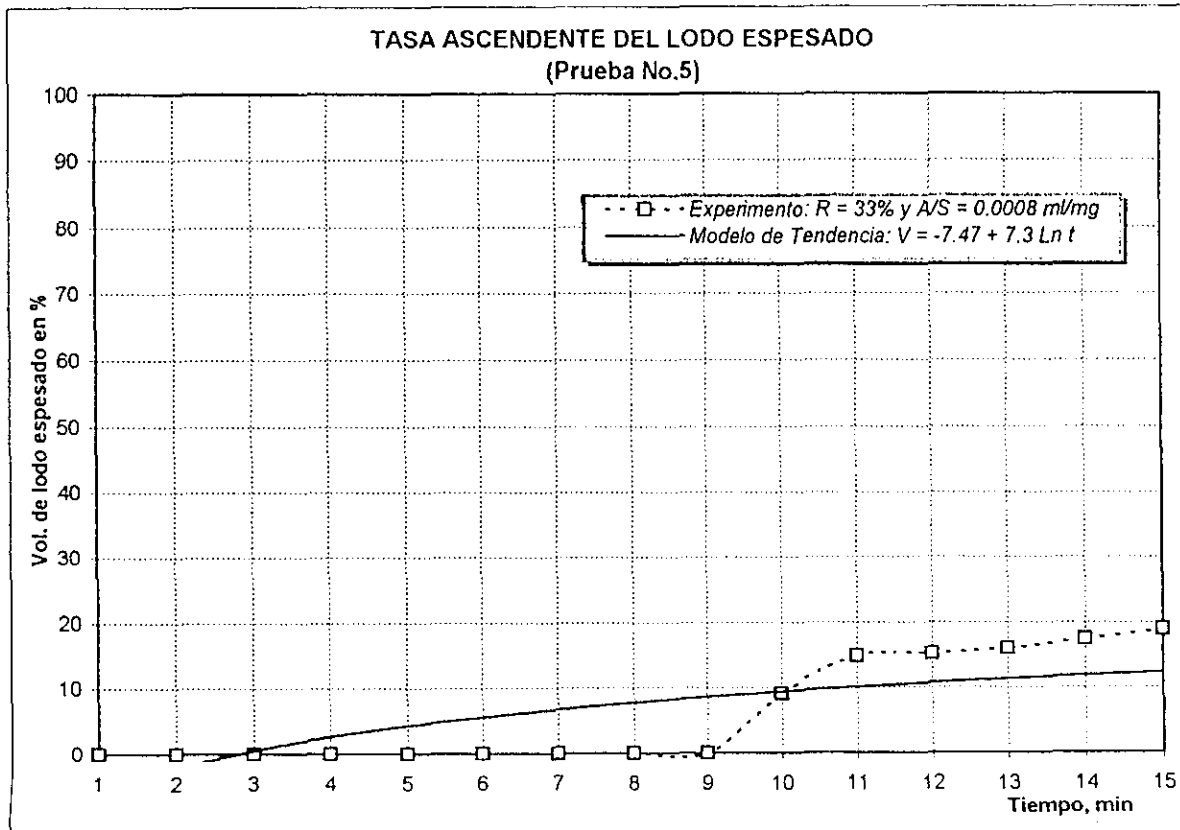
Análisis No. 5 Fecha de análisis Junio, 25/1997
 Hora de muestre 11:25 hs. Temperatura 21 °C

Fecha de muestreo junio, 25/1997
 Densidad del lodo 0.9968 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cle.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, (mg/l)	Peso Cle.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, (mg/l)
61.0106	Lodo Crudo	20	61.2782	13,380	22.1334	Cruda	10	22.2698	13,640
56.0939	Espesado	20	56.4940	20,005	21.5653	Espesado	10	21.8527	28,740
					30.7031	Clarificada	10	30.7055	240

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.0 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	0.0	1000	36	0.0	0.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	13,380 mg/l	5	0.0	1000	36	0.0	0.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.58 ml/l	6	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	20,005 mg/l	7	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	13,640 mg/l	8	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	28,740 mg/l	9	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	240 mg/l	10	0.0	910	33	3.0	9.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	0.45 cm/min	11	3.0	852	31	2.0	14.8
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	1.36 %	12	5.0	848	30.8	0.2	15.2
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	2.87 %	13	5.5	840	30.5	0.3	16.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.1 %	14	6.0	825	30.0	0.5	17.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0008 ml/mg	15	6.7	810	29.3	0.7	19.0

TASA ASCENDENTE DEL LODO ESPESADO
 (Prueba No.5)



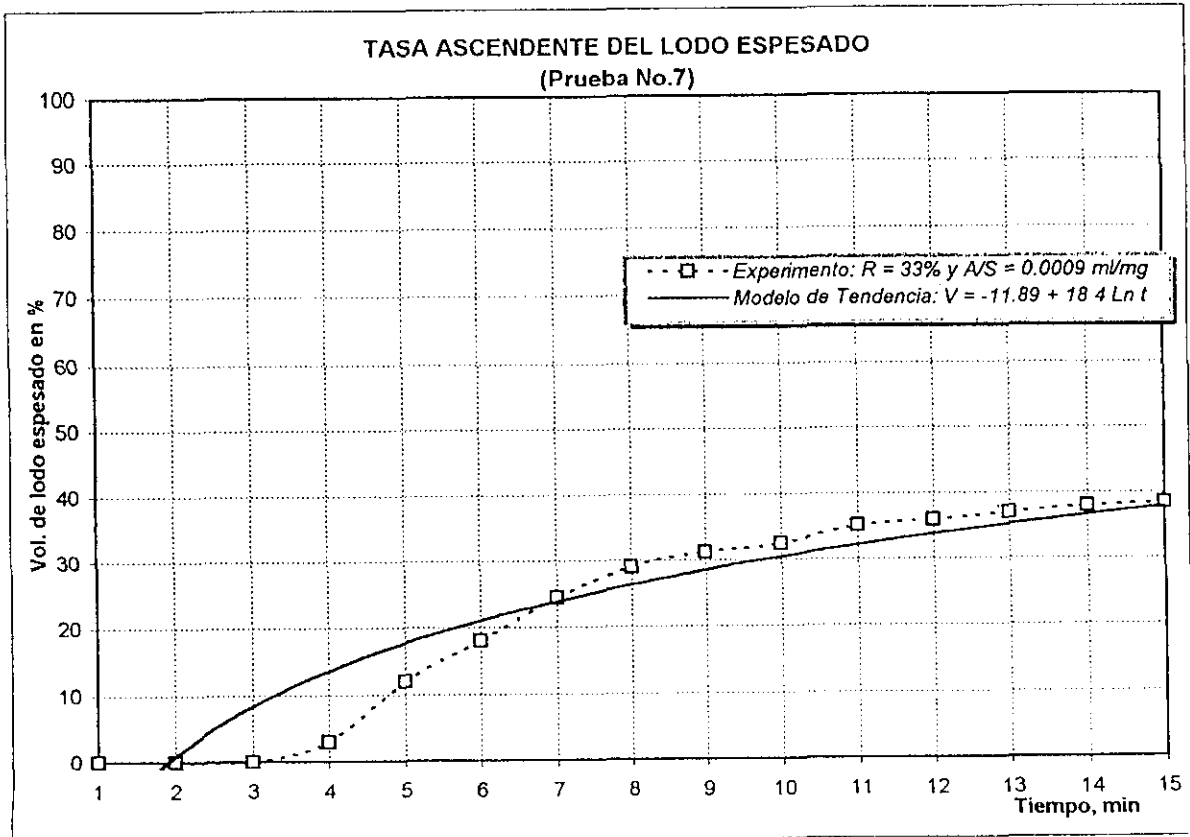
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 7 Fecha de análisis Junio, 25/1997
 Hora de muestra 11:25 hs. Temperatura 20.4 °C

Fecha de muestreo Junio, 25/1997
 Densidad del lodo 0.9989 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST _t (mg/l)	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST _t (mg/l)
61.0106	Lodo Crudo	20	61.2784	13,390	22.1334	Cruda	10	22.2698	13,640
78.1564	Espesado	20	78.9429	39,325	30.7030	Espesado	10	31.1511	44,810
					21.5645	Clarificada	20	21.5676	155

PRUEBAS SIN LA ADICIÓN DE POLÍMER		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO		750 ml	1	0.0	1000	36	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA		4.3 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO		250 ml	3	0.0	1000	36	0.0
TASA DE RECIRCULACIÓN		33 %	4	1.0	970	35	1.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA		13,390 mg/l	5	4.1	880	31.9	3.1
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a		18.58 ml/l	6	6.7	820	29.3	2.6
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO		39,325 mg/l	7	8.5	755	27.5	1.8
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA		13,640 mg/l	8	10.2	710	25.8	1.7
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO		44,810 mg/l	9	11.0	688	25.0	0.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO		155 mg/l	10	11.5	675	24.5	0.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE		0.91 cm/min	11	12.5	648	23.5	1.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO		1.36 %	12	12.8	640	23.5	0.3
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO		4.48 %	13	13.1	630	23.2	0.3
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO		99.21 %	14	13.5	620	22.9	0.4
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA		0.0009 ml/mg	15	13.7	615	22.3	0.2



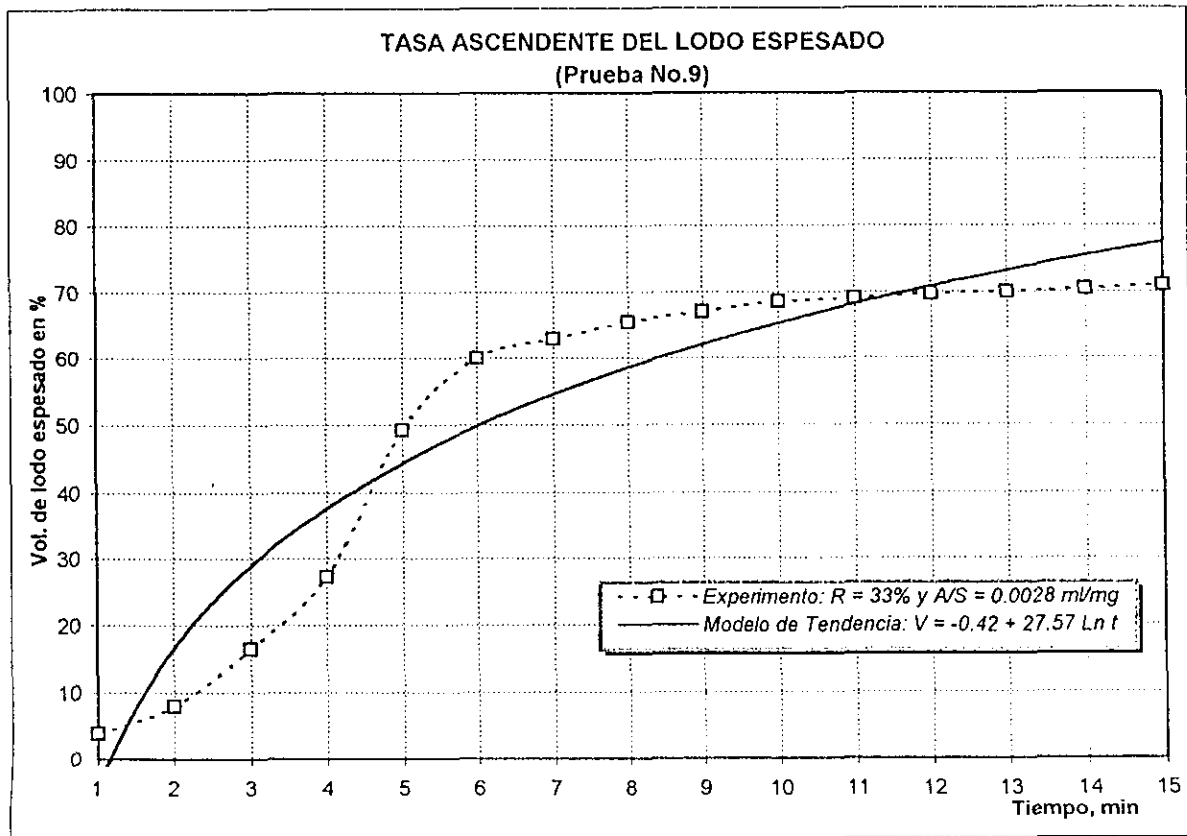
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 9 Fecha de análisis Junio, 29/1997
 Hora de muestreo 11:43 hs. Temperatura 21 °C

Fecha de muestreo Junio, 26/1997
 Densidad del lodo 0.9988 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
78.1499	Lodo Crudo	20	78.2629	5,850	22.1313	Cruda	10	22.1765	4,520
50.1922	Espesado	20	50.5012	15,450	24.7253	Espesado	10	24.8864	16,110
					22.7340	Clarificada	25	22.7366	104

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.5	965	35.5	0.5	4.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	1.6	920	34.4	1.1	8.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	5.6	835	30.4	4.0	16.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	9.6	728	26.4	7.5	27.2
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5,650 mg/l	5	17.6	508	18.4	8.0	49.2
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S ₂	18.4 ml/l	6	21.6	400	14.4	4.0	60.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	15,450 mg/l	7	22.6	370	13.4	1.0	63.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	4,520 mg/l	8	23.4	345	12.6	0.8	65.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	16,110 mg/l	9	24.0	330	12.0	0.6	67.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	104 mg/l	10	24.5	315	11.5	0.5	68.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.93 cm/min	11	24.7	310	11.3	0.2	69.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.45 %	12	24.9	303	11.1	0.3	69.7
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.61 %	13	25.1	300	10.9	0.2	70.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.33 %	14	25.2	295	10.8	0.1	70.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0028 ml/mg	15	25.3	290	10.7	0.1	71.0



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 12

Fecha de análisis Julio, 1/1997

Fecha de muestreo Julio, 1/1997

Hora de muestre 11:24 hs.

