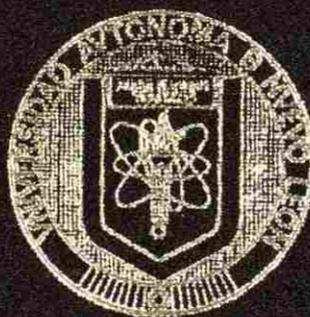


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



"ESTUDIO SOBRE DIGESTION AEROBICA DE
LADOS EN REACTORES DE LABORATORIO,
SEMICONTINUOS"

TESIS PRESENTADA
EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

POR

ING. BEATRIZ EUGENIA GUTIERREZ ORTEGA

MONTERREY, N. L.

MARZO DE 1986

TM

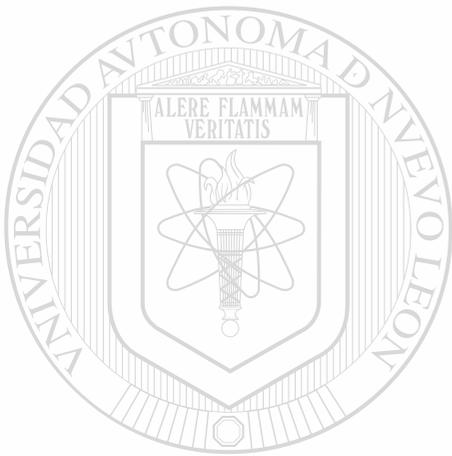
Z6834

.C5

.FIC

1986

G8



UANL

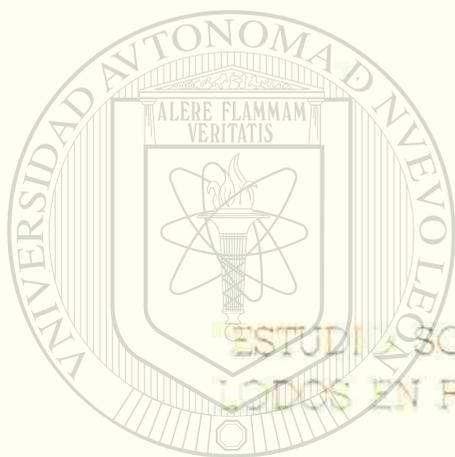
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



ESTUDIO SOBRE DIGESTION AEROBICA DE
Lodos EN REACTORES DE LABORATORIO
SEMICONTINUOS

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

TESIS PRESENTADA

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
MAESTRO EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

POR

ING. BEATRIZ EUGENIA GUTIERREZ ORTEGA



MONTERREY N. L.

MARZO DE 1986

20000

TM

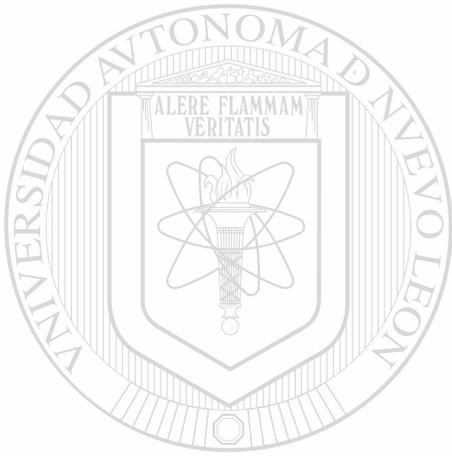
Z6834

•C5

FIC

106

98



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



137695

MI MAS SINCERO AGRADECIMIENTO:

AL DR. ALEJANDRO RAMIREZ ALCAZAR, Catedrático de la maestría en Ingeniería Ambiental , División de estudios Superiores -- FIC.-UANL; por su valiosa ayuda y asesoramiento durante la - carrera y en el desarrollo de este trabajo.

AL ING. BENJAMIN LIMON RODRIGUEZ, Catedrático de la maestría en Ingeniería Ambiental y Secretario de la FIC-UANL; por su asesoramiento en el desarrollo de este trabajo.

A todos los maestro de la División de estudios Superiores de la FIC-UANL; por la aportación desinteresada de sus conocimientos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

A todas aquellas personas que de alguna manera hicie--[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
ron posible el desarrollo y terminación de esta tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Rogelio Gutiérrez Alejandre
Ma. de Jesús Ortega Manzo

Con cariño y gratitud, por su valiosa ayuda a lo largo de mi carrera académica.

A MI ESPOSO:

Octaviano Rodríguez Paredes
Por el apoyo y cariño brindados.

A MI HIJO:

Edgardo Rodríguez Gutiérrez
Con amor y deseos de que triunfe en la vida.

A MIS HERMANOS:

Por el apoyo que me dieron.

A MI SUEGRA:

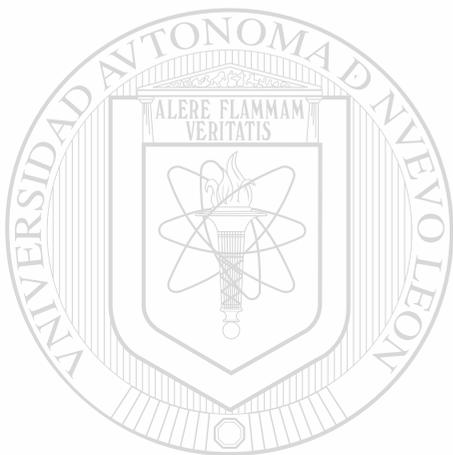
Guadalupe Paredes Aguilar

Por su ayuda brindada.

I N D I C E

	Pág.
1.- RESUMEN -----	1
2.- INTRODUCCION -----	4
3.- ANTECEDENTES -----	6
3.1.- Teoría de la Digestión Aeróbica -----	6
3.2.- Modelos Cinéticos de la Digestión Aeróbica---	18
4.- PROCEDIMIENTO Y EQUIPO -----	26
4.1 Aparatos Experimentales -----	26
4.2 Procedimiento Experimental -----	31
4.3 Procedimiento Analítico -----	37
4.3.1 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	39
4.3.2 Determinación de Sólidos -----	39
4.3.3 Determinación del Potencial de Hidrógeno-----	41
4.3.4 Determinación de Nitrógeno Amoniacal -----	41
4.3.5 Determinación de Nitrógeno Orgánico -----	42
4.3.6 Determinación de Fosfatos Totales -----	43
4.3.7 Determinación de Ortofosfatos -----	43
4.3.8 Determinación de la Tasa de Utilización de -- Oxígeno -----	44
5.- DISCUSION DE RESULTADOS -----	46
5.1 Reducción de la Demanda Química de Oxígeno-----	46
5.2 Cambios del Potencial de Hidrógeno -----	49
5.3 Variaciones de los Nutrientes -----	51
5.4 Tasa de la Demanda de Oxígeno -----	52
5.5 Destrucción de los Sólidos Suspendidos volá--- tiles-----	55
5.6 Cinética del Decaimiento Bacteriano -----	59

	Pág.
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	69
7.- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS -----	73
8.- ANEXOS -----	80



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



1.- R E S U M E N

Se efectuó un estudio de digestión aeróbica de excesos de lodos activados y mezclas de lodo activado con lodo primario, para determinar los coeficientes de decaimiento bacteriano.

Para desarrollar éste trabajo, se emplearon lodos de desecho de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Compañía, Celulosa y Derivados, S.A., ubicada en la Ciudad de Monterrey, N.L.

Para determinar las constantes de la Cinética de Decaimiento Bacteriano, se utilizaron cuatro reactores a escala de laboratorio, cada uno con 5 litros de lodo, con flujo semicontinuo, completamente mezclado, sin retorno de lodos.

En el experimento se controló la temperatura del lodo en los reactores, a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, con tiempos de retención celular de: 10, 15, 20 y 25 días.

Las características de los lodos que se midieron durante el desarrollo experimental fueron: Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Volátiles, Sólidos Suspendidos Totales, -- Potencial de Hidrógeno, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico, Fosfatos Totales, Ortofosfatos y Tasa de Utilización de -- Oxígeno.

Una vez estabilizados los reactores, se realizaron los análisis requeridos para obtener los coeficientes de "Kd" para ambos tipos de lodos. Estos coeficientes, nos dan una pauta a seguir, para el diseño de plantas de prototipo, a las condiciones de temperatura de ésta región.

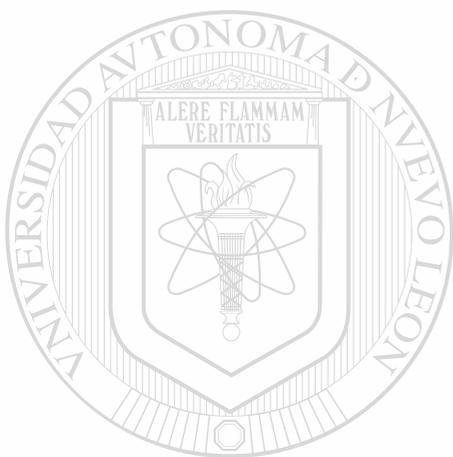
Se logró casi el total de la estabilización aeróbica de los lodos activados solos, en un período menor de 10 días de aeración continua, y se estimó un coeficiente de velocidad de destrucción basados en los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), "Kd" de 0.273/días, con un 56 por ciento de destrucción de los SSV.

En las mezclas de lodo activado con lodos primarios, casi el total de la estabilización, se alcanzó a los 25 días de aeración continua, obteniéndose un coeficiente de velocidad de destrucción de los SSV, "Kd" de 0.333/días, con un 54 por ciento de destrucción de los SSV.

Estos valores de Kd, se obtuvieron aplicando el modelo presentado por Benefield y Randall (26, 27).

El valor del coeficiente "Kd" obtenido para lodos activados solos, fué ligeramente superior a los valores típicos reportados en la literatura para reactores de flujo continuo.

El valor del coeficiente "Kd" obtenido para mezclas de lodo primario y lodo activado, fué casi el doble de los valores reportados en la literatura.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.- INTRODUCCION

Los lodos que provienen del tratamiento de aguas de desecho, no deben disponerse en condiciones crudas; por ser difíciles de desaguar, porque en la mayoría de los casos desprenden olores muy desagradables y son perjudiciales a la salud, a la fauna y a la flora, por contener gran cantidad de organismos patógenos.

De manera que un camino a seguir, es la digestión, con la destrucción parcial consiguiente de los sólidos y el desecamiento de los sólidos digeridos antes de disponerlos convenientemente (7).

(2, 8) Existen diferentes procesos de manejo y tratamientos que pueden ser aplicados, para reducir el problema de disposición de los lodos; los métodos más frecuentemente usados son:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- 1.- La reducción del volumen del lodo, mediante la concentración del mismo por: espesadores mecánicos, espesadores por flotación ó centrifugación.

- 2.- Los procesos de tratamiento, posteriores al espesado de lodos, se pueden efectuar mediante la estabilización de lodo por: Oxidación con Cloro ó cal, tratamiento térmico, así como también

puede ser por, Digestión Aeróbica ó Digestión Anaeróbica; siendo los más comunes, el tratamiento Biológico Anaeróbico y Aeróbico.

3.- Después del proceso de acondicionamiento, los lodos son deshidratados fácilmente por: filtración al vacío, extendiéndolos sobre áreas de secado, centrifugación ó filtración a presión.

4.- La deshidratación y el secado son operaciones unitarias físicas utilizadas para reducir el contenido de humedad del lodo, de forma que pueda manejarse y procesarse como un semisólido, en vez de como un líquido. El secado puede ser térmico para que facilite la incineración ó bien sea procesado para su transformación en fertilizantes. Con la incineración y oxidación por vía húmeda, se reduce el contenido orgánico y el volumen del fango.

5.- Por último, se efectúa la evacuación final del lodo y la ceniza, que pueden ser vertidos al terreno ó al mar.

La digestión aeróbica operada correctamente, produce

una cantidad mínima de sólidos biodegradables; los residuos generados mediante éste proceso, son lodos estables con baja demanda de oxígeno, con buenas características de asentamiento y sin olores ofensivos (9).

En el presente estudio se buscó llegar a la estabilización aeróbica de lodos de desecho activados y mezclas de lodo de desecho primario con activado, a temperatura constante (25°C) y a diferentes tiempos de retención.

El grado de estabilización se midió por las reducciones observadas en las concentraciones de los SSV, SST, DQO y del oxígeno utilizado, a diferentes períodos de aeración de 10, 15, 20 y 25 días. La calidad del lodo será estudiada con mas detalle durante el desarrollo del proyecto, mediante análisis de laboratorio, midiéndose las concentraciones de oxígeno utilizable, nutrientes , pH y flujo de aire requerido por el digester.

El resultado de éste estudio, nos indica que la digestión aeróbica, ofrece una medida realizable de tratamiento de lodos de desecho activado y mezcla de lodo de desecho primario con activado, para producir un lodo inofensivo.

3.- ANTECEDENTES

3.1. TEORIA DE LA DIGESTION AEROBICA.

Los procesos de digestión, se pueden efectuar en presencia ó ausencia de oxígeno molecular. Cuando la digestión se lleva acabo en ausencia de oxígeno molecular, la estabilización del lodo se logra anaeróbicamente. En éste proceso la materia orgánica es solubilizada, resultando un sobrenadante con alto contenido de nutrientes y materia orgánica con producción de olores fétidos, por lo que el proceso es muy sensitivo y los trastornos son frecuentes (4).