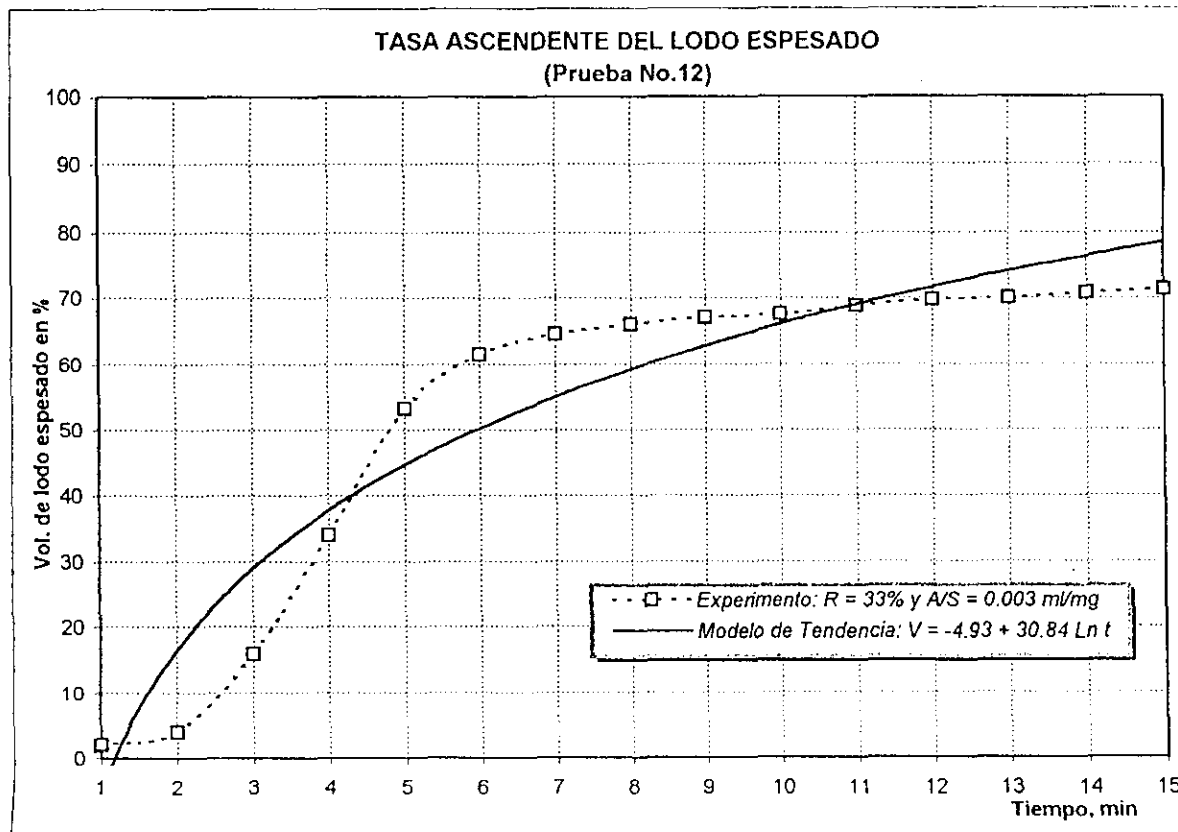
Temperatura 22 °C

Densidad del lodo 0,9961 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT. [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST. [mg/l]
61.0102	Lodo Crudo	25	61.1172	4,280	21.5636	Cruda	25	21.6647	4,044
50.0519	Espesado	20	50.3335	14,080	22.7333	Espesado	10	22.8613	12,800
					22.1306	Clarificada	25	22.1333	108

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE, cm	ml LODO ESPESADO	cm, HATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	1.0	980	35.0	1.0	2.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	1.5	960	34.5	0.5	4.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	5.5	840	30.5	4.0	16.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	12.0	660	24.0	6.5	34.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,280 mg/l	5	19.0	468	17.0	7.0	53.2
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.1 ml/l	6	22.0	385	14.0	3.0	61.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	14,080 mg/l	7	23.0	355	13.0	1.0	64.5
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	4,044 mg/l	8	23.5	340	12.5	0.5	66.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	12,800 mg/l	9	24.0	330	12.0	0.5	67.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	108 mg/l	10	24.2	325	11.8	0.2	67.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.70 cm/min	11	24.6	312	11.4	0.4	68.8
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.43 %	12	24.8	303	11.2	0.2	69.7
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.41 %	13	25.0	300	11.0	0.2	70.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.16 %	14	25.3	292	10.7	0.3	70.8
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0030 ml/mg	15	25.5	285	10.5	0.2	71.5

TASA ASCENDENTE DEL LODO ESPESADO
(Prueba No.12)



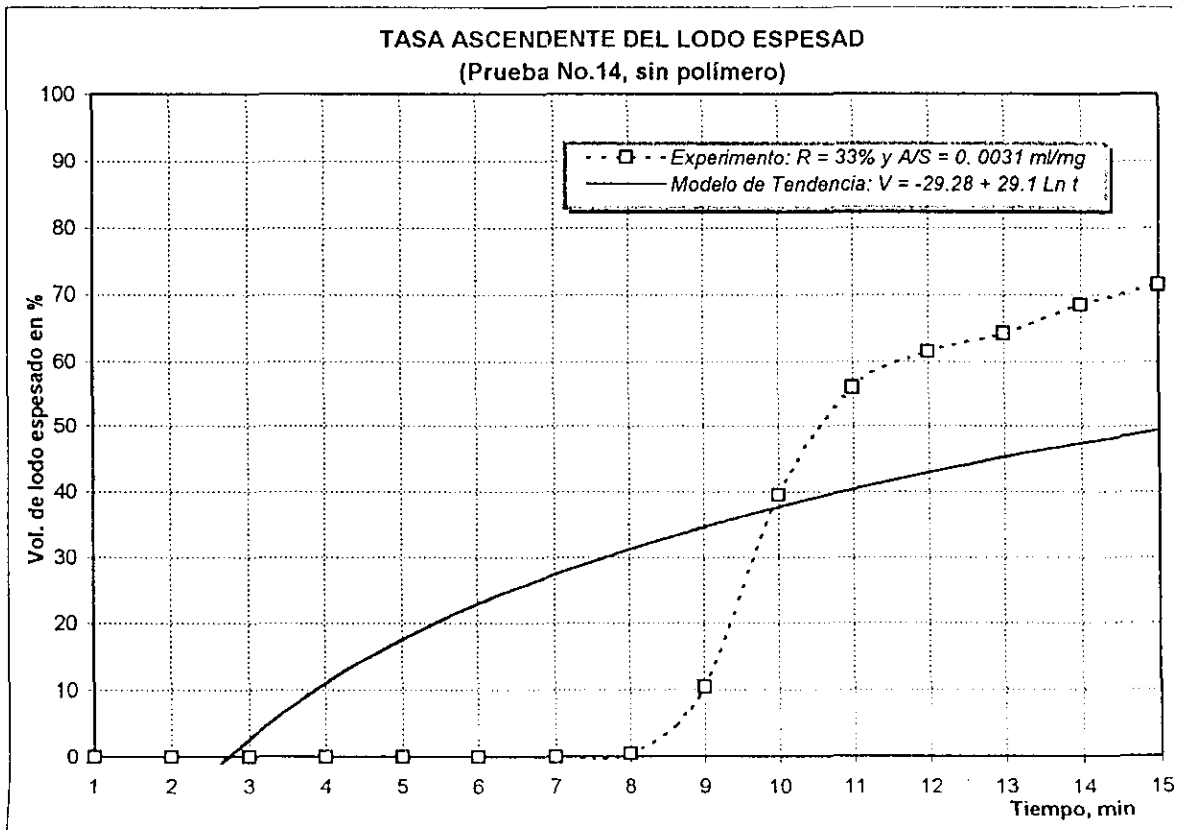
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 14 Fecha de análisis Julio, 1/1997
 Hora de muestreo 11:24 hs. Temperatura 22 °C

Fecha de muestreo Julio, 1/1997
 Densidad del lodo 0.9930 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
47.2238	Lodo Crudo	25	47.3251	4,052	25.0183	Cruda	25	21.1085	3,608
51.4580	Espesado	20	51.6437	9,285	25.3530	Espesado	10	25.5272	17,420
					24.0896	Clarificada	25	24.0918	88

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.0 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	0.0	1000	36	0.0	0.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,052 mg/l	5	0.0	1000	36	0.0	0.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S ₂	18.1 ml/l	6	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	9,285 mg/l	7	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,608 mg/l	8	0.2	995	35.8	0.2	0.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	17,420 mg/l	9	3.5	895	32.5	3.3	10.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	88 mg/l	10	14.0	605	22.0	10.5	39.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	2.10 cm/min	11	20.0	440	16.0	6.0	56.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.36 %	12	22.0	385	14.0	8.0	61.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.74 %	13	23.0	358	13.0	1.0	64.2
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.06 %	14	24.5	315	11.5	1.5	68.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0031 ml/mg	15	25.5	285	10.5	1.0	71.5



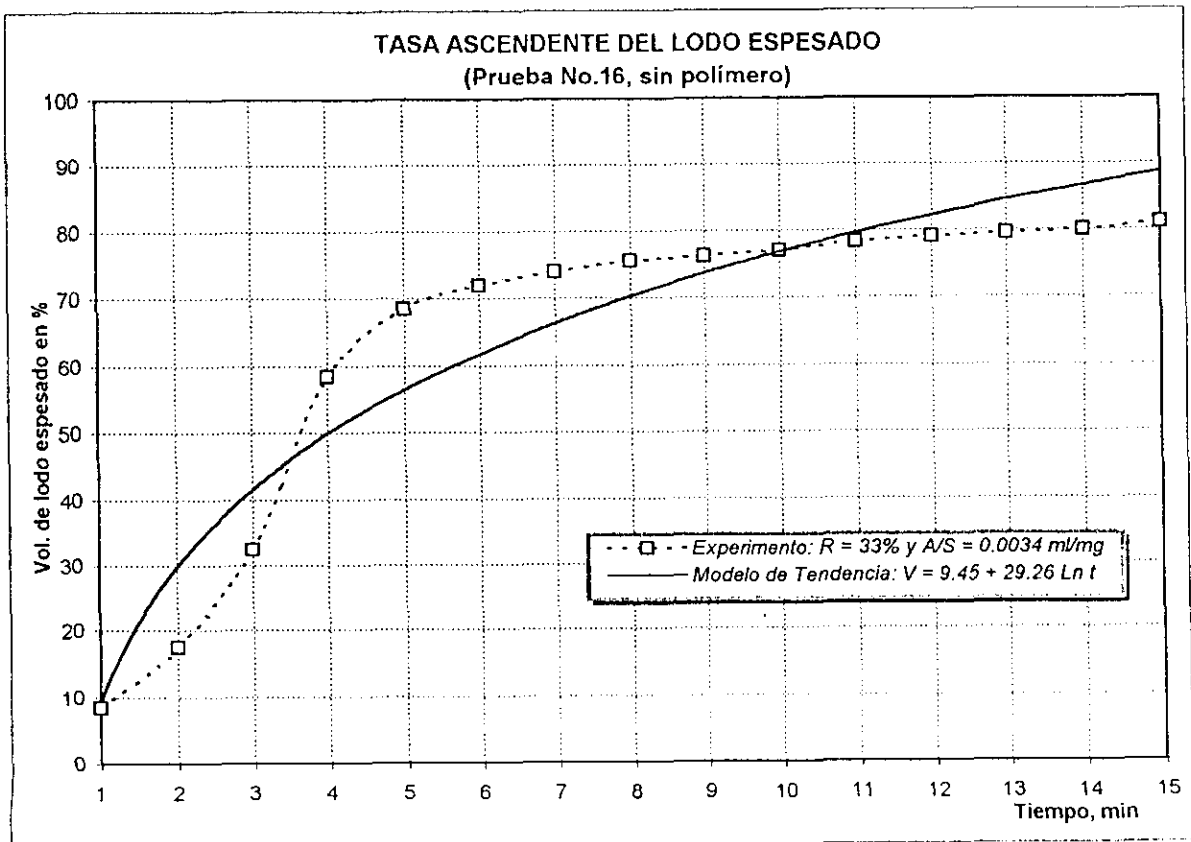
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 16 Fecha de análisis Julio, 2/1997
 Hora de muestreo 11:23 hs. Temperatura 22.4 °C

Fecha de muestreo Julio, 2/1997
 Densidad del lodo 0.9929 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0096	Lodo Crudo	25	61.1125	4,116	23.1263	Cruda	10	23.1621	3,580.0
64.4648	Espesado	25	64.8648	16,000	24.0919	Espesado	10	24.3765	28,460.0
					25.3533	Clarificada	25	25.3555	88

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	3.0	915	33	3.0	8.5
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	6.0	825	30	3.0	17.5
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	11.5	675	24.5	5.5	32.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	21.0	415	15.0	9.5	58.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,116 mg/l	5	24.5	315	11.5	3.5	68.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	17.98 ml/l	6	25.8	280	10.2	1.3	72.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	16,000 mg/l	7	26.5	260	9.5	0.7	74.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,580 mg/l	8	27.0	245	9.0	0.5	75.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	28,460 mg/l	9	27.3	238	8.7	0.3	76.2
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	88 mg/l	10	27.6	230	8.4	0.3	77.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.93 cm/min	11	28.0	218	8.0	0.4	78.2
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.36 %	12	28.2	210	7.8	0.2	79.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	2.85 %	13	28.5	205	7.5	0.3	79.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	97.84 %	14	28.6	200	7.4	0.1	80.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0034 ml/mg	15	28.9	190	7.1	0.3	81.0



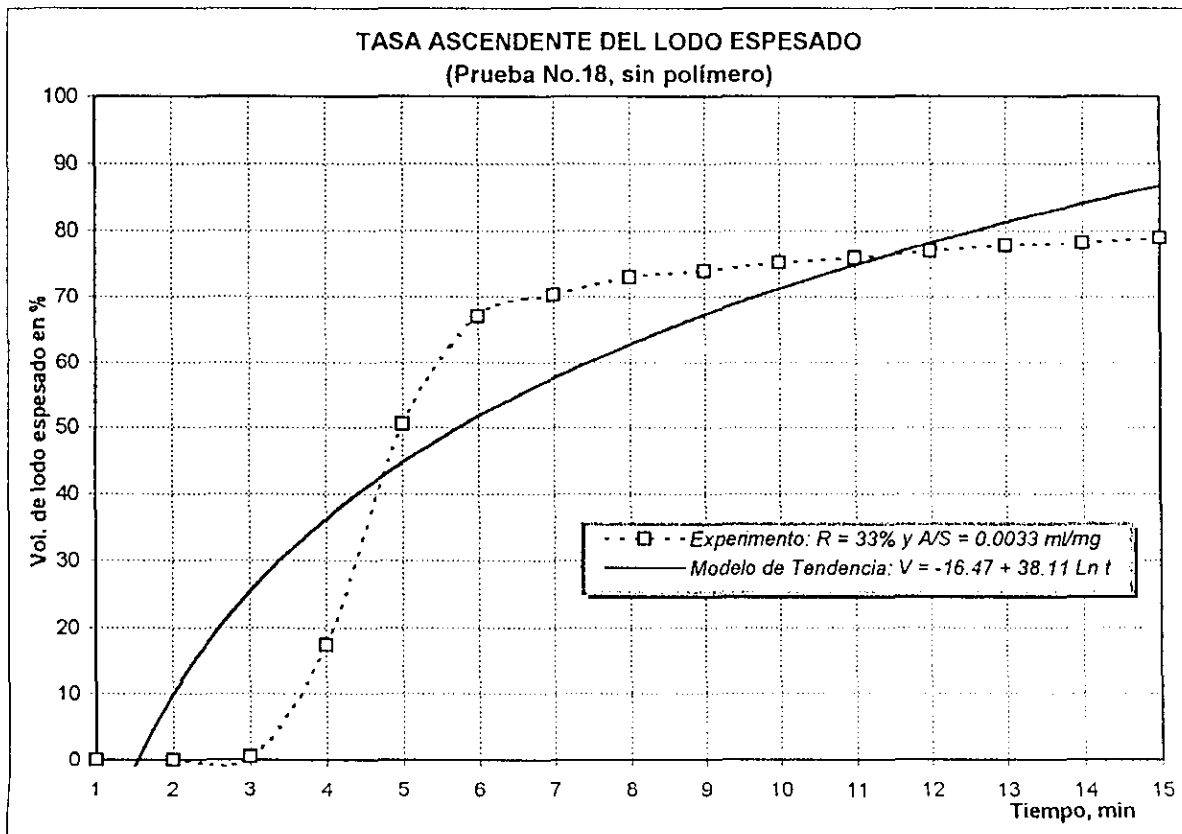
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 18 Fecha de análisis Julio, 3/1997
 Hora de muestreo 10:05 hs. Temperatura 22.4 °C

Fecha de muestreo Julio, 3/1997
 Densidad del lodo 0.9987 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
50.0530	Lodo Crudo	25	50.1519	3,956.0	24.0909	Cruda	10	24.1281	3,720.0
61.0081	Espesado	25	61.3511	13,720.0	23.1557	Espesado	10	23.2619	10,520.0
					30.7012	Clarificada	25	30.7062	200

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm.	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	1.5	950	34.5	1.5	0.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	6.0	825	30.0	4.5	17.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,956 mg/l	5	18.0	495	18.0	12.0	50.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	17.98 ml/l	6	24.0	330	12.0	6.0	67.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	13,720 mg/l	7	25.2	297	10.8	1.2	70.3
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,720 mg/l	8	26.0	270	10.0	0.8	73.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	10,520 mg/l	9	26.5	260	9.5	0.5	74.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	200 mg/l	10	27.0	248	9.0	0.5	75.2
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.88 cm/min	11	27.2	240	8.8	0.2	76.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.39 %	12	27.6	230	8.4	0.4	77.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.37 %	13	27.8	222	8.2	0.2	77.8
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	96.46 %	14	28.0	218	8.0	0.2	78.2
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0033 ml/mg	15	28.2	210	7.8	0.2	79.0



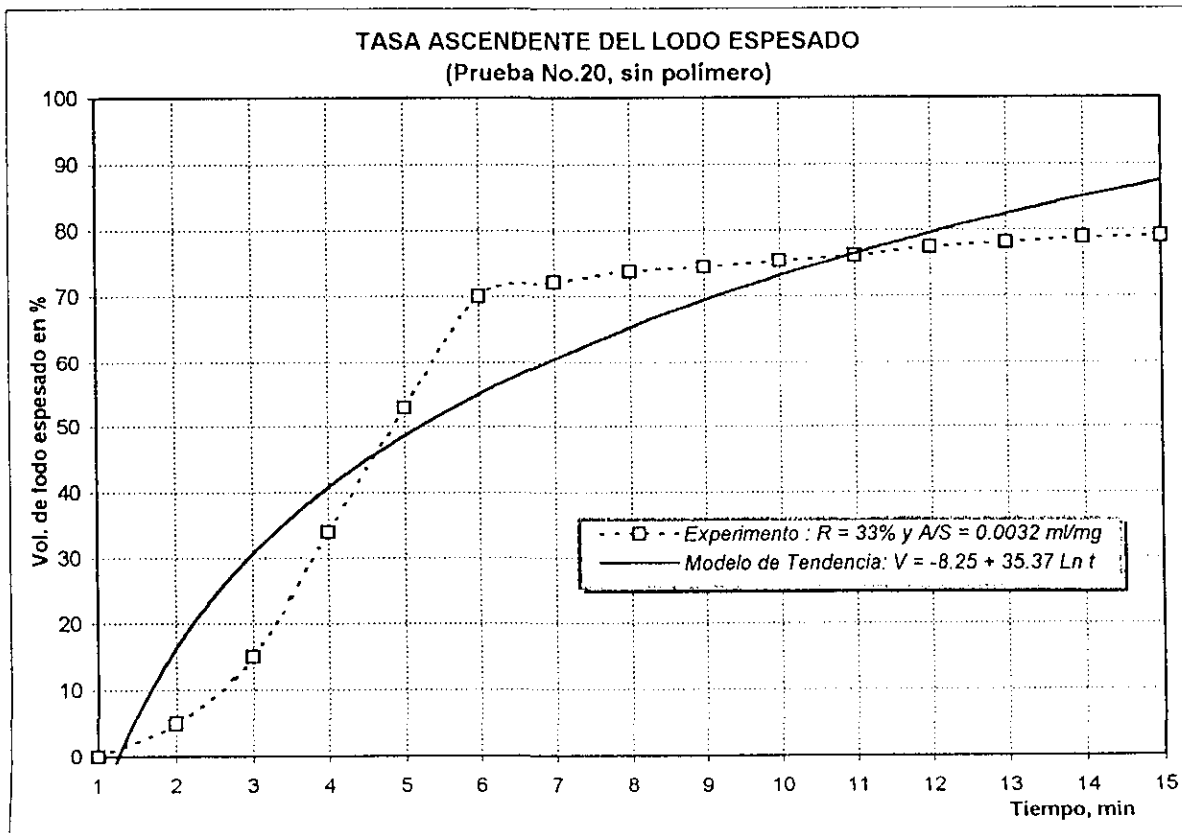
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 20 Fecha de análisis Julio, 4/1997
 Hora de muestra 11:42 hs. Temperatura 22.5 °C

Fecha de muestreo Julio, 4/1997
 Densidad del lodo 0.9982 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
50.0535	Lodo Crudo	25	50.1535	4,000.0	23.6715	Cruda	10	23.7099	3,840.0
61.0079	Espesado	25	61.3809	14,920.0	30.7102	Espesado	10	30.8274	11,722.0
					24.9009	Clarificada	25	24.9047	152

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCENDE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	1.6	950	34.4	1.6	5.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	5.0	850	31.0	3.4	15.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	12.0	660	24.0	7.0	34.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,000 mg/l	5	19.0	470	17.0	7.0	53.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	17.95 ml/l	6	25.1	300	10.9	6.1	70.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	14,920 mg/l	7	25.9	278	10.1	0.8	72.2
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,840 mg/l	8	26.3	262	9.7	0.4	73.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	11,722 mg/l	9	26.7	255	9.3	0.4	74.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	152 mg/l	10	27.1	245	8.9	0.4	75.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.87 cm/min	11	27.3	238	8.7	0.2	76.2
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.40 %	12	27.8	225	8.2	0.5	77.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.50 %	13	28.0	218	8.0	0.2	78.2
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	97.30 %	14	28.2	210	7.8	0.2	79.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0032 ml/mg	15	28.3	208	7.7	0.1	79.2



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 24

Fecha de análisis Julio, 8/1997

Fecha de muestreo Julio, 8/1997

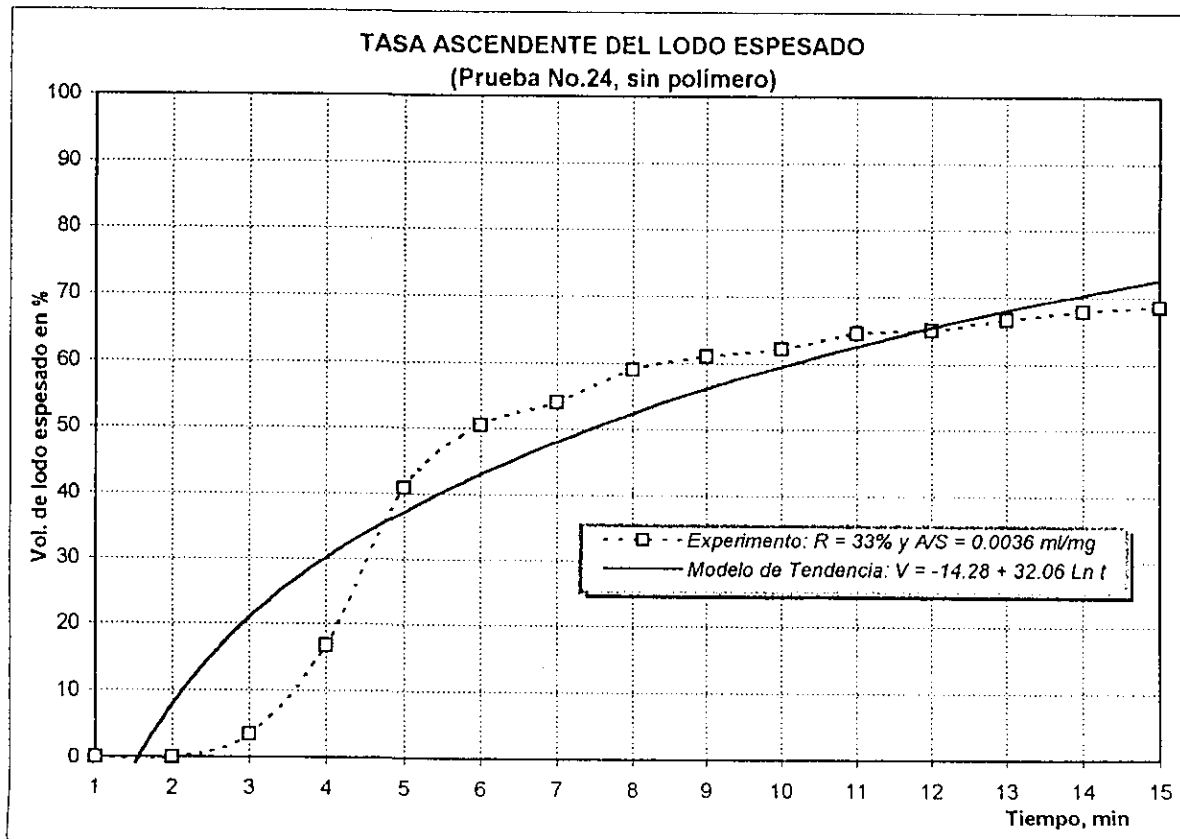
Hora de muestra 10:55 hs.