La digestión aeróbica, es otro método de degradación de lodos orgánicos producidos en las plantas de tratamiento de aguas de desecho y es una continuación del proceso de lodos activados. Cuando las fuentes de alimento se agotan, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma, disminuyendo la población microbiana por autólisis de las células, provocada por enzimas proteolíticas endógenas. En ésta fase el tejido celular es oxidado en un 75 al 80% a Bióxido de Carbono, agua y amoníaco, el resto a compuestos orgánicos y componentes inertes no biodegradables (2,5).

La digestión aeróbica es usada principalmente en plantas pequeñas de lodos activados. Se puede hacer uso tanto en lodos activados, como en mezclas de lodo activado con prima-

rio.

Las ventajas por las cuales ha ganado aceptación para reducir la masa de los excesos de lodos biológicos son:

- 1.- Una reducción de sólidos volátiles aproximadamente igual a la obtenida en procesos anaeróbicos.
- 2.- Menores concentraciones de DBO en el sobrenadante.
- 3.- Formación de un producto final inodoro, biologicamente estable, que puede ser fácilmente eliminado.
- 4.- Producción de un lodo con excelentes características de deshidratación.
- 5.- Recuperación en parte de los valores fertilizantes del lodo.

6.- Menores problemas operativos.

7.- Menor inversión de capital (2).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La digestión aeróbica de los lodos activados, difiere de los lodos primarios, ya que los lodos activados, son el producto del metabolismo microbiano y de la autooxidación de las bacterias, produce la degradación del lodo biológico. La autooxidación de las células bacteriales permite:

- 1.- La oxidación del carbón orgánico presente en los sistemas de desecho, produciéndose CO₂.

2.- Reciclaje de los nutrientes contenidos en las proteínas bacteriales para uso en la síntesis.

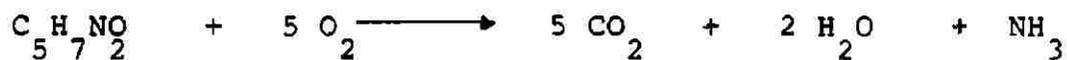
La fórmula básica de la digestión aeróbica es:



(6) Algunos factores que controlan el proceso de digestión aeróbica son:

- a.- Concentración de los sólidos volátiles biodegradables.
- b.- Temperatura.
- c.- Mezclado.
- d.- Características de los sólidos.
- e.- Concentración de microorganismos.
- f.- Requerimiento de oxígeno.
- g.- Concentración de nutrientes.
- h.- Tipo de microorganismos presentes.
- i.- Condiciones fisiológicas de los microorganismos.
- j.- Tiempo de retención.

Si las células bacteriales endógenas son representadas - por la fórmula química $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$, la destrucción de las células a través de la digestión aeróbica, puede ser representada por:



Esto ocurre cuando el sustrato en un sistema aeróbico es insuficiente por síntesis y energía, y la razón de destrucción - excede al crecimiento (10).

La autooxidación de todo material celular, fué reportado por Gaudy 1970, en el proceso de aeración extendida, como un fenómeno cíclico, en el cual las disminuciones en la concentración de los sólidos biológicos, no puede ser atribuida a factores extremos (Cambios en pH, Temperatura, etc.), pero si por autólisis, por enzimas producidas por otras bacterias, células destruidas por bacteriófagos y depredadores, por otros organismos (11).

Se ha observado también que el desarrollo de las bacterias, está ampliamente influenciado por condiciones que afectan la formación de enzimas. La velocidad de desarrollo de todo cultivo bacteriano es por lo tanto, una función de diversas variables.

En condiciones óptimas, las diversas especies presentes difieren considerablemente en el máximo crecimiento, debido a la limitación de su propio mecanismo químico. La herencia determina como responderá el organismo a las influencias ambientales y es la responsable de las diferencias de temperatura, -- dentro de los cuales puede haber desarrollo.

Todas las bacterias se pueden dividir en tres grupos, según los limitantes de temperatura a que se desarrollan:

Psicrófilas	5° a 30°C	óptimo	10° a 20°C
Mesófilas	10° a 45°C	óptimo	20° a 40°C
Termófilas	25° a 80°C	óptimo	50° a 60°C

El efecto principal de la temperatura sobre el desarrollo de un cultivo bacteriano, es su influencia sobre la rapidez de las reacciones químicas dentro de los límites biológicos; por cada 10°C de aumento, se duplica la rapidez de las reacciones.

El pH medio afecta igualmente la velocidad de desarrollo para la mayor parte de las bacterias patógenas, el pH óptimo está hacia el lado alcalino, entre 7.2 y 7.6. Otro efecto que afecta la velocidad de reacción es la naturaleza del sustrato disponible (12,13).

Otras causas que pueden impedir el crecimiento bacteriano definitivo en el cultivo, son las siguientes:

- 1.- Cuando se agotan uno ó más nutrientes.
- 2.- Cuando se acumulan productos tóxicos.
- 3.- Cuando se establece un equilibrio desfavorable (por ejemplo, un pH inadecuado) (12,13).

Metcalf y Eddy (2), indican que según la capacidad amortiguadora del sistema, el pH puede descender a un valor bajo ($5.5 \pm$), con tiempos de retención hidráulicos largos.

Las razones que se aducen para éste comportamiento, incluyen la presencia creciente de iones nitrato en la solución y la disminución de la capacidad reguladora debido al arrastre de aire. Aunque esto no parezca inhibir el proceso, deberá comprobarse el pH periódicamente y ajustarlo, si alcanza valores bajos.

Anderson y Mavinic (51), experimentaron con lodos activados a temperaturas de 5° , 12° y 20°C . Indicando que es conveniente en la digestión aeróbica, agregar cal para controlar los pH bajos, a pH aproximadamente neutros (pH=7 ó bien pH=8).

De ésta manera, se mejorará el medio ambiente para la oxidación de microorganismos, la eficiencia en la fase de metabolismo endógeno y por consiguiente la eficiencia en el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos volátiles.

Investigaciones conducidas por Jaworski, Lawton y Rohlich (20), encontraron que en la digestión aeróbica de mezclas de lodo primario mas activado a temperaturas de 15° , 20° y 35°C , el pH aumentó en un tiempo de retención de 10 días a un valor máximo de 8.0 y después bajó gradualmente a valores cercanos a

5 en tiempos de retención grandes.

Los pH bajos se registraron en las condiciones de equilibrio, sobre todo en los tiempos de retención de 30 días ó más.

De acuerdo a la proyección y operación de lodos activados, fueron utilizados diversos parámetros de control, tales como: razón de alimento a microorganismos, DQO, edad del lodo, tiempo de residencia de las células en el tanque de aeración y en sistema total, eficiencia de tratamiento y producción de lodos. Estos parámetros fueron utilizados por Stall y Sherrard en --- 1978, basándose en un modelo a escala laboratorio, desde alta-carga hasta aeración extendida (14).

Benefield y Randall, han observado que generalmente los - digestores aeróbicos son operados en unidades de aeración com- pletamente mezclados, a flujo continuo. ®

Ellos desarrollaron ecuaciones para calcular el tiempo de retención requerido, para realizar una reducción específica de sólidos en los lodos activados, así como en las mezclas de lodo activado y lodo primario. Las ecuaciones ilustran la relación- entre el estado fisiológico de los lodos, la razón de respira- ción endógena y el tiempo de retención de los sólidos en el -- digestor. Las ecuaciones estan basadas en la reducción de los sólidos suspendidos totales, ya que la transferencia de sólidos inorgánicos en suspensión a la solución, representa una reduc-

ción efectiva de los sólidos en suspensión.

En el caso en el que se utiliza mezcla de lodo primario y de exceso de lodos activados, se requiere un tiempo de retención mas largo para llegar al grado donde el lodo ya está estabilizado. Esto es dado a que, el lodo primario en estado natural contiene pequeña biomasa, siendo la mayor parte de la materia presente, una fuente de alimento para la biomasa activa, contenida en los lodos biológicos; por lo que el metabolismo y crecimiento deben ocurrir, antes de que se logren las condiciones de respiración endógenas (4).

Se observa que en una digestión aeróbica se puede obtener una remoción del DBO del orden del 75 al 90%. (7).

Gaudy, Ramanathan, Yang y Geare (11), encontraron que en una planta de aeración extendida, operada durante dos años, se obtuvo el 90% de eficiencia de remoción de la DQO, con cargas de alimentación alrededor de 530 mg/l y un período de residencia en la cámara de aeración de 16 hrs.

Borton (15), reportó que la reducción de la DQO en el sobrenadante, fué del orden de 70 al 82% y en los lodos del 45 al 48%; éstos resultados fueron observados durante el estudio de la estabilización aeróbica de lodos primarios provenientes de desechos de origen doméstico, en reactores semiconti-

nuos a escala laboratorio, a 35°C de temperatura.

En éste estudio, también se determinó el tiempo de retención en las unidades de estabilización, ésto se logró utilizando trazas de Fósforo radiactivo (P^{32}), los resultados del estudio de las trazas revelaron que el tiempo de retención actual medio fué de 8 días, aunque el período teórico de retención fué de 15 días.

Bokil y Bewtra (16), indican que cuando una digestión aeróbica es mezclada en una operación continua, la tasa de autooxidación del lodo y sedimentabilidad, son mejorados; por lo que el tiempo de digestión, así como el volumen requerido del digestor para obtener igual degradación de sólidos digeridos son reducidos cuando se trata de lodos bien agitados.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Metcalf y Eddy (2), muestran de los datos experimentales conocidos de digestión aeróbica, que la cantidad de sólidos volátiles en el lodo se reduce, más o menos linealmente, hasta un valor de un 40% aproximadamente en un tiempo de retención hidráulico de 10 a 12 días. Aunque la eliminación de sólidos volátiles continúa a medida que aumenta el tiempo de retención, la tasa de eliminación se reduce considerablemente. Dependiendo de la temperatura, la reducción máxima oscilará entre 45 y 75%. El tiempo requerido y el grado de eliminación de sólidos volátiles variará también con las características-

La demanda de oxígeno por el lodo, expresado en mg/gSSV/hr, disminuye con el incremento en el contenido de lodo que varia - de 2.70 a 1.40 mg/g de SSV/hr., con concentraciones de sólidos - de 11,500 mg/l a 21,260 mg/l.

Hartmant y Bennett (36), indican que una de las principa les dificultades asociadas con la ejecución de la digestión ae- róbrica, está relacionada con la naturaleza variable de la alimen tación de lodo. Los lodos contienen material volátil biodegrada ble y no biodegradable; las variaciones de éstas fracciones son muy comunes en los lodos primarios como lo son en las fluctua- ciones de la composición de lodo activado, éstas desviaciones - pueden ser una dificultad considerable en la descripción opera- cional día con día de cualquier unidad de digestión.

Otra dificultad son las grandes edades en los lodos, por - éstas razones ellos proponen que las reducciones de sólidos se- an usadas menos frecuentemente como una medida de la ejecución- operacional de la digestión aeróbica, por que es recomendado -- por varios experimentadores, se utilice en vez de reducción de - sólidos, el consumo de oxígeno específico, los cuales proponen- valores de 0.5 a 2.0 mg/g de SSV/hr. que son considerados para un producto de lodo estable.

3.2 MODELOS CINETICOS DE LA DIGESTION AEROBICA.

La digestión aeróbica es basada en el principio de que - las células biológicas usen como alimento su propio material- celular y a las células muertas presentes, cuando no exista - una fuente externa de alimento.

RESPIRACION ENDOGENA.

Reynolds (22), nos indica que a la fase de crecimiento durante la cual usan como alimento su propio material celular y células muertas, se le conoce como "respiración endógena".- Durante éste proceso quedan algunos materiales como celulosa- y hemicelulosa, que forman parte de las paredes celulares y - que no son biodegradables.

La razón de decaimiento endógeno es representado por una ecuación bioquímica de primer orden.

$$\frac{dS}{dt} = -K_d S \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

dS = Cambio en el material celular biodegradable.

dt = Tiempo transcurrido.

K_d = Constante de la razón de degradación , (reactores - Batch).

S = Concentración del material celular biodegradable a tiempo t .

La ecuación 1 puede ser rearmplada para integrarla entre límites definidos como sigue:

$$\int_{S_0}^{S_t} \frac{dS}{S} = -K_d \int_0^t dt \dots\dots\dots (2)$$

Integrado nos da:

$$\ln \left| \frac{S_t}{S_0} \right| = -K_d t \dots\dots\dots (3)$$

En la cual después de sustituir nos da:

$$\ln \frac{S_t}{S_0} = -K_d t \dots\dots\dots (4)$$

Esta ecuación rearmplada nos da:

$$\frac{S_t}{S_0} = e^{-K_d t} \dots\dots\dots (5)$$

La solución gráfica de la ecuación 4, en el papel semi-logarítmico nos da una línea recta. En el eje "Y" se anota S_t/S_0 ; y en el eje "X" se anotan los valores de "t". La pendiente de la línea nos dará $K_d/2.303, t^{-1}(\text{Log}_{10})$.

De los modelos matemáticos (1), (4) y (5), donde se suponen que no hay pérdida de sólidos suspendidos no volátiles, representan éstos modelos la reducción de los SSV degradables, a través del metabolismo endógeno que sigue la relación de primer orden.

La (Kd) constante de la razón de degradación obtenida - mediante éstas ecuaciones por diferentes investigadores (27, 29 y 50), se aplica a los SSV en reactores de operación dis-- continua (Batch).

En los reactores de flujo discontinuo, los sólidos son - aerados durante todo el período de digestión y después la ae- ración es descontinuada y el sobrenadante y los sólidos sedi- mentados son descargados para llenar con sólidos nuevos el -- reactor.

En un reactor de flujo semicontinuo, la aeración se des- continua solo para permitir la extracción de una porción de - lodo digerido y para la adición de lodo nuevo o alimentación- (50); sin embargo, Benefield (4,26 y 27), fundamenta que la - mayoría de los digestores son operados con flujo continuo, co- mo unidades de aeración completamente mezclados y son diseña- dos sobre base de la reducción de SSV. Un modelo usado en el- diseño fué mostrado por Adams; en éste desarrollo el modelo - se asume bajo sólidos degradables, en seguida se muestra la - relación de primer orden:

$$\left[\frac{d (Xd)}{dt} \right]_R = Kd (Xd) \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

$$\left[\frac{d(Xd)}{dt} \right]_R = \text{Razón a la cual los SSV degradables son des- truidos (masa, volumen}^{-1} \text{ , tiempo}^{-1} \text{)}.$$

K_d = Constante de la velocidad de reacción para-
 la destrucción de los SSV degradables (t^{-1})
 (X_d) = SSV degradables remanentes a tiempo t (ma-
 sa, volumen $^{-1}$).

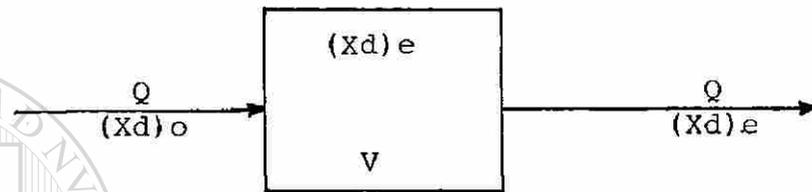


Figura 3.1 Esquema de un digestor aeróbico completa-
 mente mezclado.

Un digestor de flujo continuo completamente mezclado, es
 representado en la figura 3.1. Un balance de material para s̄o-
 lidos degradables entrando y saliendo del sistema, son repre-
 sentados matemáticamente como:

$$\left[\frac{d(X_d)}{dt} \right] v = Q (X_d)_o - \left\{ \left[\frac{d(X_d)}{dt} \right]_R v + Q (X_d)_e \right\} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

- Q = Razón de flujo volumétrico (volumen, tiempo $^{-1}$)
- $(X_d)_o$ = Concentración de los SSV degradables en el in-
fluente (masa, volumen $^{-1}$).
- $(X_d)_e$ = Concentración de los SSV degradables en el e-
fluente (masa, volumen $^{-1}$).

V = Volumen del digestor.

Sustituyendo por $[d(X_d)/dt]_R$ de la ecuación (6) y asumiendo condiciones de estado estable, la ecuación (7) puede ser expresada como:

$$t_d = \frac{(X_d)_o - (X_d)_e}{K_d (X_d)_e} \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

t_d = tiempo de retención en el digestor, V/Q , (tiempo).

Por lo cual, los SSV degradables pueden ser definidos en términos de los SSV totales no degradables, como se muestra en las ecuaciones siguientes:

$$(X_d)_e = (X_e - X_n) \dots\dots\dots (9)$$

$$(X_d)_o = (X_o - X_n) \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

X_e = Concentración de los SSV totales en el efluente --
(masa/volumen).

X_o = Concentración de los SSV totales en el influente --
(masa/volumen).

X_n = Porción nodegradable de los SSV, los cuales son asumidos como constantes remanentes a través del --
período de digestión.

Cuando los valores de X_e , X_o y X_n de las ecuaciones (9) y (10) son sustituidos por $(X_d)_o$ y $(X_d)_e$, en la ecuación (8). La ecuación 8 se convierte en :

$$t_d = \frac{X_o - X_e}{K_d (X_e - X_n)} \dots\dots\dots (11)$$

Adams dice que X_n es determinada de datos colectados a través de estudios de flujos discontinuos (Batch) en el laboratorio, X_n es fundamentada por la gráfica de las concentraciones de los SSV remanentes contra tiempo de aeración como se muestra en la figura 3.2.

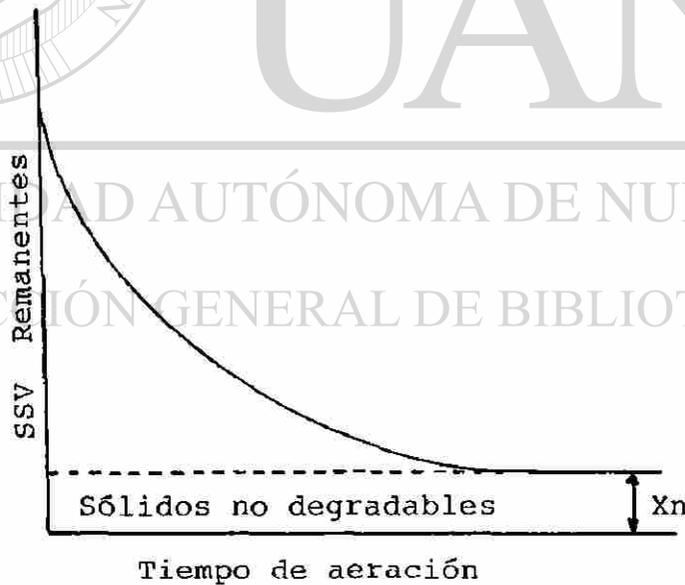


Figura 3.2 Determinación de la fracción de los SSV no degradables.

La ecuación (11) sugiere que K_d debe ser obtenida de una gráfica aritmética de $(X_0 - X_e)/(X_e - X_n)$, contra tiempo de aeración, usando datos de un proceso de flujo continuo.

Eckenfelder (29) dice que: la corrección de K_d por cambios de temperatura, puede efectuarse por medio de la ecuación de Arrhenius, como se muestra en seguida.

$$(K_d)_T = (K_d)_{20} e^{\theta(T-20)} \dots\dots\dots (12)$$

Los valores de θ pueden ser en el rango de: 1.02 a 1.07, donde:

- θ = Constante para el proceso bioquímico de interés.
- T = Temperatura en grados centígrados.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

El criterio de diseño que desarrolló para el sistema --[®] Batch, considerando los datos experimentales:

- $K_d = 0.141$ (base 10) = 0.325 (base e) a 23°C.
- $X_n = 1,760$ mg/l, de los SSV no degradables que permanecen constante durante el período de aeración.
- $X_0 = 6,115$ mg/l de los SSV totales en el influente, a tiempo cero.

Relacionando éstos dos valores, encontró que el 29% de los SSV totales del lodo influente, son SSV no degradables.

La ecuación de diseño que obtuvo fué: $t = \frac{X_o - X_e}{.325(X_e - 0.29X_o)}$

La corrección al coeficiente Kd por temperatura es:

$$(K_d)_T = 0.325(1.05)^{T-23}$$

Metcalf y Eddy (2), reportan que la temperatura, es un factor importante en la operación de los digestores aeróbicos, especialmente cuando ésta es inferior a 20°C. Indicando que un coeficiente de temperatura, comprendido entre 1.08 y 1.10, podría ser adecuado para ajustar los tiempos de retención hidráulico en el orden de 15 días; ya que éstos aumentan para temperaturas inferiores a 20°C. Cuando el tiempo de retención hidráulico es de 60 días o más, el efecto de la temperatura es despreciable.

4.- PROCEDIMIENTO Y EQUIPO

4.1. APARATOS EXPERIMENTALES.

Para la evaluación de la cinética de decaimiento biológico, se construyeron cuatro (4) reactores cilíndricos de acero inoxidable cada uno de 9.5 litros de capacidad total, con dimensiones de 20cms. de diámetro por 30 cms. de altura.

Los reactores de flujo semicontinuo, completamente mezclado y sin retorno de lodos, fueron llenados con 5 litros de lodo cada uno y se colocaron en un baño con agua.

Para asegurar un buen funcionamiento de la digestión aeróbica de lodos, fué necesario controlar las condiciones ambientales, mediante la regulación de temperatura y la adición de aire comprimido para suministro de oxígeno y mantener el sistema completamente mezclado. La adición de nutrientes no fué necesaria, ya que el lodo de desecho usado, dispone de los suficientes para el desarrollo de microorganismos.

Un factor ambiental, que no se consideró en éste estudio, fué la regulación del pH, el cual de acuerdo a la literatura, es recomendable regularlo para obtener una mejor eficiencia en el proceso de digestión.

Durante el experimento, la temperatura se mantuvo constan

te ($25^{\circ}\text{C} \pm$), ésto se logró, haciendo uso de un baño con agua que consiste en una caja de lámina galvanizada, recubierta -- con un aislamiento de poliestireno expandido (hielo seco), -- para independizar el sistema del medio ambiente . Un enfria-- dor de agua, la cual se recirculó através de un serpentín, im pulsado por una bomba centrífuga, y un controlador automático de temperatura adicional, colocado en el baño, se encargó de calentar el agua mediante una resistencia, hasta 25°C cuando ésta fué menor.

El nivel del agua en el baño se mantuvo constante y al mismo nivel de los lodos en los digestores. La altura del líquido se observó mediante un tubo en "U" de plástico transparente conectado al baño. A el agua del baño se le agregó 5 -- mg/l de polifosfatos (Pirofosfato de sodio, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para evitar que precipitaran los carbonatos y reducir la corrosión. ®

Mediante el uso de un compresor se proporcionó aire suficiente através de difusores de piedra porosa rectangulares de $2.0 \times 2.0 \times 10.0$ cms. de largo, localizados en la parte inferior de cada digestor, con un flujo de 100 cm^3 estandar de -- aire/min. (2l), produciéndose así burbujas en cantidad suficiente para mantener al digestor completamente mezclado y para

proporcionar el gas oxígeno necesario para la respiración de microorganismos.

El flujo de aire comprimido aplicado, fué medido periódicamente, por un rotámetro calibrado y un manómetro para presión.

Estas condiciones se comprobaron, para asegurar que prevaleciera el sistema aeróbico y las partículas en suspensión en cada uno de los reactores. La concentración de oxígeno disuelto en los reactores, siempre se mantuvo por encima de --- 6.8 mg de O.D./l.

El aire empleado para la aeración de los reactores, se pasó através de un filtro de papel (filtro para gasolina) y se burbujeo en un matríz con agua, con el objeto de humedecer el aire y eliminar grasa y polvo.

En las figuras 4.1 y 4.2, se muestran los esquemas de los aparatos experimentales.