Temperatura 19.5 °C

Densidad del lodo 0.9977 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0043	Lodo Crudo	25	61.1042	3,996.0	22.5937	Cruda	25	22.6807	3,480.0
78.1553	Espesado	20	78.3450	9,485.0	24.9774	Espesado	10	25.0794	10,200.0
					24.0905	Clarificada	25	24.0917	48

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	1.0	965	35.0	1.0	3.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	5.7	832	30.3	4.7	16.8
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,996 mg/l	5	14.5	590	21.5	8.8	41.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.85 ml/l	6	18.0	495	18.0	3.5	50.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	9,485 mg/l	7	19.8	460	16.2	1.8	54.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,480 mg/l	8	21.1	410	14.9	1.3	59.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	10,200 mg/l	9	21.9	390	14.1	0.8	61.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	48 mg/l	10	22.3	378	13.7	0.4	62.2
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.63 cm/min	11	23.0	355	13.0	0.7	64.5
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.35 %	12	23.2	350	12.8	0.2	65.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.02 %	13	23.7	335	12.3	0.5	66.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.09 %	14	24.2	322	11.8	0.5	67.8
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0036 ml/mg	15	24.5	315	11.5	0.3	68.5



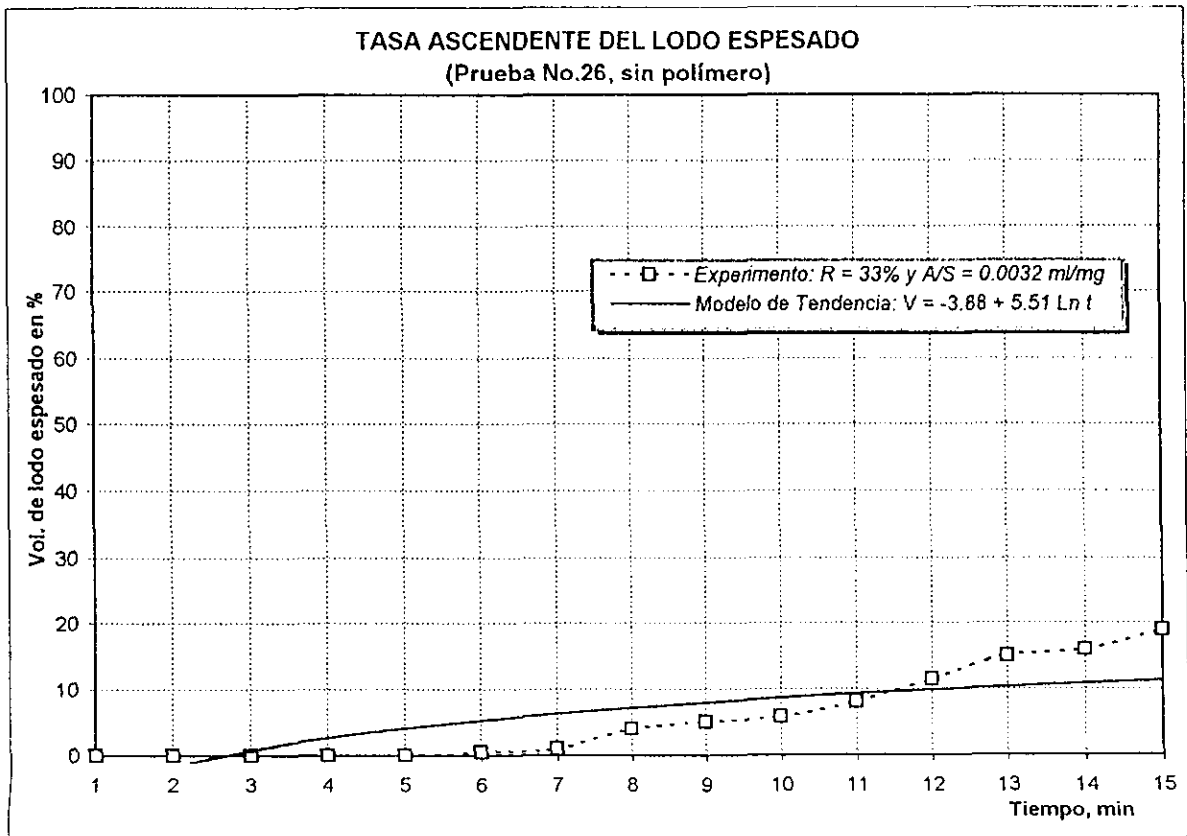
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 26 Fecha de análisis Julio, 9/1997
 Hora de muestre 11:52 hs. Temperatura 20 °C

Fecha de muestreo Julio, 9/1997
 Densidad del lodo 0.9904 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0064	Lodo Crudo	25	61.1464	5,600.0	22.5926	Cruda	25	22.7226	5,200.0
47.2205	Espesado	20	47.4383	10,890.0	25.0171	Espesado	10	25.1035	8,640.0
					25.4374	Clarificada	25	25.4413	156

PRUEBA SIN LA ADICIÓN DE POLÍMERO		TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	0.0	1000	36	0.0	0.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	0.0	1000	36	0.0	0.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5,600 mg/l	5	0.0	1000	36	0.0	0.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.7 ml/l	6	0.2	995	35.8	0.2	0.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	10,890 mg/l	7	0.6	990	35.4	0.4	1.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	5,200 mg/l	8	1.1	960	34.9	0.5	4.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	8,640 mg/l	9	1.5	950	34.5	0.4	5.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	156 mg/l	10	1.7	942	34.3	0.2	5.8
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	0.5 cm/min	11	2.7	920	33.3	1.0	8.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.56 %	12	3.8	886	32.2	1.8	11.4
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.09 %	13	4.7	850	31.3	0.9	15.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.78 %	14	5.5	840	30.5	0.8	16.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0032 ml/mg	15	6.8	810	29.2	1.3	19.0



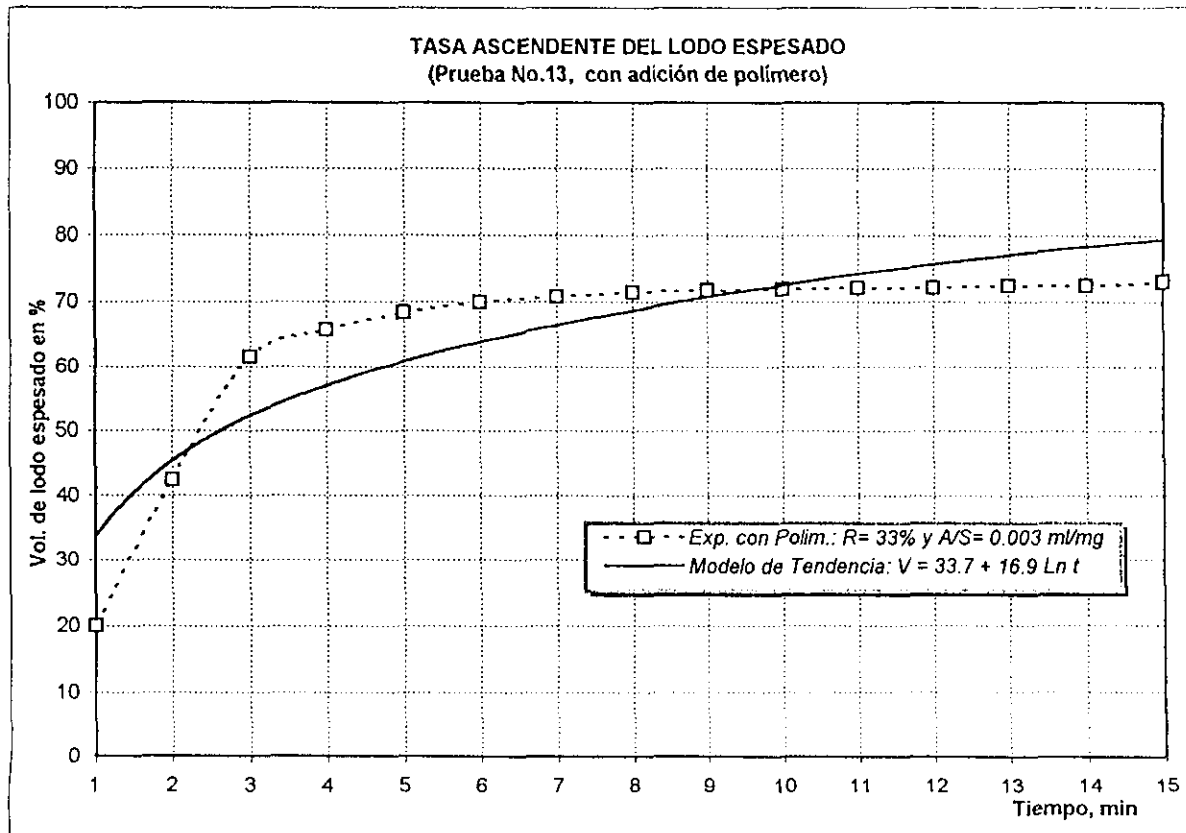
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 13 Fecha de análisis Julio, 1/1997
 Hora de muestre 11:24 hs. Temperatura 22 °C

Fecha de muestreo Julio, 1/1997
 Densidad del lodo 0.9961 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0102	Lodo Crudo	25	61.1172	4,280	21.5636	Cruda	25	21.6647	4,044
78.1547	Espesado	25	78.3517	7,880	25.3530	Cruda C/P	10	25.4431	9,012
					25.0172	Espesado	10	25.1565	13,930
					24.7249	Clarificada	25	24.7252	12

	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, HATA FLOTANTE	TASA ASCEN. cm/min	% LODO ESPESADO
POLIMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA 3 ml/l						
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO 750 ml	1	7.0	800	29	7.0	20.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA 4.2 Kg/cm ²	2	15.0	575	16.0	8.0	42.5
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO 250 ml	3	22.0	385	14.0	7.0	61.5
TASA DE RECIRCULACIÓN 33 %	4	23.5	342	12.5	1.5	65.8
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA 4,280 mg/l	5	24.5	315	11.5	1.0	68.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a 18,1 ml/l	6	25.0	300	11.0	0.5	70.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO 7,880 mg/l	7	25.3	292	10.7	0.3	70.8
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA 4,044 mg/l	8	25.5	285	10.5	0.2	71.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO 13,930 mg/l	9	25.6	282	10.4	0.1	71.8
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO 12 mg/l	10	25.7	280	10.3	0.1	72.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE 1.7 cm/min	11	25.8	278	10.2	0.1	72.2
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO 0.40 %	12	25.8	278	10.2	0.0	72.2
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO 1.40 %	13	25.9	275	10.1	0.1	72.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO 99.79 %	14	25.9	275	10.1	0.0	72.5
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA 0.003 ml/mg	15	26.0	270	10.0	0.1	73.0



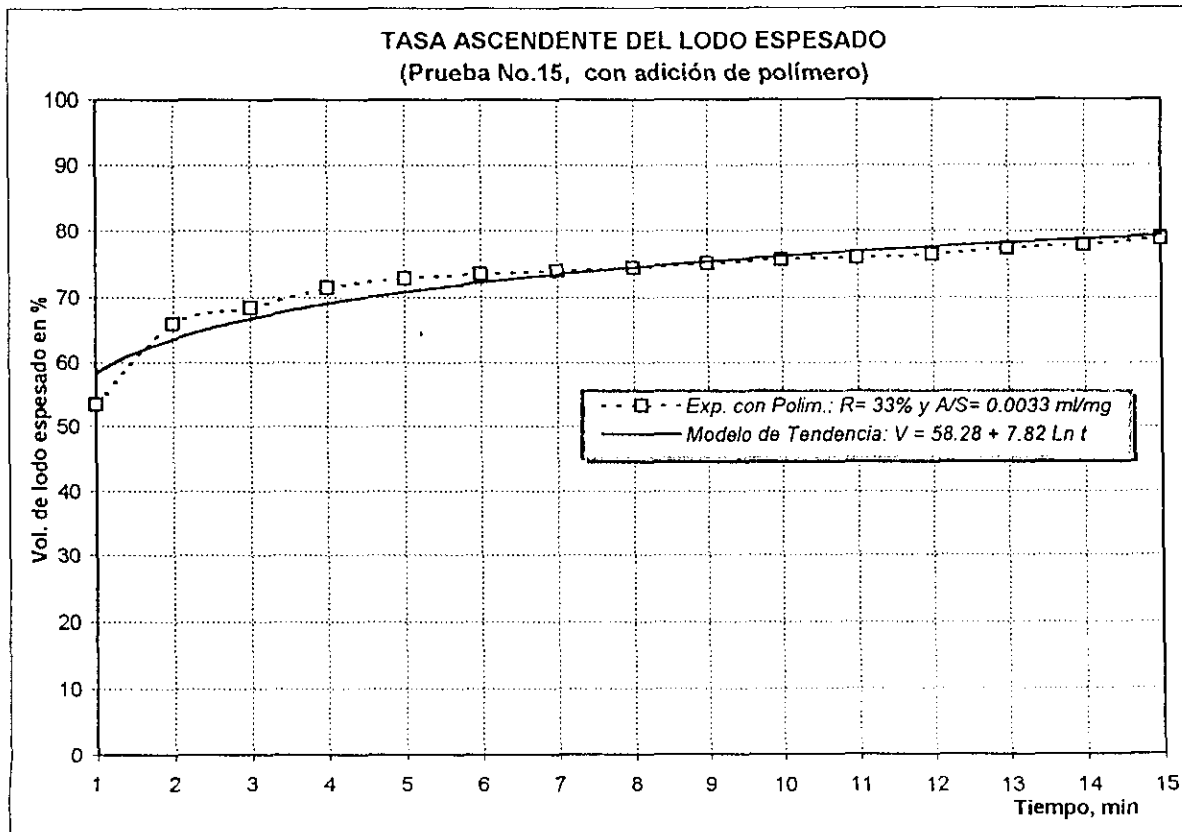
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 15 Fecha de análisis Julio, 1/1997
 Hora de muestro 11:24 hs. Temperatura 22 °C

Fecha de muestreo Julio, 1/1997
 Densidad del lodo 0.993 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, (mg/l)	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, (mg/l)
47.2238	Lodo Crudo	25	47.3251	4,052.0	25.0183	Cruda	25	25.1085	3,608.0
63.8661	Espesado	20	64.1819	15,790.0	24.0919	Cruda C/P	10	24.1997	10,780.0
					23.1262	Espesado	10	23.3708	24,460.0
					30.7014	Clarificada	25	30.7027	52.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4%	DOSIS EMPLEADA	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, HATA FLOTANTE	TASA ASC. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	19.2	465	16.8	19.2	53.5
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	23.6	340	12.4	4.4	66.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	24.5	315	11.5	0.9	68.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	25.5	285	10.5	1.0	71.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,052 mg/l	5	26.0	272	10.0	0.5	72.8
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.1 ml/l	6	26.2	265	9.8	0.2	73.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	15,790 mg/l	7	26.4	260	9.6	0.2	74.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,608 mg/l	8	26.7	255	9.3	0.3	74.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	24,460 mg/l	9	26.9	248	9.1	0.2	75.2
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	52 mg/l	10	27.1	242	8.1	0.2	75.8
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.87 cm/min	11	27.3	240	8.7	0.2	76.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.36 %	12	27.5	235	8.5	0.2	76.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	2.45 %	13	27.7	225	8.3	0.2	77.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.7 %	14	27.9	220	8.1	0.2	78.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0033 ml/mg	15	28.1	210	7.9	0.2	79.0



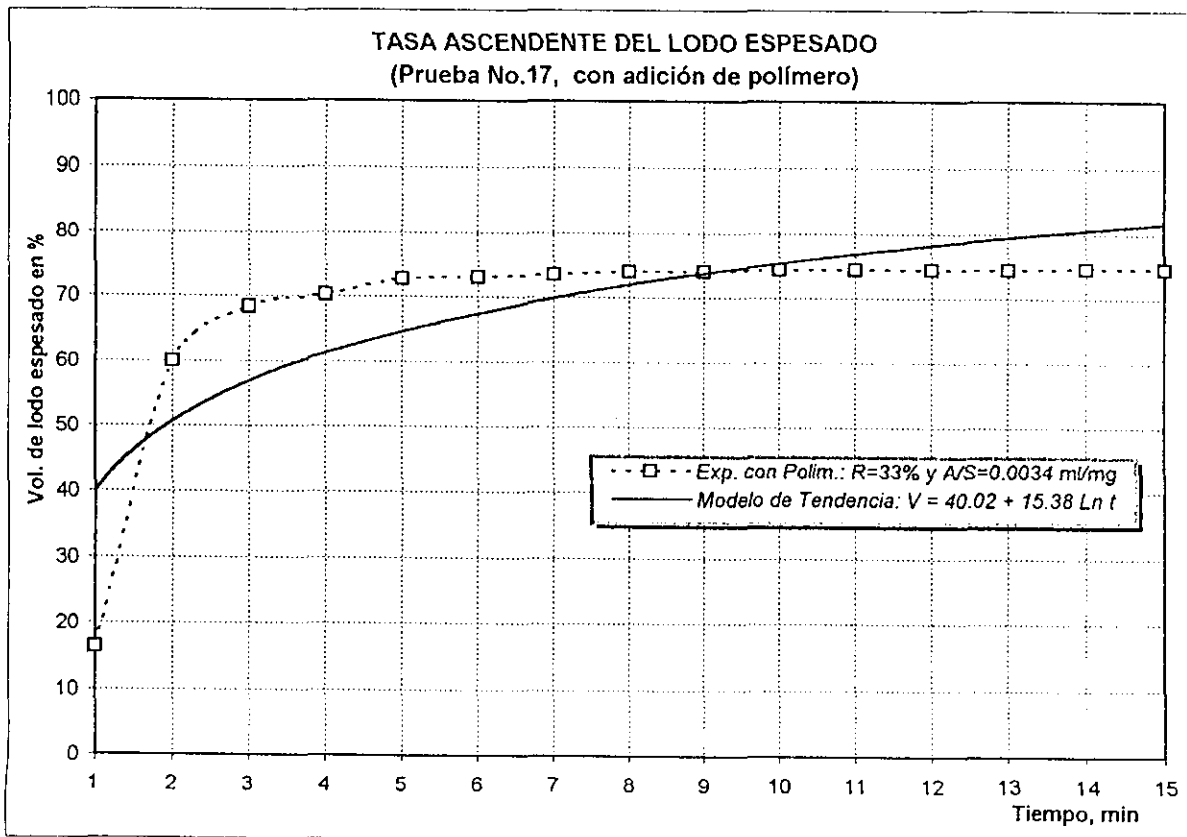
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 17 Fecha de análisis Julio, 2/1997
 Hora de muestreo 11:23 hs. Temperatura 22.4 °C

Fecha de muestreo Julio, 2/1997
 Densidad del lodo 0.9964 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0096	Lodo Crudo	25	61.1125	4,116.0	23.1263	Cruda	10	23.1621	3,580.0
56.0947	Espesado	28	56.5293	15,521.0	30.7012	Cruda C/P	10	30.8009	9,974.0
					24.7229	Espesado	10	24.8957	17,280.0
					22.1303	Clarificada	25	22.1308	20.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	3 ml/l	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	3.8	836	32.2	3.8	16.4
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	21.4	400	14.6	17.6	60.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	24.5	315	11.5	3.1	68.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	25.2	297	10.8	0.7	70.3
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,116 mg/l	5	26.0	272	10.0	0.8	72.8
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S ₁	17.98 ml/l	6	26.1	270	9.9	0.9	73.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	15,790 mg/l	7	26.3	265	9.7	0.3	73.5
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,580 mg/l	8	26.5	260	9.5	0.4	74.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	17,280 mg/l	9	26.5	256	9.5	0.0	74.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	20 mg/l	10	26.6	256	9.4	0.1	74.4
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.85 cm/min	11	26.6	256	9.4	0.0	74.4
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.36 %	12	26.6	256	9.4	0.0	74.4
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.73 %	13	26.6	256	9.4	0.0	74.4
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.56 %	14	26.7	254	9.3	0.1	74.6
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0034 ml/mg	15	26.7	254	9.3	0.0	74.6



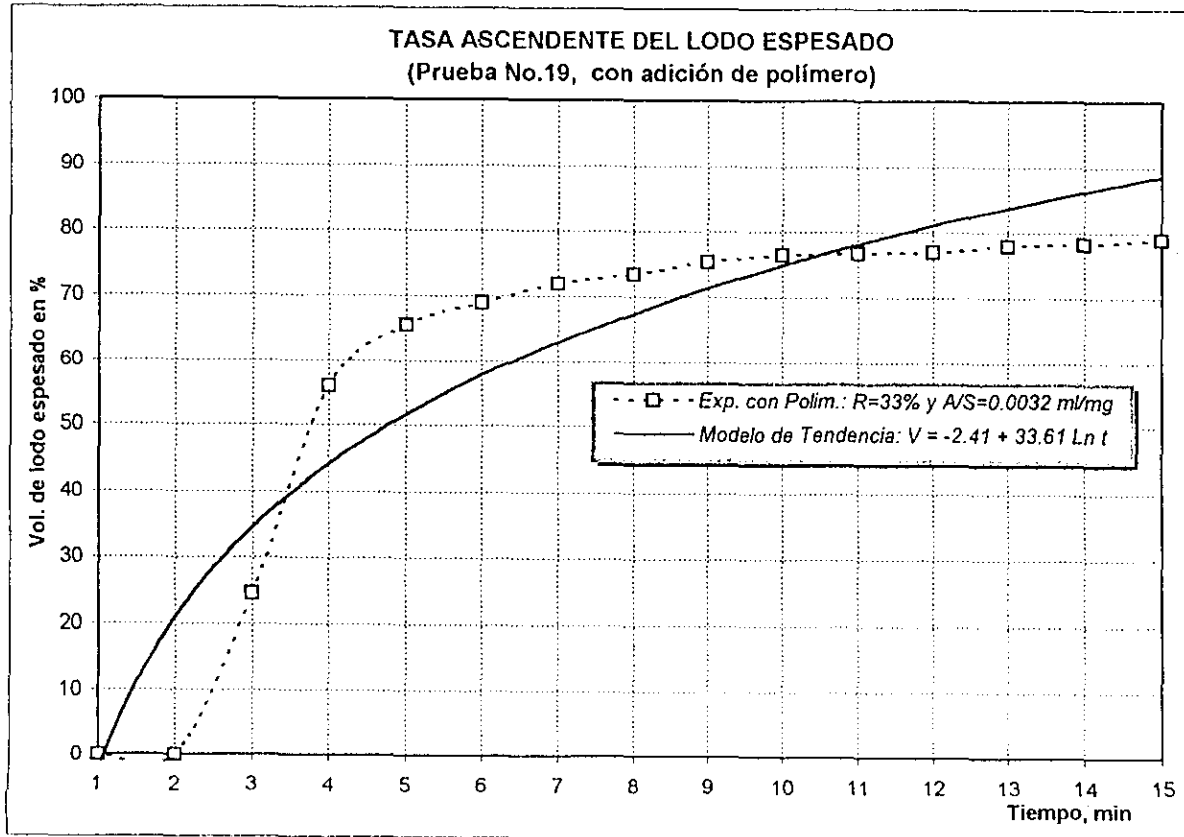
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 19 Fecha de análisis Julio, 3/1997
 Hora de muestreo 10:05 hs. Temperatura 22.4 °C

Fecha de muestreo Julio, 3/1997
 Densidad del lodo 0.9987 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cta.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cta.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
50.0530	Lodo Crudo	25	50.1519	3,956.0	24.0909	Cruda	10	24.1281	3,720.0
69.4898	Espesado	20	69.7722	14,120.0	30.7102	Cruda C/P	10	30.7980	6,780.0
					23.8331	Espesado	10	23.9936	16,050.0
					24.5735	Clarificada	25	24.5752	68.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	1 ml/l	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LQDO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE, cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	8.5	755	27.5	8.5	24.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	20.0	440	16.0	11.5	56.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,956 mg/l	5	23.5	344	12.5	3.5	65.6
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S ₀	17.98 ml/l	6	24.7	310	11.3	1.2	69.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	15,120 mg/l	7	25.7	280	10.3	1.0	72.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,720 mg/l	8	26.7	265	9.7	0.6	73.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	16,050 mg/l	9	26.3	245	9.0	0.7	75.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	68 mg/l	10	27.0	235	8.7	0.3	76.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.88 cm/min	11	27.5	232	8.5	0.2	76.8
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.37 %	12	27.6	230	8.4	0.1	77.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.73 %	13	27.9	220	8.1	0.3	78.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.59 %	14	28.0	217	8.0	0.1	78.3
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0032 ml/mg	15	28.2	210	7.8	0.2	79.0