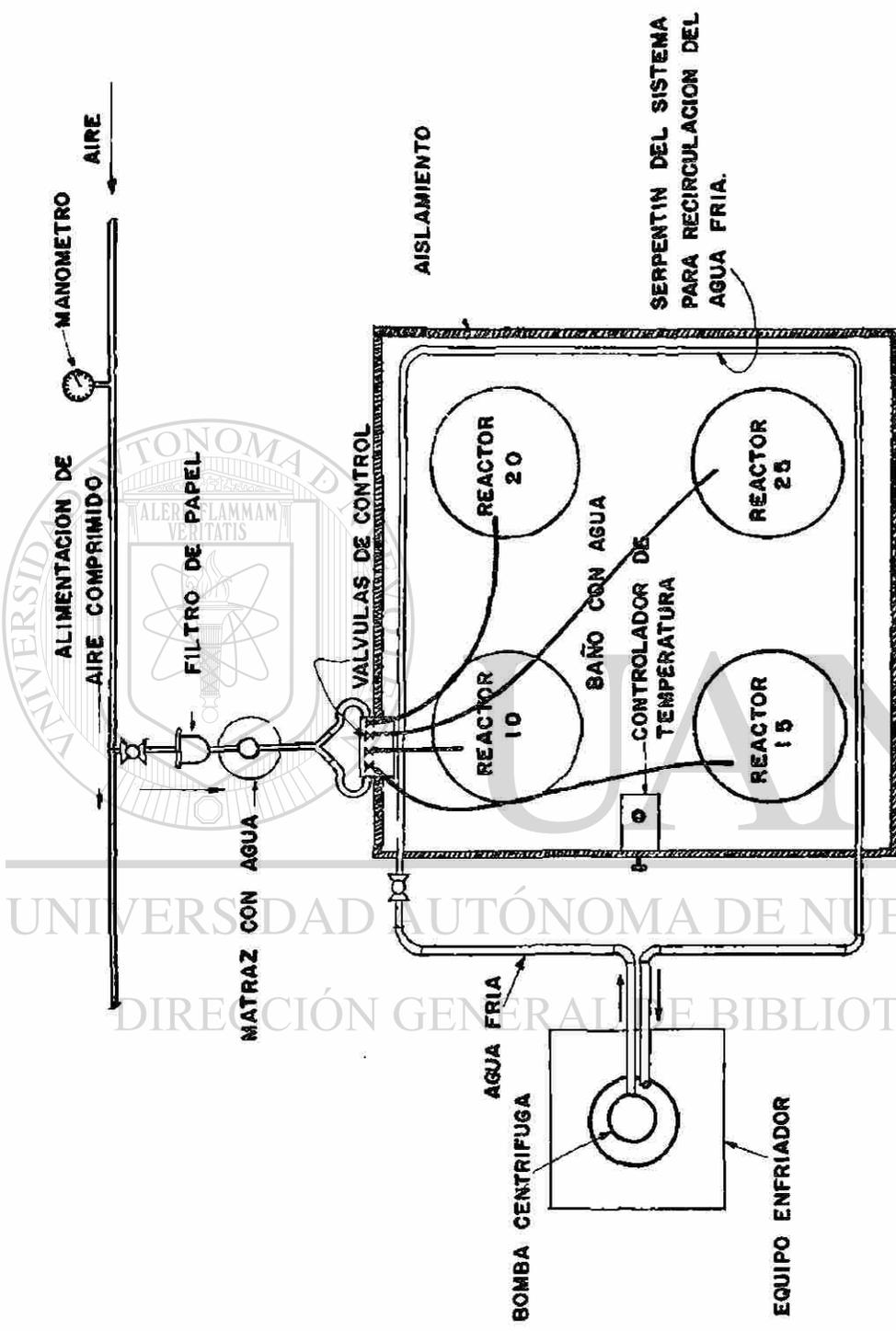
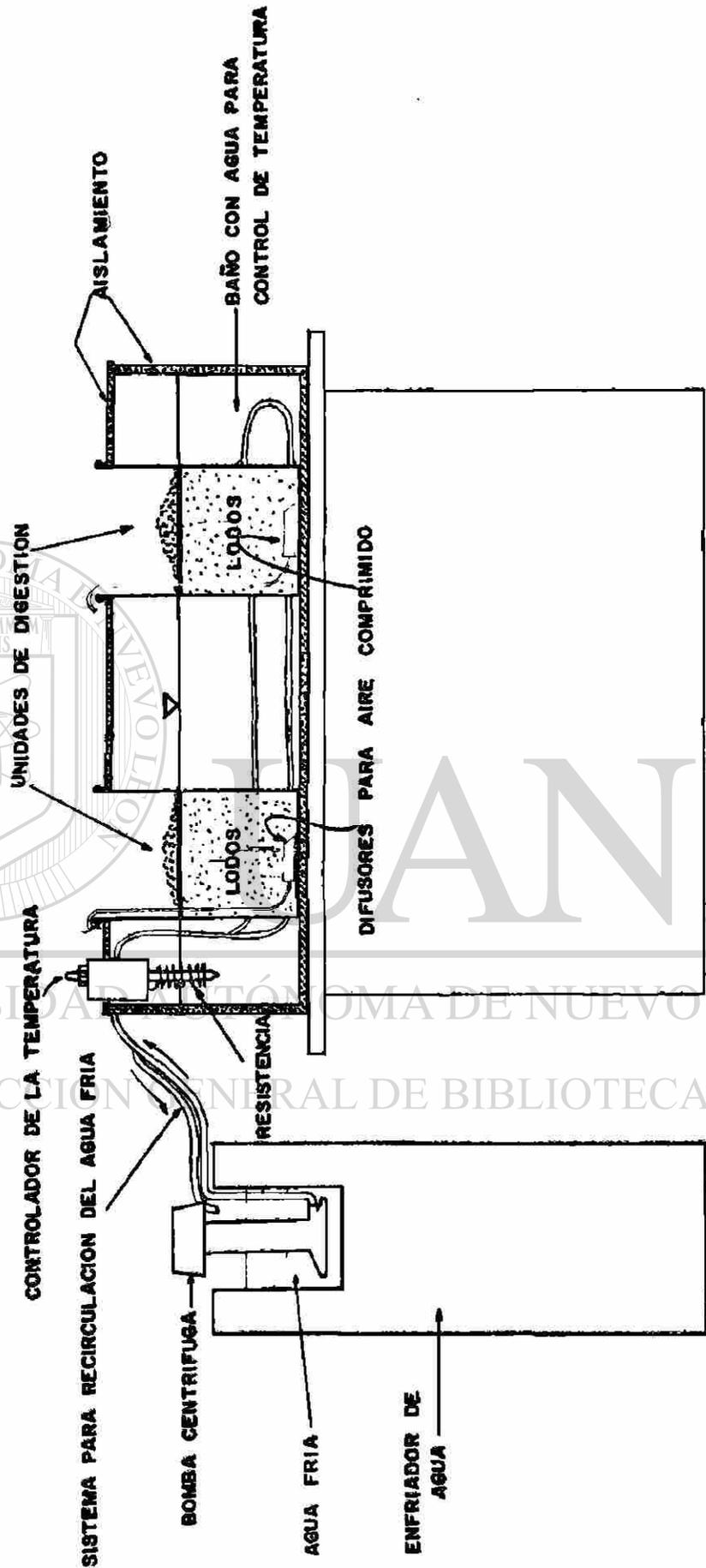


FIGURA 4.1 ESQUEMA DE APARATOS EXPERIMENTALES, (PLANTA)

FIGURA 4.2. ESQUEMA DE APARATOS EXPERIMENTALES, (ELEVACION)



4,2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

El lodo usado en el estudio, fué colectado en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Celulosa y Derivados, S.A., ubicada en la ciudad de Monterrey, N.L.

Las aguas de desecho que se tratan en ésta planta son -- principalmente de origen doméstico, con aportaciones industriales no significativas.

La planta de tratamiento tiene un proceso de lodos activos con una capacidad de 140 l/seg. de agua cruda (1).

El tiempo de retención para el sedimentador primario era de 45 minutos. De los lodos de desecho extraídos de la tolva del sedimentador primario, se muestrearon 20 litros, los cuales se dejaron reposar 6 horas, decantando el sobrenadante, para manejar lodos espesados en el experimento.

El tanque de aeración de la planta tenía un tiempo de retención de 6 horas; el contenido de éste tanque, pasaba a un sedimentador secundario, con un período de retención de 30 minutos. Una parte del lodo sedimentado es retornado al tanque de aeración y la otra parte es desechada; de ésta última, se colectaron 50 litros, para nuestro estudio, efectuando también

en el laboratorio una operación de decantación, para espesar el lodo.

Las muestras de lodos primario y activado fueron tomadas - y llevadas al laboratorio en períodos no mayores de quince días; ya espesados, fueron almacenados en el refrigerador a 4°C, aproximadamente.

Se efectuaron tres series de pruebas; la primera serie - con dos reactores a tiempo de retención de 10 y 15 días, conteniendo solo lodo activado.

La segunda serie de pruebas, se efectuó con tres reactores, cada uno con tiempos de retención hidráulicos de 15 y 20 días, conteniendo el primero y segundo reactor, mezcla de lodo activado y primario en una relación de 1:1.78, en base a sólidos secos; ésta relación se obtuvo del promedio de las relaciones citadas en la literatura; ver tabla 4.1.

El tercer reactor a 20 días, solo contenía lodo activado.

La tercera serie de pruebas, se efectuó con tres reactores con tiempos de retención hidráulicos de 10 y 25 días. El primero y el segundo contenían mezcla de 1:1.78 de lodo activado y primario, en base a sólidos secos, el tercer reactor a 25 días - contenía solo lodo activado. (el lodo activado y la mezcla de lodo activado con primario se digirieron durante 10, 15, 20 y - 25 días cada uno de ellos).

Tabla 4.1 Generación de lodos primarios y lodos activados (*) en base a sólidos secos.

Producción de lodo primario (LP), SST (Lb/MG)	Producción de lodo activado (LA), SST (Lb/MG)	Producción total de lodos SST (Lb/MG)	Relación de lodo primario al activado (LP/LA)	Referencias
1,020	543	1,560	1.88	(17)
1,120	655	1,775	1.80	(18)
1,190	660	1,850	1.71	(19)
-	-	-	1.75	(20)
PROMEDIO	-	-	1.78	(**)

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

(*) En plantas típicas de lodos activados. Lb/MG = Libras por millones de galones de agua residual tratada.

(**) La relación que se utilizó en éste experimento, es decir, 1.78 gramos de lodo primario por cada gramo de lodo activado.

Se hicieron detreminaciones a los lodos espesados crudos previas al desarrollo del experimento, ver tabla 4.2, que muestra las características de los lodos crudos que se utilizaron

para éste estudio. En el Anexo en la tabla 4.6, se muestran los datos del lodo primario espesado crudo, así como información adicional de los lodos activados y las mezclas de lodo activado con lodo primario, en las tablas 4.7 y 4.8 del anexo.

Tabla 4.2 Características del lodo espesado crudo estudiado.

Parámetros	Características de lodo activado crudo.			Características de la Mezcla de 1:1.78 de lodo activado a lodo primario crudo.	
Fecha	21/3/81	9/5/81	20/6/81	9/5/81	20/6/81
Temp. °C	25.0	25.4	26.0	26.0	26.0
pH	7.0	7.5	6.8	7.0	6.8
SST mg/l	6,700	6,300	6,900	8,000	9,800
SSF mg/l	1,340	1,000	2,400	1,500	3,300
SSV mg/l	5,360	5,300	4,500	6,500	6,500
DQO mg/l	7,500	6,200	8,300	10,300	11,500
O.PO ₃ mg/l	50.0	50.0	30.0	40.0	50.0
PO ₄ -T mg/l	60.0	100.0	80.0	110.0	100.0
N-NH ₃ mg/l	70.0	90.0	190.0	50.0	120.0
N-Org. mg/l	130.0	60.0	80.0	70.0	90.0
N-T mg/l	200.0	150.0	270.0	120.0	210.0
k, mg/l/min.	1.3	1.0	1.2	2.6	1.65

Durante las pruebas se burbujearon 100 cm³ /min de aire a los 5 litros de lodo. Las pérdidas por evaporación se repusie--

ron diariamente añadiendo agua destilada, de ésta manera se -
 mantuvo un volumen de 5 litros.

El tiempo de retención seleccionado y el volumen del ---
 reactor, controló el tamaño de la muestra extraída y la ali--
 mentación de lodo crudo agregado diariamente. La tabla 4.3 -
 muestra los tiempos de retención hidráulicos ó tiempos de re-
 tención celular ($\theta_h = \theta_c$), los volúmenes muestreados y ali-
 mentados a los reactores, usados en éste estudio de digestión.

Tabla 4.3 Tiempos de retención (θ_h) y volúmenes
 muestreados y alimentados usados en el
 estudio de digestión aeróbica.

Tiempo de retención Hidráulico en días- (θ_h).	volúmenes muestreados y/o alimentados a cada uno de los reactores en ml.
10	500.0
15	333.3
20	250.0
25	200.0

La alimentación a los reactores de tipo semicontinuos, se-
 efectuó una vez por día, a las 15:00 hrs. después de reponer -

el agua evaporada y de extraer la muestra del mismo volumen a cada uno de los reactores. Las muestras fueron recolectadas en frascos, a las cuales se les efectuaron análisis.

Este estudio de digestión se continuó hasta que los análisis del efluente fueron relativamente constantes, esto es, que fueron logradas las condiciones de equilibrio. Esto puede observarse en los datos reportados en las tablas 4.9 y 4.10 y en las gráficas de las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 del anexo.

Los análisis efectuados fueron en base a un programa indicado en la tabla 4.5. De las muestras extraídas cada tercer día, se efectuaron diversos análisis los días lunes y jueves de cada semana.

Las determinaciones que se efectuaron en las muestras terciadas, fueron DQO, SST, SSV, pH, Tasa de consumo de Oxígeno y temperatura. También se hicieron determinaciones a tiempo cero, a mediados y al final del período de la digestión, de la concentración de nutrientes (NH₃, N-Org., PO₄ y O.PO₃) en los lodos mezclados, los métodos de ensaye empleados, fueron los indicados por los Métodos Estándar (3).

Los datos reportados en la tabla 4.4, y en las gráficas -

de las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 del anexo, representan - que se lograron las condiciones de equilibrio para cada período de retención.

Tabla 4.4 Resultados obtenidos de las características promedio de los lodos estabilizados.

Tiempo de aeración- (días) *	Tipo de Lodo	SST en mg/l	SSV en mg/l	DQO en mg/l	mg/l de OD min. (k)
10	Activado	4,050	2,350	5,000	0.15
15	Activado	3,300	2,300	4,000	0.09
20	Activado	3,150	2,250	3,000	0.06
25	Activado	3,400	1,900	3,800	0.05
10	LA+LP**	6,800	4,000	8,000	0.40
15	LA+LP**	6,200	3,450	7,150	0.25
20	LA+LP**	6,000	3,400	6,600	0.20
25	LA+LP**	4,760	3,000	6,800	0.12

* También : tiempo de retención hidráulico ó de retención celular.

** Mezcla de lodo activado mas lodo primario.

4.3. PROCEDIMIENTO ANALITICO.

Los análisis fueron efectuados por triplicado en todos los reactores, empleando los Métodos Estandar (3).

Para la elaboración de los análisis, debido a la cantidad y a la frecuencia de éstos, se realizó un programa de trabajo, que especifica con que frecuencia, se deben realizar los ensayos.

Tabla 4.5 Determinaciones y Frecuencia de los análisis

Análisis (nombre y simbolo)	Frecuencia semana	Observaciones
Demanda Química de Oxígeno, (DQO)	2	Los análisis -
Sólidos Suspendedos Totales, (SST)	2	se efectuaron-
Sólidos Suspendedos Volátiles, (SSV)	2	con la misma -
Sólidos Suspendedos Fijos, (SSF)	2	frecuencia en-
Tasa de Utilización de Oxígeno, (k)	2	cada uno de --
Temperatura, (T)	7	los reactores.
Potencial de Hidrógeno, (pH)	7	
Ortofosfatos, (O.P03)	-	Se realizaron-
Fosfatos Totales, (PO4-T)	-	tres análisis,
Nitrógeno Total, (N-T) *	-	al efluente de
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH3)	-	cada reactor;-
Nitrógeno Orgánico, (N-Org.)	-	uno al inicio,
		otro intermedio y al final.

* Conocido frecuentemente como Nitrógeno Total Kjeldahl.

Nota: A los lodos espesados crudos, se les efectuaron todos --

los análisis mencionados en la tabla 4.5 para su adecuada caracterización.

4.3.1 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno, (DQO).

La DQO se basa en el hecho de que todos los compuestos orgánicos, con raras excepciones pueden ser oxidados a bióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), mediante la acción de un fuerte agente químico oxidante (Dicromato de Potasio), en un medio ácido.

Los datos correspondientes a las determinaciones de DQO fueron obtenidos, siguiendo el procedimiento descrito en la sección 508 de Métodos Estándar (3). Para el análisis, se utilizaron 1 ml. de muestras, técnica de control y blanco. Los resultados fueron reportados en mg/l.

Los valores de DQO para lodo activado crudo y espesado, fluctuaron entre 4,940 a 10,099 mg/l, con una concentración promedio de 6,888 mg/l. El lodo primario crudo y espesado, el rango fué de 13,347 a 48,641 mg/l, con una concentración promedio de 34,198 mg/l.

4.3.2 Determinación de Sólidos .

Los sólidos totales , se clasifican en sólidos suspendidos y sólidos filtrantes, haciendo pasar un volumen conocido -

de líquido por un filtro, de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos se aproximadamente de una micra. Los sólidos suspendidos volátiles, refiriéndose al contenido orgánico y sólidos suspendidos fijos, refiriéndose al contenido inorgánico.

El parámetro más usado como medida de la masa activa en los reactores (sólidos biológicos), es la concentración de sólidos suspendidos volátiles, aún cuando no sea del todo satisfactoria, ya que, no toda la materia orgánica (SSV) presente en el contenido del reactor está constituida por material celular activo (ejemplo: material celular inerte).

Los SST y los SSV fueron evaluados mediante el procedimiento descrito en la sección 208D y 208E del Métodos Estándar (3). Se utilizaron 5 ml de muestra. Los resultados fueron reportados en mg/l.

Los valores de SST del lodo activado crudo y espesado, fluctuaron entre 3,460 a 20,380 mg/l, con una concentración promedio de 9,488 mg/l de SST y los SSV fluctuaron de 1,700 a 16,160 mg/l. Con una concentración promedio de 7,151 mg/l. Para el lodo primario crudo y espesado los rangos observados fueron de 16,080 a 33,236 mg/l de SST, con una concentración promedio de 24,393 mg/l de SST y de 10,990 a 26,706 mg/l de SSV, con una concentración de 19,120 mg/l de SSV.

4.3.3 Determinación del Potencial de Hidrógeno, (pH)

El pH es un indicador de la intensidad de los ácidos ó álcalis; está normalmente asociado con procesos específicos - enzimáticos. La actividad enzimática se acerca a un máximo -- para cierto rango de pH, abajo ó por encima de éste dicha actividad decae.

Para esta determinación se utilizó un peachímetro Beckman modelo Zeromatic IV.

Los valores de pH para lodo activado crudo y espesado, fluctuaron entre 6.8 a 7.5, con un pH promedio de 7.2 y para el lodo primario crudo y espesado, el rango fué de 6.4 a 7.2- y el pH medio de 7.0.

4.3.4 Determinación de Nitrógeno Amoniacal, (N-NH₃).

Los nutrientes básicos para la síntesis de proteínas son el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P), por lo que se debe conocer el contenido de éstos en los lodos.

El Nitrógeno presente en los lodos básicamente se encuentra en forma de urea y materia protéica, las bacterias por descomposición cambian facilmente estas formas a Nitrógeno Amoniacal. En un ambiente aeróbico, las bacterias pueden oxidar el Nitrógeno en forma de Nitritos y Nitratos. El predominio del

Nitrógeno en forma de Nitratos, indica que el agua residual - se ha estabilizado con respecto a la demanda de Oxígeno.

Para la determinación de N-NH₃ se utilizaron los procedimientos indicados en las secciones 418A y 418D de Métodos Estandar (3). Se utilizaron 50ml. de muestra; los resultados fueron reportados en mg/l.

Los valores de N-NH₃ para lodo activado crudo y espesado fluctuaron entre 1.55 a 190.0 mg/l, con una concentración promedio de 71 mg/l y para lodo primario crudo y espesado el rango fué de 0.6 a 1.3 mg/l, con una concentración promedio de 0.85 mg/l de N-NH₃.

4.3.5 Determinación de Nitrógeno Orgánico, (N-Org.).

Esta determinación se efectuó como se indica en la sección 421 de Métodos Estandar (3). Los resultados fueron reportados en mg/l.

Los valores de N-Org. para lodo activado espesado crudo fluctuaron entre 60 a 540 mg/l de N-Org., con una concentración promedio de 213 mg/l de N-Org. y para lodo primario crudo y espesado el rango fué de 95 a 690 mg/l, con una concentración promedio de 453 mg/l de N-Org.

Los datos de Nitrógeno total Kjeldahl se obtienen sumando los valores del N-NH₃ con los de N-Org.

4.3.6 Determinación de Fosfatos Totales, (PO₄-T).

Las formas más frecuentes de encontrar el Fósforo son: - solubles ó en los cuerpos de organismos acuáticos, como ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos, a diferencia de las otras formas, se hallan disponibles para el metabolismo biológico sin precisar de posterior desdoblamiento de su estructura.

Se determinaron por el método de digestión con persulfato de amonio y el método colorimétrico empleando el ácido Vanadomolibdofosfórico, descritos en las secciones 425C III y 425D de los Métodos Estándar (3). Se utilizó 1 ml. de muestra; los resultados fueron reportados en mg/l.

Los valores de PO₄-T para lodo activado crudo y espesado fluctuaron entre 11.9 a 335 mg/l, con una concentración promedio de 88 mg/l de PO₄-T y para lodo primario crudo y espesado el rango fué de 11 a 360 mg/l, con una concentración promedio de 224 mg/l de PO₄-T.

4.3.7 Determinación de Ortofosfatos, (O.PO₃).

Se necesitó 1 ml. de muestra y se ejecutó siguiendo el método colorimétrico, mediante el ácido Vanadomolibdofosfórico, descrito en la sección 425D de Métodos Estándar (3). Los resultados se reportaron en mg/l.

Los valores de O_2PO_3 para lodo activado crudo y espesado fluctuaron entre 10.6 a 50 mg/l, con una concentración promedio de 20.3 mg/l de O_2PO_3 y para lodo primario crudo y espesado el rango fue de 10 a 142 mg/l, con una concentración promedio de 67 mg/l de O_2PO_3 .

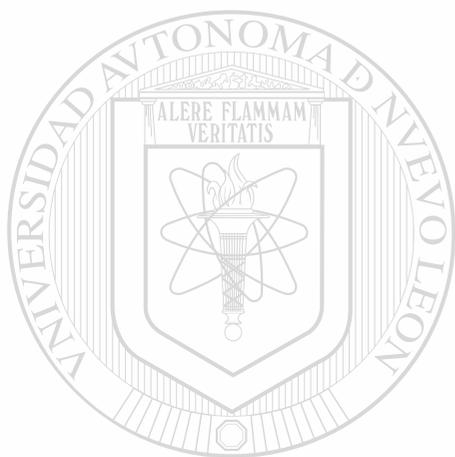
4.3.8 Determinación de la Tasa de Utilización de Oxígeno, (k).

El oxígeno disuelto presente en las muestras de lodos, se efectuó mediante un electrodo de membrana, sensitivo al oxígeno, conectado a un medidor de oxígeno modelo YSI 54A. Los valores obtenidos se registraron en un graficador Soltec-modelo VP-67235, midiéndose la relación de concentración del oxígeno disuelto contra tiempo. La muestra se preparó siguiendo el procedimiento de la sección 213B de Métodos Estándar (3); los resultados de (k) fueron reportados en mg OD/l/min.

Para calcular la tasa de demanda de oxígeno, (TDO) se dividió la "k" entre la concentración de los SSV del efluente de cada reactor. Los resultados de la TDO fueron reportados en

mg de OD/ g de SSV/ hr,

De éste parámetro no se da el rango y el promedio de los valores de los lodos crudos y espesados, porque los datos obtenidos fueron pocos.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

5.- DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Reducción de la Demanda Química de Oxígeno, (DQO).

Las concentraciones promedio de la DQO ya estabilizadas, obtenidas durante la digestión aeróbica de las mezclas de lodo primario mas lodo activado, son mayores que las concentraciones en los lodos activados digeridos solos, como se muestra en la tabla 4.4.

Se observa de los datos del porcentaje de reducción de la DQO en la tabla 5.1 del anexo y de su representación gráfica en la figura 5.1, que los reactores que contienen mezclas de lodo activado mas lodo primario a 25°C, con un tiempo de retención celular (θ_c) de 25 días, alcanzan un máximo de 41% de reducción de la DQO.

Considerándose así que al cabo de éste tiempo (25 días), los reactores ya están debidamente estabilizados, tal como se observa en la figura 5.1; aunque la eliminación de la DQO continúa a medida que aumenta el tiempo de retención, las reducciones de la DQO son leves.

Metcalf y Eddy (2), reportan que los tiempos de retención hidráulico (θ_h) recomendados para la digestión aeróbica de mezclas de lodo activado mas lodo primario a 20°C, son de 18 a 22 días.

Burton (15), reportó que el porcentaje de reducción de la DQO en la estabilización de los lodos primarios, digeridos aerobícamente en reactores de flujo semicontinuos, con una carga orgánica de 0.1 y 0.14 Lb. de SSV/ft³ de digester/día a 35°C y un tiempo de retención medio de 8 días, fué de 70 a 82% en el sobrenadante y en los lodos la reducción de la DQO fué de 45 a 48%.

En éste estudio, los lodos activados solos, a 25°C en un tiempo de retención celular (θ_c) de 25 días, alcanzaron 54% de reducción de la DQO.

Metcalf y Eddy (2), indican que los tiempos de retención hidráulicos recomendados para la digestión aeróbica de los lodos activados solos a 20°C, son de 12 a 16 días.

Observándose que también en éste estudio, se llegó más pronto a la estabilización del lodo activado solo, que de la mezcla de lodo activado y lodo primario.

Jaworski, Lawton y Rohlich (20) reportaron, que en estudios de digestión aeróbica de lodos activados, efectuados por Eckenfelder, a 25°C por un período de aeración de 7 días, mostraron una reducción en la DQO de 48.5%.

A diferencia de éste estudio, que para lograr el 48.5% de reducción en la DQO se requieren 16.5 días de aeración.