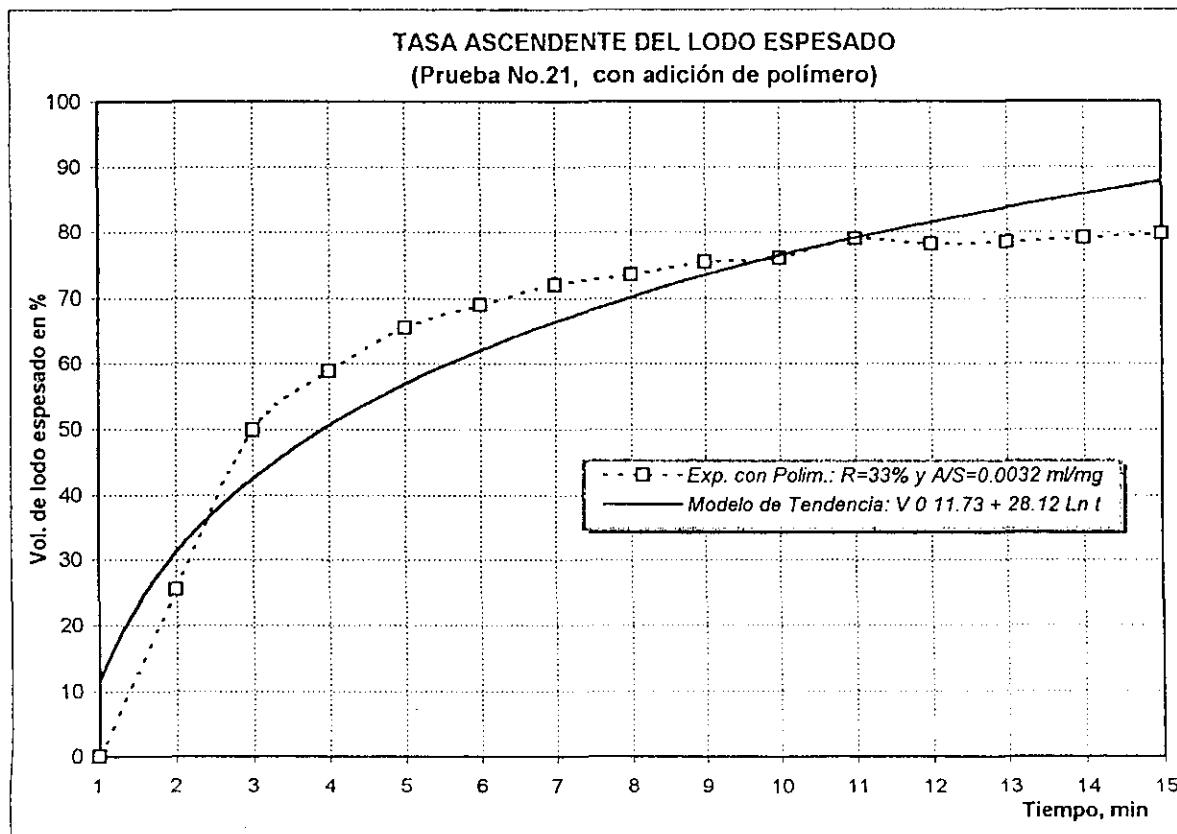
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 21 Fecha de análisis Julio, 4/1997
 Hora de muestra 11:42 hs. Temperatura 22.5 °C

Fecha de muestreo Julio, 4/1997
 Densidad del lodo 0.9982 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
50.0535	Lodo Crudo	25	50.1535	4,000.0	23.6715	Cruda	10	23.7099	3,840.0
69.4898	Espesado	20	69.8128	16,150.0	24.9774	Cruda C/P	10	25.0864	10,900.0
					24.8401	Espesado	10	25.0207	18,060.0
					23.5736	Clarificada	25	23.5745	96.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	1 ml/l	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCE, cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.3 Kg/cm ²	2	9.0	754	27.0	9.0	25.5
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	17.8	500	18.2	8.8	50.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	21.0	412	15.0	3.2	58.8
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	4,000 mg/l	5	23.4	345	12.6	2.4	65.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S ₂	17.95 ml/l	6	24.7	310	11.3	1.3	69.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	16,150 mg/l	7	25.8	280	10.2	1.1	72.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,840 mg/l	8	26.3	265	9.7	0.5	73.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	18,060 mg/l	9	27.0	245	9.0	0.7	75.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	36 mg/l	10	27.3	240	8.7	0.3	76.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.89 cm/min	11	27.6	230	8.4	0.3	79.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.38 %	12	28.0	218	8.0	0.4	78.2
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.81 %	13	28.1	215	7.9	0.1	78.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.26 %	14	28.3	208	7.7	0.2	79.2
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0032 ml/mg	15	28.4	202	7.6	0.1	79.8



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 23

Fecha de análisis Julio, 8/1997

Fecha de muestreo Julio, 8/1997

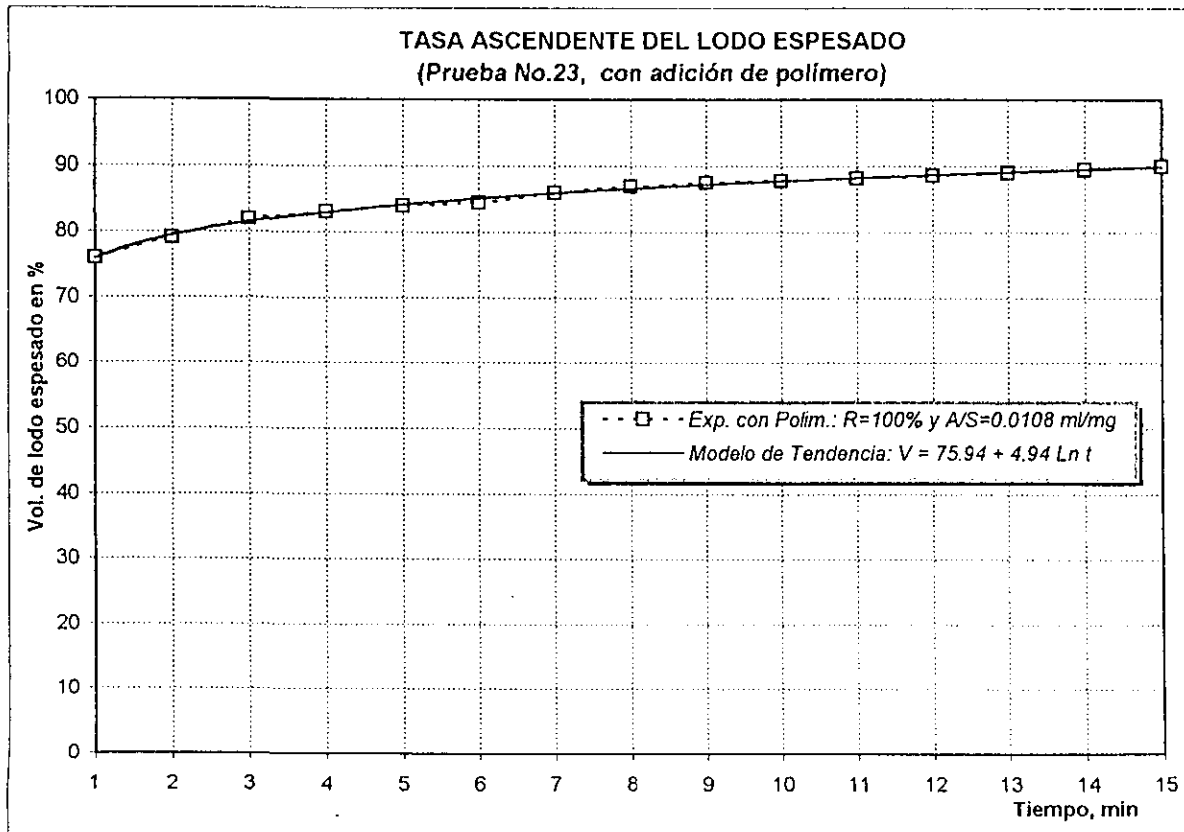
Hora de muestra 10:55 hs.

Temperatura 19.5 °C

Densidad del lodo 0.9979 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT. [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SS _T [mg/l]
61.0043	Lodo Crudo	25	61.1042	3,996.0	22.5937	Cruda	25	22.6807	3,480.0
50.0541	Espesado	20	50.4380	19,195.0	30.7014	Cruda C/P	10	30.8085	10,710.0
					21.6352	Espesado	10	21.8127	17,750.0
					25.0162	Clarificada	25	25.0183	84.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4%	TIEMPO, min.	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
DOSIS EMPLEADA 1 ml/l						
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO 500 ml	1	27.2	240	8.8	27.2	76.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA 4.2 Kg/cm ²	2	28.4	208	7.6	1.2	79.2
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO 500 ml	3	29.4	180	6.6	1.0	82.0
TASA DE RECIRCULACIÓN 100 %	4	30.0	168	6.0	0.6	83.2
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA 3,996 mg/l	5	30.5	160	5.5	0.5	84.0
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a 18.85 ml/l	6	30.7	155	5.3	0.2	84.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO 19,195 mg/l	7	30.9	140	5.1	0.2	84.5
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA 3,480 mg/l	8	31.1	130	4.9	0.2	86.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO 17,750 mg/l	9	31.3	125	4.7	0.2	87.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO 84 mg/l	10	31.4	122	4.6	0.1	87.5
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE 2.15 cm/min	11	31.6	118	4.4	0.2	87.8
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO 0.40 %	12	31.7	114	4.3	0.1	88.2
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO 1.92 %	13	31.9	110	4.1	0.2	88.6
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO 98.05 %	14	32.1	105	3.9	0.2	89.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA 0.0108 ml/mg	15	32.2	100	3.8	0.1	90.0



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 25

Fecha de análisis Julio, 8/1997

Fecha de muestreo Julio, 8/1997

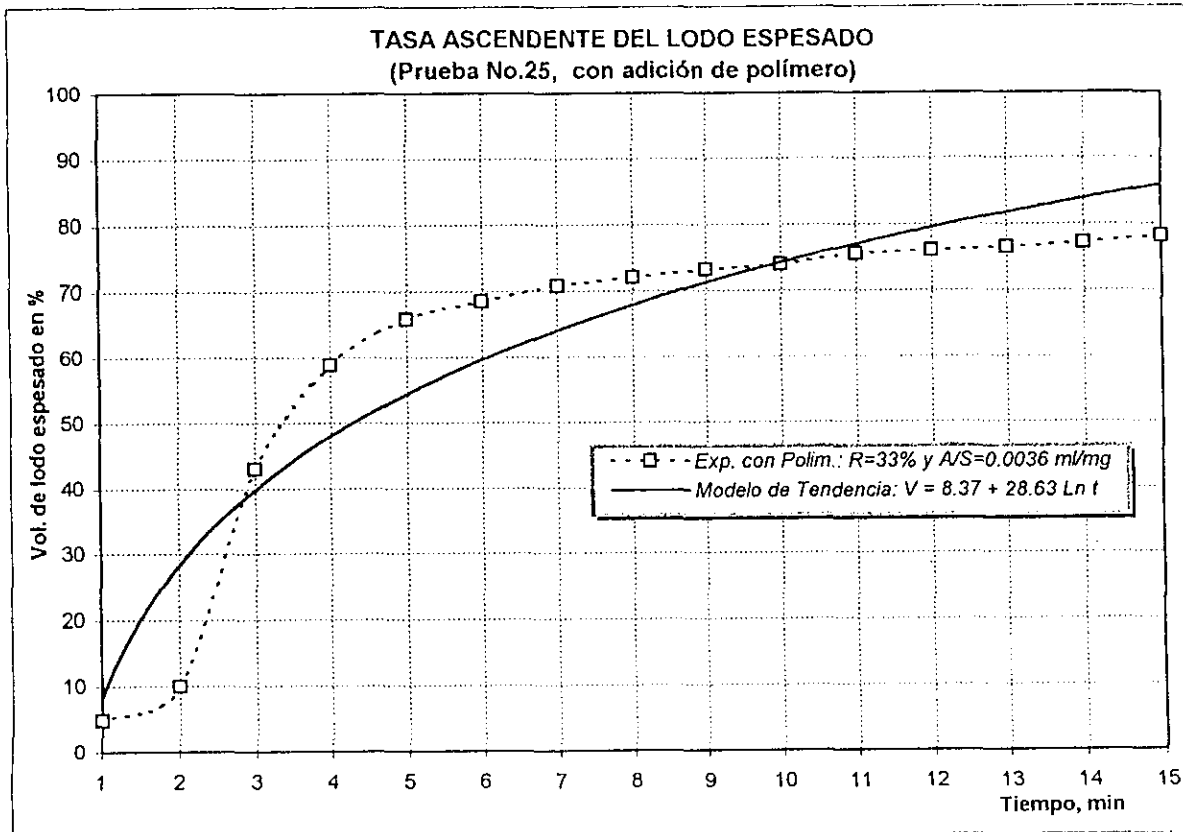
Hora de muestreo 10:55 hs.