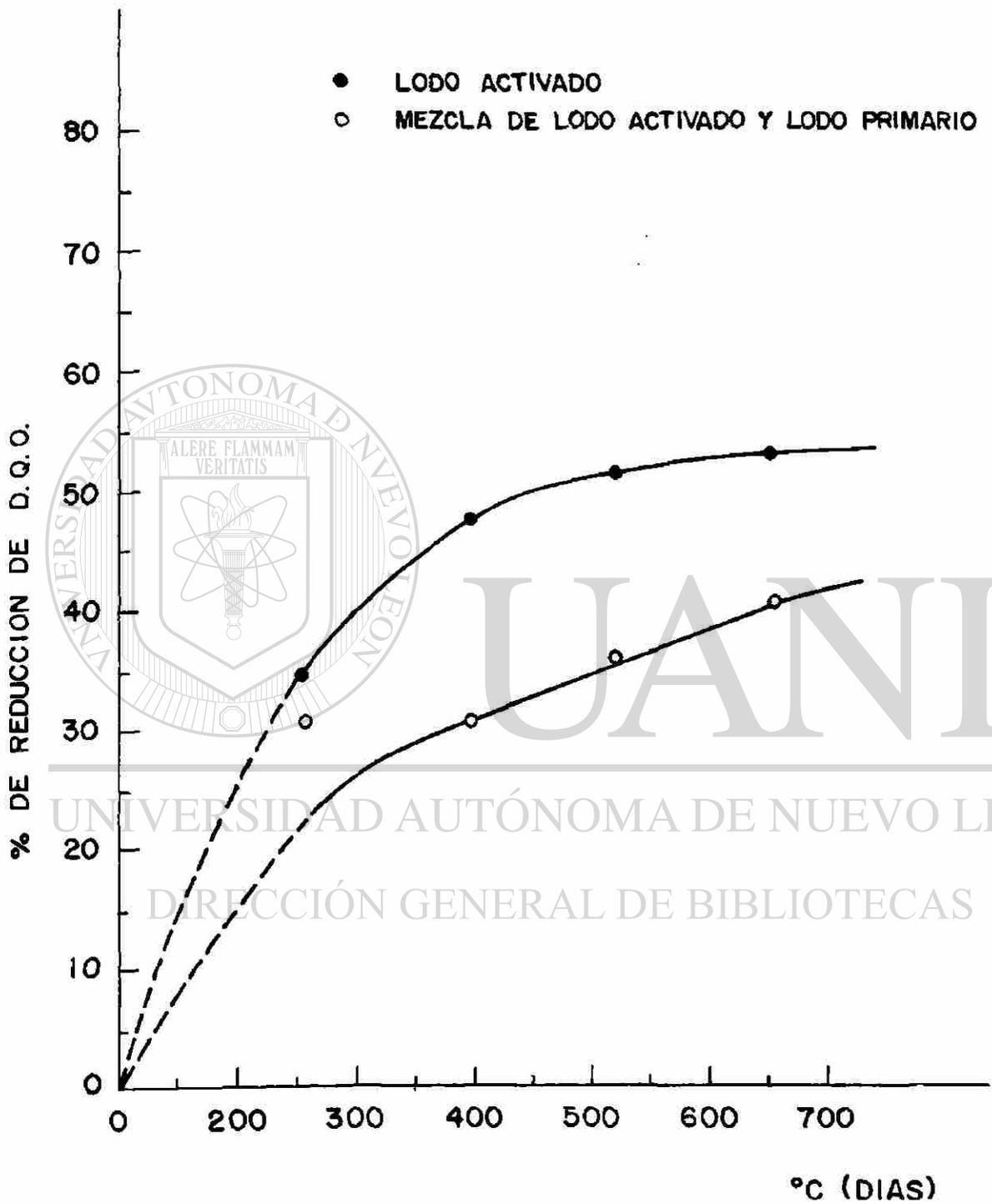


FIGURA 5.1 PORCIENTO DE REDUCCION DE D.Q.O. CONTRA EL PRODUCTO DE LA TEMPERATURA (°C) Y EL TIEMPO DE RETENCION CELULAR (DIAS).

5.2 CAMBIOS DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).

Anderson y Mavinic (51), reportaron que es conveniente en la digestión aeróbica de lodos activados, controlar el pH a valores entre 7 y 8 unidades, empleando cal.

En el presente estudio, el pH se mantuvo en un rango que varió de 7.8 a 5.2 unidades en la digestión aeróbica de los lodos activados solos.

Metcalf y Eddy (2), indicaron que los pH bajos, se encuentran principalmente en tiempos de retención largos.

En éste trabajo los valores de pH (5.2 unidades), se registraron para los lodos activados, en tiempos de retención celular (θ_c) prolongados es decir de 15, 20 y 25 días. Ver tabla 5.2 en el anexo.

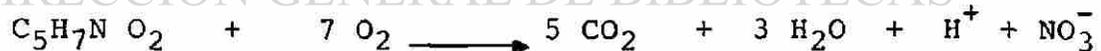
En investigaciones conducidas por Jaworski, Lawton y Rohlich (20), en la digestión aeróbica de mezclas de los lodos activados y lodos primarios a temperaturas de 15°, 20° y 35°C, encontraron que los valores de pH aumentaron inicialmente para tiempos de retención de 10 días hasta un valor de 8.0 unidades; y después bajaron gradualmente a valores cercanos a 5.0 unidades, en los lodos ya estabilizados y con tiempos de retención superiores a los 25 días.

En este estudio, el pH se mantuvo (en la digestión -- aeróbica de las mezclas de lodos), en un rango que varió de - de 7.8 a 6.0. Los valores de pH de 6.0 se presentaron, duran- te los últimos días de digestión, en los tiempos de retención de 15, 20 y 25 días. Ver tabla 5.3 en el anexo.

Así, los valores de pH bajos (5.2 unidades) se registra ron principalmente en los lodos activados solos, después de un tiempo de retención celular (θ_c) de 10 días. Este efecto tam- bién se observó en las mezclas de lodos, aunque (los pH bajos de 6.0) se observaron en un plazo mayor.

Lo cual probablemente se debe a que se produjo la res--- piración endógena, que es representada por la siguiente ecua--- ción empírica:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



pero como la aeración continúa, el Nitrógeno celular es des -- truido y liberado a la solución en forma de NH₃, prosiguiendo la oxidación de NH₃ a NO₃⁻ por los organismos de género Nitro-- bacter y Nitrosomonas que son responsables de ésta conversión, presentandose en la nitrificación , la formación de ácidos que bajan el pH.

5.3 VARIACIONES DE LOS NUTRIENTES.

En los procesos biológicos son necesarios los compuestos de Nitrógeno y Fósforo como nutrientes para crecimiento bacteriano, los cuales se encuentran en los lodos primarios y secundarios procedentes de plantas de tratamiento de desechos municipales presentes en cantidades suficientes para la alimentación de microorganismos, por lo cual no se requiere adicionarles más Nitrógeno y Fósforo a las unidades de digestión. Ver las concentraciones de PO_4^{3-} , PO_4-T , N-Org. y NH_3 en la tabla 5.4 y 5.5 del anexo.

Se efectuaron pocas determinaciones de los parámetros antes mencionados, durante el estudio de los lodos activados solos y las mezclas de lodos, por lo que no tienen mucho significado estadístico. Sin embargo una posible explicación en cuanto a la descomposición aeróbica del Nitrógeno orgánico procedente de proteínas ó ácidos nucleicos, se puede resumir en la transformación de N Org. a NH_3 y de éste ocurre una transformación a N- NO_2 y posteriormente a N- NO_3 (ver referencia 5, 10, 15 y 25).

Las concentraciones de N-Org. y PO_4-T en las muestras de lodos variaron mucho debido a lo heterogeneo de los lodos y que al efectuarse los análisis fué necesario utilizar pequeños volúmenes de lodo.

5.4.- TASA DE LA DEMANDA DE OXIGENO, (TDO).

Se considera como la TDO, a la cantidad de oxígeno consumido por la biomasa expresado en mg de O_2 /hr/gr de SSV.

La TDO, disminuyó conforme aumentó el tiempo de retención celular (θ_c), como se observa en la gráfica representada en la figura 5.2.

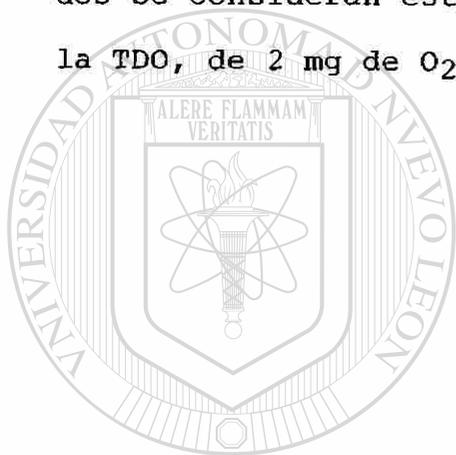
Los datos indicados en la tabla 5.6, no representan el consumo promedio de oxígeno por día, porque no se efectuó una serie de mediciones del oxígeno consumido, antes de hacer la alimentación y después en el transcurso de las 24 horas del día.

En éste trabajo las mediciones de la TDO se hicieron solamente antes de alimentar el lodo crudo a los reactores, por lo cual representan unicamente las variaciones relativas de la TDO, con respecto al tiempo de retención celular. Sin embargo de acuerdo a la literatura (2,30 y 52), en sistemas bajo condiciones mesofílicas, el valor para diseño recomendado es de 2 Kg de O_2 /Kg de SSV.

La TDO en las mezclas de lodos, para θ_c de 25 días fué de 2.4 mg de O_2 / gr de SSV/hr y en los lodos activados solos fué 1.58 mg de O_2 /gr de SSV/hr.

Los valores de la TDO obtenidos para lodos activados --
solos, estan en el rango de los valores típicos reportados en-
la literatura (2,30 y 52).

En ella se indica que para digestión aeróbica, los lo--
dos se consideran estabilizados, cuando alcanzaron valores de-
la TDO, de 2 mg de O₂/gr de SSV/hr ó menores a éste.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

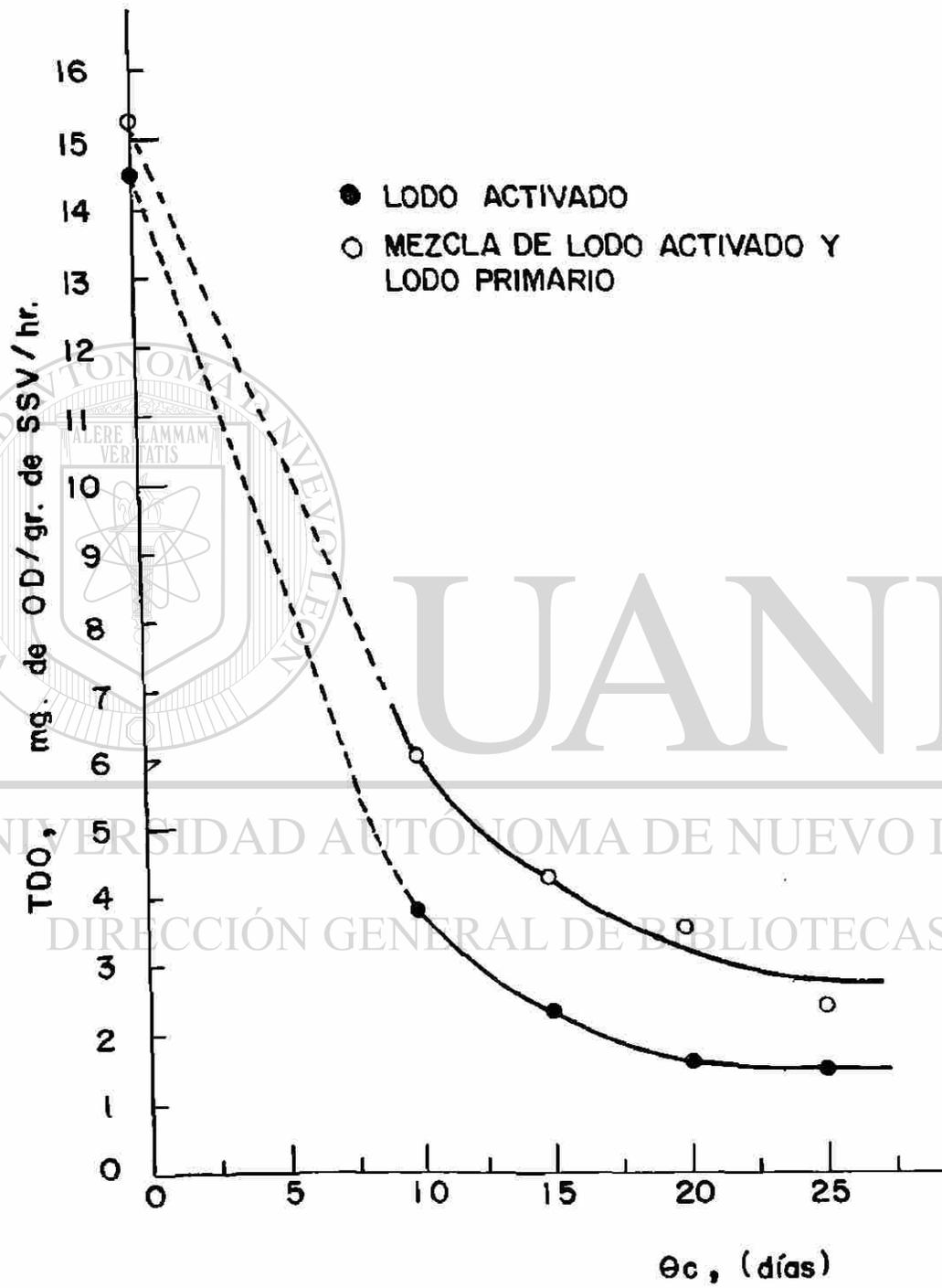


FIGURA 5.2 TASA DE LA DEMANDA DE OXIGENO, (TDO) CONTRA TIEMPO DE RETENCION CELULAR (θ_c).