Temperatura 19.5 °C

Densidad del lodo 0.9979 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0043	Lodo Crudo	25	61.1042	3,996.0	22.5937	Cruda	25	22.6807	3,480.0
64.4645	Espesado	20	64.7325	13,400.0	30.7014	Cruda C/P	10	30.8090	10,710.0
					23.1261	Espesado	10	23.2638	13,770.0
					23.8330	Clarificada	25	23.8348	72.0

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	1 ml/l	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm, NATA FLOTANTE	TASA ASCEN. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	1.5	950	34.5	1.5	5.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	3.3	900	32.7	1.8	10.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	15.3	570	21.7	12.0	43.0
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	21.0	412	15.0	5.7	58.8
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,996 mg/l	5	23.5	342	12.5	2.5	65.8
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.85 ml/l	6	24.5	315	11.5	1.0	68.5
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	13,400 mg/l	7	25.3	292	10.7	0.8	70.8
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	3,480 mg/l	8	25.8	280	10.2	0.2	72.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	13,770 mg/l	9	26.2	268	9.8	0.4	73.2
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	72 mg/l	10	26.5	260	9.5	0.3	74.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.85 cm/min	11	27.0	245	9.0	0.5	75.5
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.40 %	12	27.1	240	8.9	0.1	76.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.34 %	13	27.5	235	8.5	0.4	76.5
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.40 %	14	27.7	228	8.3	0.2	77.2
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0036 ml/mg	15	28.0	218	8.0	0.3	78.2



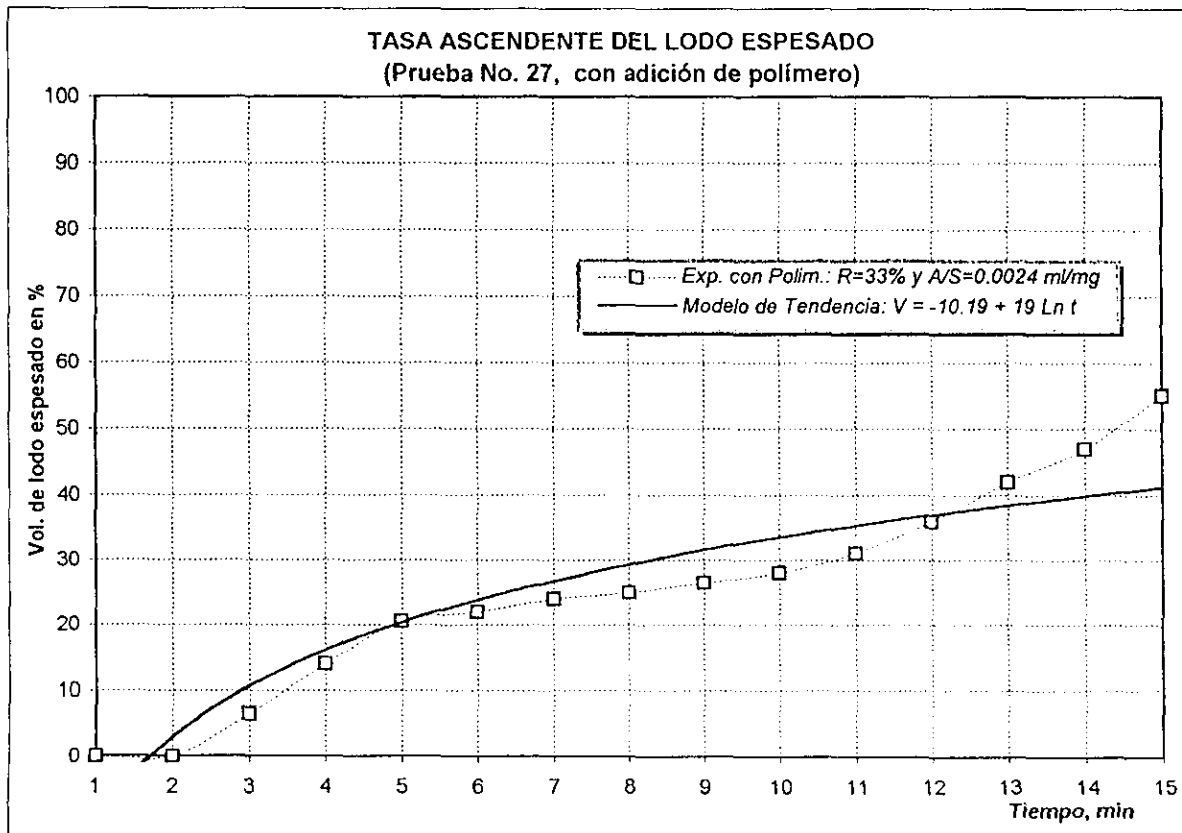
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 27 Fecha de análisis Julio, 9/1997
 Hora de muestreo 11:52 hs. Temperatura 20 °C

Fecha de muestreo Julio, 9/1997
 Densidad del lodo 0.9904 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	STT, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	STT, [mg/l]
61.0064	Lodo Crudo	25	61.1464	5,600.0	22.5926	Cruda	25	22.7226	5,200.0
78.1529	Espesado	20	78.5082	17,765.0	30.7014	Cruda C/P	10	30.8200	11,860.0
					22.5959	Espesado	10	22.7532	15,730.0
					24.9777	Clarificada	25	24.9858	324

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	4 ml/l	TIEMPO, min	INTERFASE cm	mt LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCEN. cm/min	% LODO ESPESADO
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	0.0	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	0.0	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	2.13	935	33.9	2.1	6.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	4.8	860	31.2	2.7	14.0
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5,600 mg/l	5	7.2	795	28.8	2.4	20.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.7 ml/l	6	7.7	780	28.3	0.5	22.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	17,765 mg/l	7	8.2	760	27.8	0.5	24.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	5,200 mg/l	8	8.7	750	27.3	0.5	25.0
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	15,730 mg/l	9	9.3	735	26.7	0.6	26.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	324 mg/l	10	9.7	720	26.3	0.4	28.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.3 cm/min	11	10.8	690	25.2	1.1	31.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.56 %	12	12.8	640	23.2	2.0	36.0
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.78 %	13	14.9	580	21.1	2.1	42.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	95.74 %	14	16.8	530	19.2	1.9	47.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0024 ml/mg	15	19.5	450	16.5	2.7	55.0



RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 28

Fecha de análisis Julio, 9/1997

Fecha de muestreo Julio, 9/1997

Hora de muestra 11:52 hs.

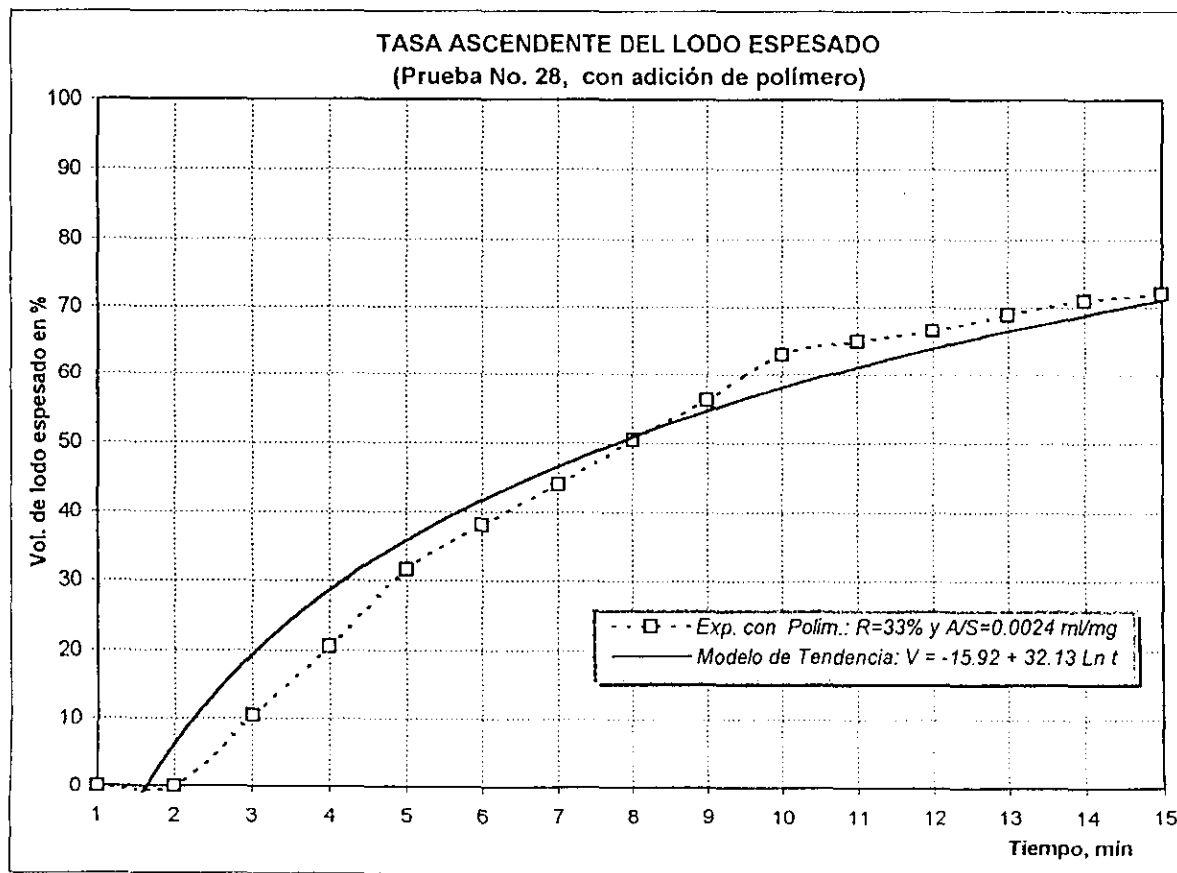
Temperatura 20 °C

Densidad del lodo 0.9904 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, [mg/l]	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, [mg/l]
61.0064	Lodo Crudo	25	61.1464	5,600.0	22.5926	Cruda	25	22.7226	5,200.0
50.0539	Espesado	10	50.3077	25,380.0	30.7019	Cruda C/P	10	30.8205	11,860.0
					24.5741	Espesado	10	24.7369	16,280.0
					21.6363	Clarificada	25	21.6395	128

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4% DOSIS EMPLEADA	TIEMPO, min	INTERFASE cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE cm/min	% LODO ESPESADO
6 ml/l						
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml	1	1000	36	0.0	0.0
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.2 Kg/cm ²	2	1000	36	0.0	0.0
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml	3	895	32.5	3.5	10.5
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %	4	795	28.8	3.7	20.5
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	5,600 mg/l	5	695	25.2	3.6	31.5
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	18.7 ml/l	6	620	22.7	2.5	38.0
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	25,380 mg/l	7	560	20.3	2.4	44.0
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	5,200 mg/l	8	495	18.0	2.3	50.5
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	16,280 mg/l	9	438	15.8	2.2	56.2
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	128 mg/l	10	370	13.5	2.3	63.0
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.71 cm/min	11	350	12.8	0.7	65.0
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.56 %	12	335	12.2	0.6	66.5
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	2.54 %	13	310	11.3	0.9	69.0
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	98.31 %	14	290	10.7	0.6	71.0
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0024 ml/mg	15	280	10.3	0.4	72.0

TASA ASCENDENTE DEL LODO ESPESADO
(Prueba No. 28, con adición de polímero)



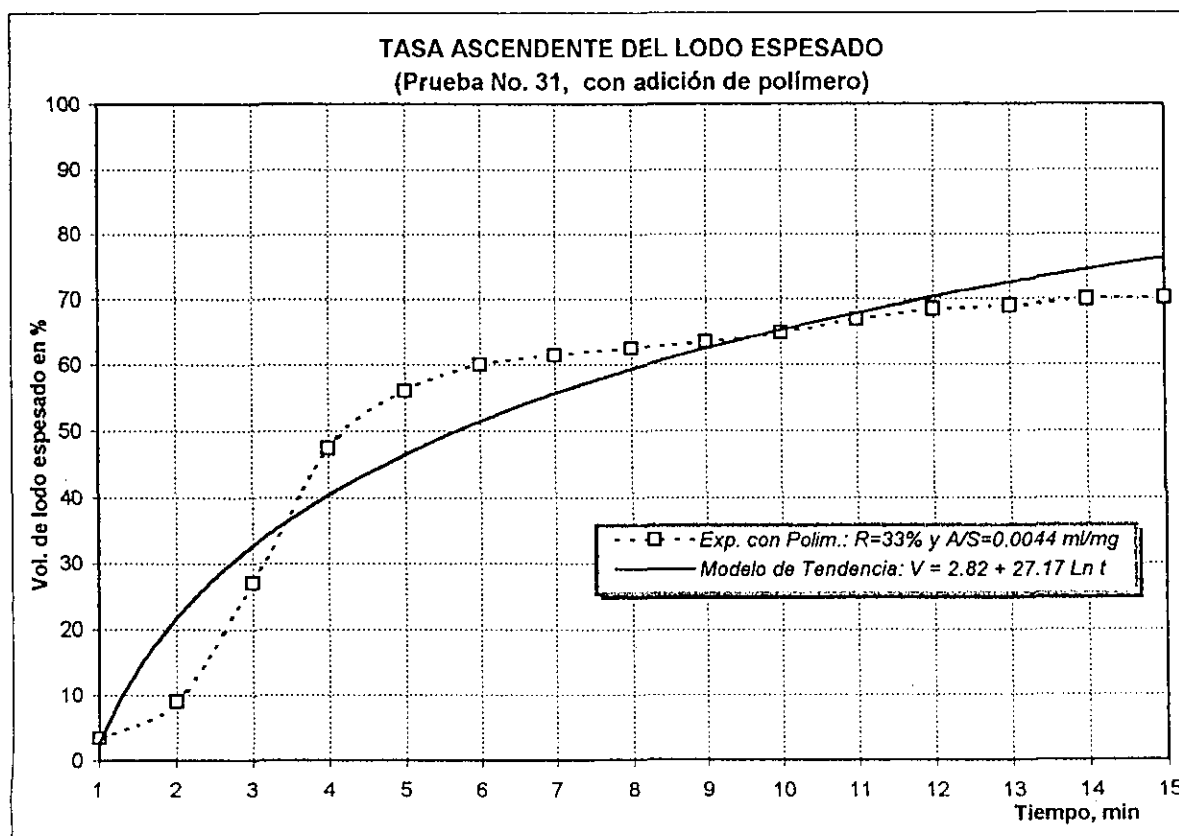
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO DEL PROCESO D.A.F.