5.5 DESTRUCCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (SSV).

Los análisis de los resultados obtenidos de las concentraciones de SSV, son mostrados en las tablas 4.9 y 4.10 del anexo y son representados gráficamente en las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 del anexo.

Estos datos son importantes, porque verifican que los reactores alcanzaron las condiciones de equilibrio y se observa aproximadamente en cuanto tiempo lo logró cada uno de los reactores.

La cantidad de los SSV destruidos en el lodo activado y en la mezcla de lodo activado con lodo primario, depende de la concentración inicial de los SSV en el lodo crudo alimentado. En éste estudio, del 65 al 84% de los SST son SSV.

En la tabla 5.7 del anexo, se observan los datos del porcentaje de reducción de los SSV y su representación gráfica en la figura 5.3 .

Los reactores que contenían lodo activado solo, a una temperatura de 25°C, con un tiempo de retención celular (θ_c) de 10 días, alcanzaron un 56% de reducción de los SSV. Según la figura número 5.3, para tiempos de retención hidráulicos al

go menores de 10 días, se puede lograr la estabilización práctica de los lodos; aún cuando la destrucción de los SSV continúa (hasta un 58% para tiempos de retención celular de 25 días).

Eckenfelder (29), encontró en un estudio que realizó a 23°C, en un reactor de flujo discontinuo (Batch), que 11.1 días fué el mínimo tiempo de retención requerido, para obtener la máxima reducción práctica, del 65% de los SSV en los lodos activados solos; y en un reactor de flujo continuo obtuvo el 60% de los SSV destruidos, al digerir los lodos activados durante 15 días.

En éste trabajo la máxima reducción en los lodos activados solos, se alcanzó aproximadamente para un tiempo de retención de 10 días.

En los reactores que contenían mezclas de lodo activado y lodo primario a 25°C, para un tiempo de retención de sólidos (θ_c) de 25 días, se alcanzó un 54% de reducción de los SSV. Se considera que un θ_c de 25 días, es suficiente para obtener la estabilización de éstos lodos, como se observa en la figura 5.3 .

Jaworski, Lawton y Rohlich (20), encontraron que el por

ciento de reducción de los SSV en la estabilización de mezclas de lodo primario y lodo activado (digeridos aerobicamente) en reactores de flujo continuo, a una temperatura de 20°C y con un tiempo de retención de 15 días, fué del 43% y en 30 días, fué de solo 44%.

En el estudio aquí reportado se obtuvieron valores de reducción de los SSV similares (47%), para tiempos de retención de 15 días y a una temperatura de 25°C.

El hecho de que en un tiempo de retención menor se estabilizaron los lodos activados solos, comparado con el tiempo de retención de las mezclas de lodos activados y lodo primario, se debe posiblemente a que la digestión aeróbica de los lodos-activados solos, es simplemente una prolongación del metabolismo endógeno; ésto en un proceso de un solo paso. En cambio, en la digestión de mezclas de lodo primario y lodo activado, el lodo primario contenido en la mezcla, es una fuente de sustrato, el cual es utilizado para el crecimiento de los microorganismos y después el proceso de digestión, es continuado hasta la estabilización dentro de la fase endógena.

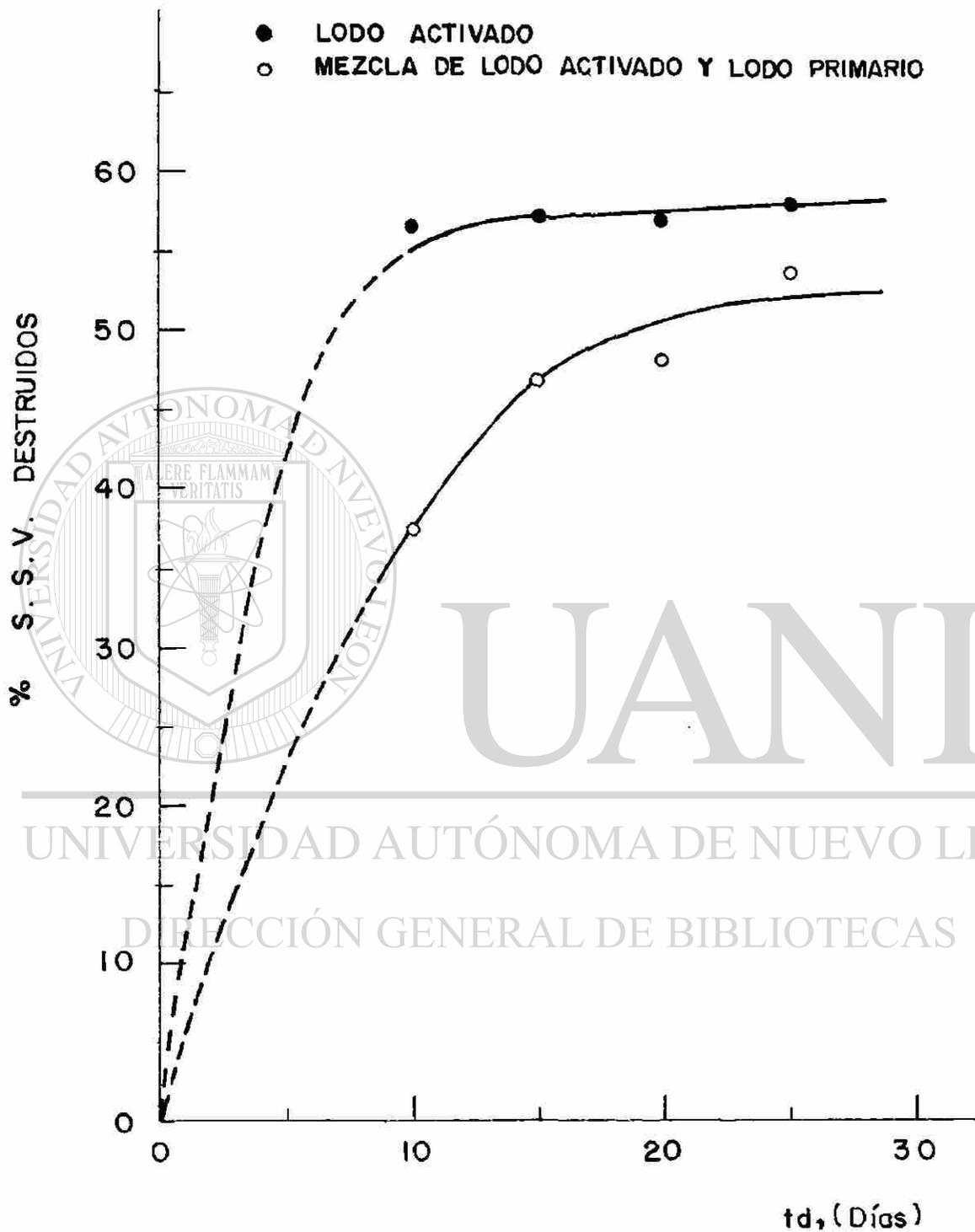


FIGURA 5.3 PORCIENTO DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES DESTRUIDOS (% S.S.V.) CONTRA TIEMPO DE AERACION, (td).

5.6.- CINETICA DEL DECAIMIENTO BACTERIANO.

El modelo matemático desarrollado por Adams (ecuación 11), puede utilizarse para reactores con flujo continuo, completamente mezclado y sin retorno de lodos; para determinar los coeficientes de destrucción de los SSV (K_d), al digerir lodos activos solos y mezclas de lodos.

En la tabla 5.9 del anexo, de acuerdo con el modelo matemático antes mencionado, se hizo un análisis, para determinar los coeficientes (K_d).

Los datos de ésta tabla se vaciaron a la gráfica de la figura 5.4, se anotaron: en el eje "y" los valores $(X_0 - X_e) / (X_e - X_n)$ y en el eje "x", los valores de los tiempos de aeración ó de retención celular ($t_d = \theta_c$), en días.

Se trazaron líneas rectas, ajustadas por el método de mínimos cuadrados y las pendientes de las líneas, nos dieron los valores de " K_d ", en días^{-1} .

En este estudio, no se determinaron las fracciones de los SSV no degradables (X_n), que permanecieron constantes durante el período de aeración.

Por lo que se emplearon datos de otro estudio, efectuado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, ubicado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Se presentan en la tabla 5.8, los valores de "Xn" obtenidos en reactores de flujo discontinuo (Batch), después de 30 días de aeración empleando lodos activados solos y mezclas de lodos.

En base a éstos datos, se estimó el porcentaje de los SSV no degradables, en función de las concentraciones de los SSV influentes.

Tabla 5.8 SSV no degradables obtenidos en reactores de flujo discontinuo (Batch).

Tiempo de Aeración	Tipo de Lodo	SSV gr/l	% de SSV no degradables (*)
0 (crudo)	Activado	7.140	---
30 (digerido)	Activado	1.660	23.3
0 (crudo)	P+A (**)	6.240	---
30 (digerido)	P+A (**)	2.410	38.6

(*) Para estimar los valores de Xn (datos de otro trabajo efectuado en la Facultad de Ingeniería Civil).

(**) Lodo primario mas lodo activado

En éste estudio, el coeficiente (Kd), para tiempos de re--

tención celular mayores de 10 días, fué de 0.021 días^{-1} para lodos activados solos.

Este valor del coeficiente (Kd) obtenido, fué menor a los valores reportados en la literatura (Tabla 5.10).

Aparentemente para tiempos de retención de sólidos, menores de 10 días, se puede obtener la mayor parte de la estabilización de los lodos activados solos (figura 5.4).

Esto puede ser también fundamentado; con la rápida disminución de la Tasa de Demanda de Oxígeno y del porcentaje de destrucción de los SSV, ocurrida antes del período de retención de 10 días, como se observa en las figuras 5.2 y 5.3.

Debido a lo antes mencionado, se consideró para calcular "Kd", una línea recta (A-B en la figura 5.4) que parte del origen ($t_d=0$ días) hasta un tiempo de aeración (t_d) de 10 días.

El valor del coeficiente "Kd" probable, se determinó de la pendiente de ésta línea (A-B), y fué de 0.273 días^{-1} , el cual es, ligeramente mayor que los valores típicos reportados en la literatura, para reactores de flujo continuo. Ver tabla 5.10 y 5.11.

En las mezclas de lodos, se alcanzó casi el total de la -

estabilización a los 25 días de aeración continua, obteniéndose así un coeficiente "Kd" de 0.333 días⁻¹.

El valor del coeficiente (Kd) obtenido para las mezclas de lodo, fué casi del doble de los valores reportados en la literatura, ver tabla 5.11.

El valor del coeficiente "Kd" determinado, para el lodo activado solo, es menor que, el valor del coeficiente "Kd" para mezclas de lodos.

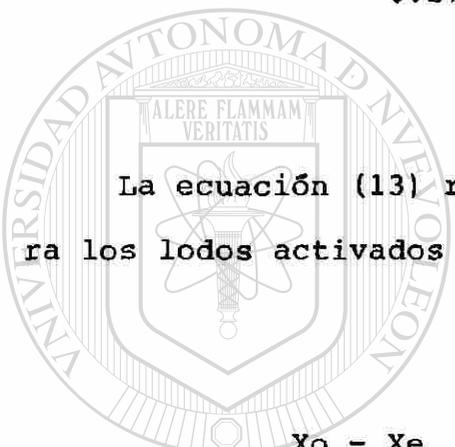
También se advierte en la figura 5.4, que en las mezclas de lodos, hay una fase de retraso, observándose que antes de (td) 6 días no hay reducción de los SSV.

Lo anterior posiblemente se debió, a que en las mezclas de lodos; el lodo primario contiene la mayor parte de la materia orgánica presente, la cual es una fuente de alimento para la biomasa activa contenida en el lodo activado, por lo que el metabolismo y crecimiento ocurren primero, produciéndose más células y subproductos minerales, removiendo la materia orgánica inerte, para después llegar a la fase endógena

Aplicando el modelo desarrollado por Adams (ecuación 11),

las ecuaciones de diseño estimadas para éste trabajo, pueden--
 ser expresadas como sigue:

$$t_d = \frac{X_o - X_e}{0.273 (X_e - 0.233 X_o)} \dots\dots\dots (13)$$



La ecuación (13) representa, la degradación de los SSV pa
 ra los lodos activados solos.

U A N L

$$\frac{X_o - X_e}{X_e - X_n} = K_d t_d + C \dots\dots\dots (14)$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Despejando t_d de la ecuación (14) nos queda:

$$t_d = \frac{1}{K_d} \frac{X_o - X_e}{X_e - X_n} - \frac{C}{K_d} \dots\dots\dots (15)$$

Donde: C= intercepción= -1.932

$$C/K_d = -1.932/.333 \text{ días}^{-1} = -5.82 \text{ días}$$

Sustituimos datos en el modelo anterior y nos dió la ecuación de diseño:

$$t_d = \frac{X_o - X_e}{.333 (X_e - .386 X_o)} + 5.82 \dots\dots\dots (16)$$

La ecuación (16) representa la degradación de los SSV para mezcla de lodo activado y lodo primario.

El coeficiente de la correlación calculado, para la ecuación (16) fué de 0.93 .