Análisis No. 31 Fecha de análisis Agosto, 5/1997 Fecha de muestreo Agosto, 5/1997
 Hora de muestreo 10:43 hs. Temperatura 23 °C Densidad del lodo 0.9916 kg/L

SÓLIDOS TOTALES TOTALES					SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
Peso Cte.	Muestra	Volumen ml	Peso+R.S.	SST, (mg/l)	Peso Cte.	Muestra	Volumen	Peso + R.S.	SST, (mg/l)
61.0047	Lodo Crudo	25	61.1010	3,852.0	23.1287	Cruda	25	23.2005	2,872.0
63.8655	Espesado	25	64.0823	8,672.0	25.0162	Cruda C/P	10	25.0975	8,128.0
					24.5741	Espesado	10	24.7212	14,710.0
					23.8344	Clarificada	25	23.8345	4

TIEMPO, min	INTERFASE, cm	ml LODO ESPESADO	cm. NATA FLOTANTE	TASA ASCE, cm/h	% LODO ESPESADO
1	1.0	965	35.0	1.0	3.5
2	3.0	910	33.0	2.0	9.0
3	9.5	730	26.5	6.5	27.0
4	17.0	525	19.0	7.5	47.5
5	20.0	440	16.0	3.0	58.0
6	21.5	400	14.5	1.5	60.0
7	22.0	385	14.0	0.5	61.5
8	22.4	375	13.6	0.4	62.5
9	22.8	364	13.2	0.4	63.6
10	3.45	350	12.6	0.6	65.0
11	24.0	330	12.0	0.6	67.0
12	24.5	315	11.5	0.5	68.5
13	24.8	310	11.2	0.3	69.0
14	25.0	300	11.0	0.2	70.0
15	25.2	298	10.8	0.2	70.2

POLÍMERO USADO: "CYTEC" EMULSIÓN AL 0.4%	
DOSIS EMPLEADA	3 ml/l
VOLUMEN DE MUESTRA CRUDA DE LODO	750 ml
PRESIÓN SUMINISTRADA EN LA CELDA	4.4 Kg/cm ²
VOLUMEN DEL LÍQUIDO PRESURIZADO	250 ml
TASA DE RECIRCULACIÓN	33 %
SÓLIDOS TOTALES DE LA MUESTRA CRUDA	3,852 mg/l
SOLUBILIDAD DEL AIRE, S _a	17.8 ml/l
SÓLIDOS TOTALES DEL LODO ESPESADO	8,672 mg/l
SÓLIDOS SUSP. DE LA MUESTRA CRUDA	2,872 mg/l
SÓLIDOS SUSP. DEL LODO ESPESADO	14,710 mg/l
SÓLIDOS SUSP. DEL LÍQUIDO CLARIFICADO	4 mg/l
TASA DEL FLUJO ASCENDENTE	1.68 cm/min
CONCENTRACIÓN DE LODO CRUDO	0.29 %
CONCENTRACIÓN DE LODO ESPESADO	1.47 %
TASA DE REMOCIÓN DE LODO ESPESADO	99.89 %
RELACIÓN A/S PARA ESTA PRUEBA	0.0044 ml/mg



Anexo 2

**GUÍA PARA SOLUCIONAR FALLAS DE OPERACIÓN
EN LA UNIDAD DE FLOTACIÓN DAF**

BIBLIOGRAFÍA**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Aguilar U. V. (1997), Jefe de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de "Toluca Oriente", Edo de México, Mex. Comunicación personal.
2. APHA, AWWA, APCF, (1992), "Standard Methods for the Examination of Wastewater", 18^{va} ed., American Public Association, Washington D.C., EUA. pp 2-53 a 2-58.
3. AIDIS (1996), "Tratamiento de Aguas Residuales", Memoria Vol. 1, Consolidación para el Desarrollo, XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 3 al 7 de noviembre de 1996. México. pp 88-95.
4. AWWA, (1990), "Water Quality and Treatment" a handbook of community water supplies, Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc. pp 426-450.
5. Benefield, L.D. y Randall, C.W. (1980) "Biological Proces Design for Wastewater Treatment" Prentice-Hal, inc., Englewood cliffs, EUA.
6. Borchardt, Redman, Jones & Spragme (1981), "Sludge and Its Ultimate Disposal", Edi, Ann Arbor Science, publishers inc./ the Butterworth group EUA. pp. 83-90.
7. Cardoso V. L, Ramírez C. E. y López A. S., (1992) "Metodo para la Selección de Disposición o Aprovechamiento de Lodos Residuales", Memoria VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, SMISA, A.C., Cocoyoc Morelos, México. pp V-90 a V-95.
9. CNA (1997), "Ley de Aguas Nacionales -Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales-", (1996), 2a. edición, Gerencia de Recaudación y Control de la Subdirección General de Administración del Agua, México. pp 138 y 139.
10. CNA (1997), "Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales", junio/1997, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. México.
11. CNA (1994), "Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos", Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, libro II, sep/1994, México, pp III-77 y III-78.

12. Colin, C.A. y Madrigal U. D. (1992), "Proyecto Regional Estudio Integral de Lodos Residuales", Memoria VI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, SMISA, A.C., Cocoyoc Morelos, México. pp V-108 a V-113.
13. Colin, C.A. y Moreno, A.J., "Caracterización de los lodos residuales de la empresa Ecosistemas, SA de CV, para la prevención y control de la contaminación del agua, Toluca-Lerma Informe 16-1/6, junio, México.
14. Culp, R.L., Wesner, G. y Culp, G., (1978), "Handbook of Advanced Wastewater Treatment", 2^{da} ed. Van Nostrand Reinhold, EUA. pp 431 y 448.
15. Cheremisinoff, P.N. (1993), "Water Management and Supply", water and wastewater treatment guidebooks, ed. PTR, Prentice-Hall, Inc. EUA.
16. DGCOH, DDF (1989), "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella", folleto informativo, México.
17. DGCOH, DDF (1996-1997), Comunicación personal con los operadores en turno así como de los laboratoristas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, México.
18. DGCOH, DDF (1989), "El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México" 2^{da} ed. Dirección general de construcción y operación hidráulica, México, D.F.
19. DGCOH, DDF (1997), "Manual de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella", consulta en sitio, México, D.F.
20. DGCOH, DDF (1997), "Bitacora de Parámetros de Laboratorio" planta Cerro de la Estrella", consulta en sitio, México.
21. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Desarrollo Social, (1993), "Norma Oficial Mexicana, NOM-CRP-001-ECOL/93, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", 22 de octubre de 1993, pp tercera sección 2 - 42, México.
22. Diario Oficial de la Federación, N.O.M. (1994), NOM-ECOL-052/94, 22 de octubre de 1993, "Listado de los residuos peligrosos", México.
23. Diario Oficial de la Federación, LGEEPA, "Reglamento en materia de Residuos Peligrosos", cap. 1, art. 6^o, 13 de diciembre de 1993, México.
24. Díaz A. N. y González, M. S., (1992) "Propuesta de un Procedimiento para el Tratamiento de Lodos Biológicos", Memoria VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, SMISA, A.C., Cocoyoc Morelos, México. pp V-102 a V-107.
25. División de Educación Continua, F.I. UNAM, (1994); Curso "Tratamiento, Manejo y Disposición de Lodos", Módulo V, (Procesos de tratamiento de aguas residuales), México.
26. EPA (Environmental Protection Agency); (1993), "Process Design Manual for Land, Applications of Municipal QSludge", ed. US., Tecnology Transfer, EPA-625/1-83.016, EUA.

27. EPA (Environmental Protection Agency); (1979), "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal", ed US, EPA 625/1-79-011, EUA.
28. Fair, (1993), "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales" ed. Limusa Noriega, México D.F. pp 158, 200, 201 y 624.
29. Fernandez, V. G. (1992); "Estudios cinéticos de sistemas anaerobios en reactores de película fija, alimentados con aguas blancas de la industria del papel", Tesis Doctoral en Ingeniería Ambiental, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México. pp 72 - 121.
30. Fernandez, V. G. (1990); "Manual Prácticas de Laboratorio de Química Sanitaria", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. México. pp 15-21.
31. Gardea, V. H., (1985); "Hidráulica de Canales".- Facultad de Ingeniería, UNAM, México. pp 192.
32. Ganczarczyk J.J., (1983); "Activated Sludge Process".- Macel Dekker, Inc. New York. pp 167-172.
33. Gloyna & Eckenfelder (1970); "Water Quality Improvement by Physical and Chemical Processes", Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, EUA. pp 192-198, 353-357, 368, 410-412 y 417-419.
34. Goncaives M.C. y Deandrade, A. V. (1996); "Flotação por Ar Dissolvido de Lodos Biológicos", SABESP-Companhia de Saneament Básico de São Paulo. Conferencia presentada en el XXV Congreso de AIDIS, (Nov-1996), México. pp 88-95.
35. Gutierrez, M. (1996), "Tecnologías para el Tratamiento de Residuos Peligrosos", conferencia presentada en la sección de ingeniería ambiental de la DEPMI-UNAM, México.
36. Eckenfelder, W. W., Rooney, T.F., Burger, T.B., Gruspier, J.T., (1958), "Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes", Vol. II, cap 2.10, Studies on Dissolved Air Flotation of Biological Sludges, papers present at the Conference on Anaerobic Digestion and Solids Handling, april 24-26, EUA.
37. Eckenfelder, W. W., y Ford, A. L., (1970), "Water pollution control"; Experimental procedures for process design, The Penberton Press Jenkins Publishing company, New york, EUA, Cap. 5.
38. Eckenfelder, W. W., y Ford, D. L., Lankford, P.W. (1986), "Operation, Control & Management of Activated Sludge Plants Treating Industrial Wastewater"; Seminar Sponsored by Vanderbilt University School of Engineering, Nashville, Tennessee (may, 1986) EUA. pp 6-1 a 6-16.
39. Eckenfelder, W. W. Jr. (1989), "Industrial Water Pollution control", New york, USA. pp 71-79 y 322-323.
40. Hernández M., A., Depuración de aguas residuales, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (UPM), España, 1990. pp 738-745.
41. J.R, Bratby and W. A. Amborse (1995). "Design and Control of Flotation thickeners" Vol. 31, No. 3-4, Wat. Sci. Tech. U.K., pp 247-261.
42. L.R.J. van Vuuren and P.J. van der Merwe (1989). "Thickening of Sludges by Dissolved Air Flotation". Vol. 21 Wat. Sci. Tech. Brighton U.K., pp 1771-1774.

43. M. Sugarhara and S. Oku.(1993). "Parameters Influencing Sludge Thickening by Dissolved Air" Vol. 28, No. 1, Wat. Sci. Tech. U.K., pp 87-90.
44. Montgomery, J. M. (1985), "Water Treatment Principles and Design", Consulting Engineer, Inc. JMM, EUA, pp.532-534.
45. Metcalf & Eddy, (1991) "Wastewater Emgineering", Treatment, Disposal and Reuse; Third Edition, ed. McGraw Hill, Inc. EUA.
46. Nijhuis water technology, (1997), "Sistemas de Flotación" folleto informativo, E-mail: wt@tref.nl. EUA.
47. Ramalho, R. S., (1991). "Introduction to Wastewater Treatment Processes", 2a. ed., Academic press Inc., N.Y., EUA pp 146-155.
48. Rivero S., Ponciano R. y González S., (1996). "Los Residuos Peligrosos en México".- Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, Méxcio. pp 21-23.
49. Ruiz V.J.A., (1991). "Evaluación de la Factibilidad para Sustituir Aire por Oxígeno Puro en el Proceso Biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella", Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
50. Sabi T. M. (1997), Gerente de Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales "Toluca Norte y Toluca Oriente", Comunicación personal.
51. SEDESOL/INE, (1994), "Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico protección al ambiente" 1993-1994, México.
52. Tebbutt, (1990), "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua", ed. Limusa Noriega, México D.F. pp 130-131 y 195-197.
53. Vesilind, P. A., Harman, G. C., y Skene, E. T., (1986). Sludge management and disposal for practicing engineer, Lewis publishers Michigan, EUA. pp 45-48.
54. Viessman, W. Jr. Hammer M. J. (1993) "Water Supply and Pollution Control" Fifth edition, EUA. pp 667-671.
55. WPCF, ASCE (1991), "Water Treatment Plant Design", Manual of Practice WPCF No. 8 & Manual ASCE of Engineering Practice No. 36 pp. 151-158.
56. Water Environment Research Foundation, (1993), Steven K., Mohammad Abdu-Orf, and Nancy Griskowitz, "Guidance Manual for Polymer Selection in Watewater Treatment Plants", proyect 91-ISP-5, pp 3-53 a 3-58.
57. Water Pollution Control Federation, WPCF, Robert F. Wood and Richard I. Dick, (1973); "Factors inffluencing batch flotation tests", Vol. 45, No.2, February, pp 304-315.