Las ecuaciones anteriores, pueden ser utilizadas para estimar las posibles reducciones de los SSV a cualquier tiempo de retención celular, en reactores de flujo continuo ó semicontinuo.

Las correcciones a los coeficientes "Kd", por cambios de temperatura, pueden efectuarse aplicando el modelo matemático desarrollado por Arrhenius (ecuación 12).

$$(Kd)_t = 0.273 (1.05)^{T-25} \dots\dots\dots (17)$$

La ecuación (17) representa la corrección al coeficiente-

"Kd", para lodos activados solos (en reactores de flujo continuo ó semicontinuo).

$$(Kd)_T = 0.333 (1.05)^{T-25} \dots\dots\dots (18)$$

La ecuación (18) representa, la corrección al coeficiente "Kd" para mezclas de lodos (en reactores de flujo continuo ó semicontinuos).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



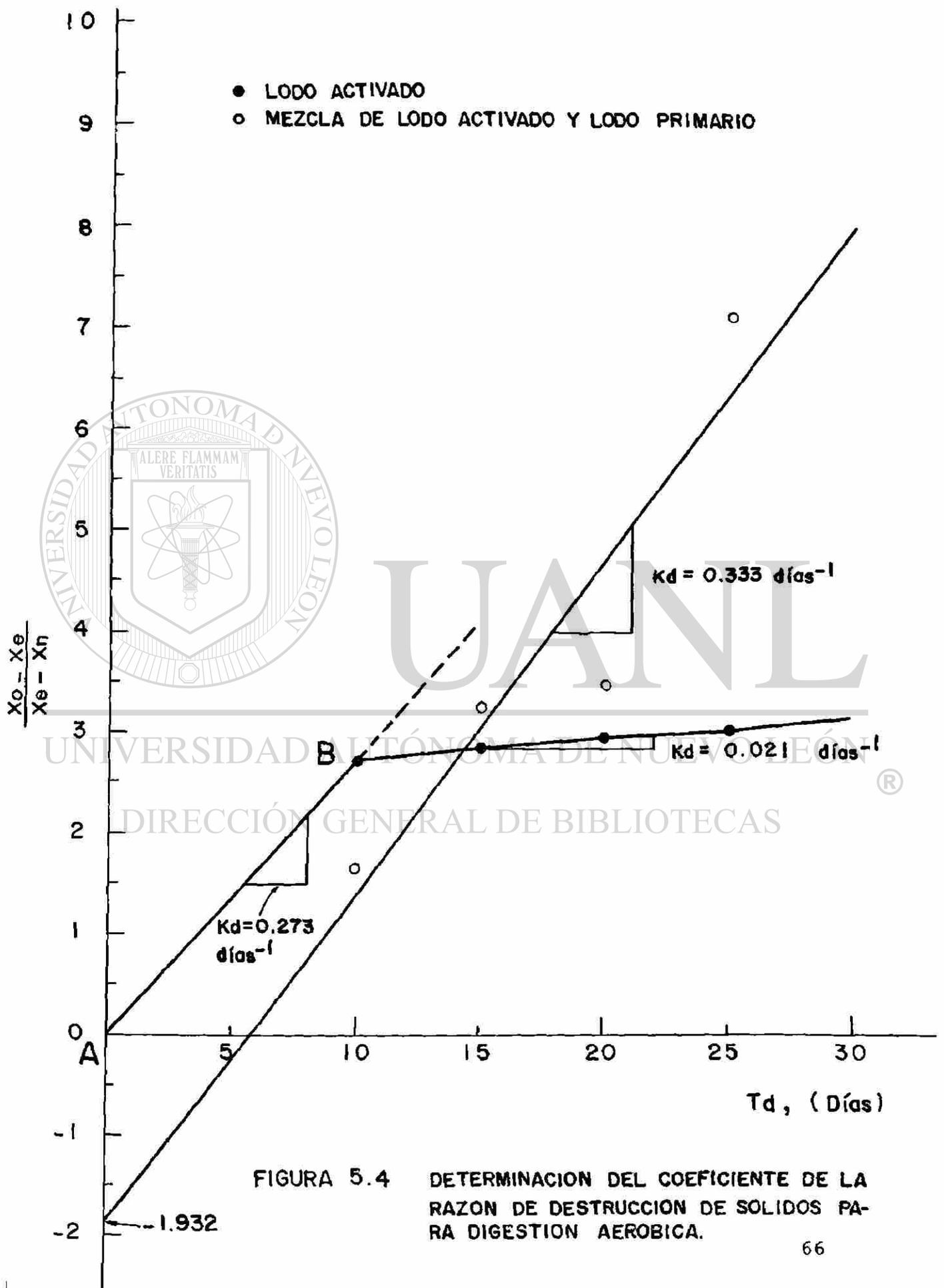


Tabla 5.10 VALORES DE " Kd ", REPORTADOS EN LA LITERATURA PARA LODOS ACTIVADOS.

Kd/(días)	Concentración de SST (mg/l)	Tipo de Reactor	Temperatura °C	Referencia
base				
0.724 e	8,400	Batch	----	Reynolds (21)
0.620 e	12,400	Batch	----	Reynolds (21)
0.510 e	15,050	Batch	----	" " "
0.440 e	21,260	Batch	----	" " "
0.340 e	22,700	Batch	----	" " "
0.850 e	8,360	Batch	----	" " (22)
0.740 e	8,000	Batch	----	" " "
0.530 e	7,535	Batch	----	" " "
0.530 e	7,435	Batch	----	" " "
0.325 e	6,115	Batch	23	Eckenfelder (29)
0.105 10	-----	Batch	30	Benfield (26)
0.105 10	-----	Batch	40	" " " *
0.243 10	-----	Batch	50	" " "
0.250 **	-----	Continuo	30	" " "
0.094 **	-----	Continuo	40	" " "
0.250 **	-----	Continuo	50	" " "

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

* Fundamenta que los coeficientes de la razón para destrucción de los SSV de estudios Batch computados, no son totalmente aplicables al diseño de digestores de flujo continuo.

** Fueron calculados de acuerdo al modelo desarrollado por Adams, para reactores de flujo continuo.

Tabla 5.11 VALORES DE Kd, RECOPIADOS POR REYNOLDS (30)

Tipo de Lodo	Temperatura (°C)	Concentración de Sólidos (mg/l)	Kd (Días)
Lodo primario con lodo activado de desecho.	15	32,000	0.017 ^h
Lodo primario con lodo activado de desecho.	20	32,000	0.180 ^h
Lodo primario con lodo activado de desecho.	35	32,000	0.177 ^h
Lodo primario con lodo activado de desecho.	--	-----	0.30 ^a
LODO ACTIVADO DE DESECHO			
Desechos Municipales	25	7,800	0.71 ⁿ
Desechos Municipales	25	12,400	0.62 ⁿ
Desechos Municipales	25	15,050	0.51 ⁿ
Desechos Municipales	25	21,260	0.44 ⁿ
Desechos Municipales	25	22,700	0.34 ⁿ
Desechos Municipales	--	-----	0.28 ^a
Desechos Municipales y Textiles	--	-----	0.43 ^a
Desechos Farmacéuticos	--	-----	0.46 ^a
Desechos gastados de licor de Sulfito.	--	-----	0.19 ^a
Lodo primario con lodo activado de desecho, Desecho de pulpa y papel.	--	-----	0.14 ^a

a E. Barnhart, "Application of aerobic to Industrial Waste Treatment" Proceedings of Th 16h annual Purdue Industrial Waste Conference, May 1961, p. 612

h N. Jaworski, G. W. Lawton and G. A. Rohlich, "Aerobic Sludge Digestion", paper presented at the Conference on Biological Waste Treatment, Manhattan College, New York City, April -- 1960.

n T. D. Reynolds "Aerobic Digestion of Thickened Waste Activated Sludge", Proceedings of the 28th Annual Purdue Industrial Waste Conference, Part 1, May 1973, p. 12.

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los coeficientes (K_d), fueron estimados en base a pruebas de laboratorio, usando reactores a pequeña escala, en condiciones apropiadas para la fase de respiración endógena.

1.- Los resultados obtenidos de éste trabajo, indican que la digestión aeróbica en reactores de flujo semicontinuo, -- completamente mezclados y a una temperatura de 25°C , es -- factible tanto para lodos activados solos, como para mezclas de lodos activados con lodos primarios, éstos fueron generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la compañía, Celulosa y Derivados, S.A., -- ubicada en la ciudad de Monterrey N.L..

2.- Las remociones importantes de la DQO y de los SSV, en la digestión de los lodos activados solos, se observó a tiempos de retención celular cortos.

A los 15 días (θ_c), la reducción de la DQO fué 46.7% y la reducción de los SSV fué de 56.2% para θ_c de 10 días.

3.- La Tasa de la Demanda de Oxígeno en los reactores de prueba, disminuyó al aumentar el tiempo de retención celular.

4.- La digestión de los lodos activados estudiados, puede --- considerarse satisfactoria para tiempos de retención aunmenores de 10 días.

Se logró una remoción de los SSV del 56% para θ_c de 10 días y un máximo del 58% para θ_c de 25 días.

En la mezcla de lodo activado con lodo primario, casi el total de la estabilización, se alcanzó para un tiempo de retención celular de 25 días, obteniéndose un 54% de destrucción de los SSV.

5.- Generalmente se requiere, mayor tiempo de retención para estabilizar mezclas de lodos que para lodos activados solos y obtener el mismo grado de remoción de los lodos -- activados solos.

6.- La ecuación desarrollada por Adams sobre la cinética de primer orden, para reactores completamente mezclados (con flujo continuo) y sin retorno de lodos, se aplicó para obtener los coeficientes "Kd" del presente estudio. Para lodos activados solos, el coeficiente "Kd" hallado, fué de 0.273 días^{-1} y para la mezcla de lodos fué de 0.333 días^{-1} .

El valor de "Kd", obtenido para lodo activado solo, fué ligeramente mayor que los valores reportados en la literatura por Benefield (26).

El valor del "Kd", obtenido par la mezcla de lodos, fué casi el doble de los valores reportados en la literatura por Jaworski según Reynolds (30).

7.- Los lodos activados solos y las mezclas de lodo activado con lodo primario después de digerirlos aeróbicamente, no presentaron olores desagradables durante la aeración y aun después de la estabilización .

8.- Entre los principales problemas encontrados en el desarrollo de ésta tesis. fueron las interrupciones de energía en el sistema eléctrico, por períodos prolongados. Debido a ésto, hubo de reiniciar los trabajos varias veces; por lo cual es recomendable usar en futuros estudios, un sistema de corriente eléctrica auxiliar.

9.- Otro problema que se presentó, fué la prolongación en la duración de los trabajos de laboratorio, debido a los frecuentes problemas en la operación de las bombas, que extraían los lodos del sedimentador primario.

De acuerdo con los análisis efectuados a los lodos crudos almacenados a una temperatura de 4°C, no es conveniente guardarlos por más de 10 días, ya que cambian sus características de calidad.

Por lo cual se recomienda recolectar el substrato (lodo crudo) con frecuencia para mantenerlo en buenas condiciones.

10.- Los valores de pH que se presentaron en los reactores fue

ron más bajos para tiempos de retención largos; se recomienda para otros estudios, ajustar el pH a valores entre 7 y 8, para obtener una mayor eficiencia en el proceso de la destrucción de los SSV.

11.- Para determinar cual es la fracción de los SSV no degradables (X_n), es recomendable emplear un reactor adicional de flujo discontinuo (Batch).

12.- Se recomienda para estudios futuros, que se incluya un reactor adicional, con tiempo de retención hidráulico menor de 10 días para ambos tipos de lodos.

13.- Para reactores de flujo semicontinuo, es necesario calcular el consumo medio horario de cada reactor. Esto se logra efectuando ensayos en el transcurso de las 24 horas. En éste trabajo no se realizó, pero se encontró que la TDO, generalmente disminuyó al aumentar el tiempo de retención celular.

7.- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Ing. Rogelio P. López Sono, "Proyecto de una planta de -- tratamiento de agua residual doméstica para uso industrial del sector Poniente de Monterrey, N. L"., Facultad de Inge^uniería Civil, U.A.N.L., Junio de 1978.
- 2.- Metcalf y Eddy, "Tratamiento y depuración de las aguas re-
siduales", Ed. Labor,S.A., Primera edición en español, Ma-
yo de 1977.
- 3.- APHA, AWWA and WPCF, "Standard methods for the examination
of water and wastewater", 14th edition, 1975.
- 4.- Larry D. Benefield and Clifford W. Randall, "Desing rela -
tion-ships for aerobic digestion", Journal, WPCF, Vol. 50,
p. 518-523, March, 1978.
- 5.- Jacques C. Senez, "Microbiología General", Editorial Alham
bra, Primera edición española, 1976.
- 6.- R. Stein, W. Jewell, W. W. Eckenfelder, "Study of aerobic-
sludge digestion comparing pure oxygen and air", Eng. ----
Bulletin of Purdue Univ., part 1, p. 492, May 2,3 y 4 de -
1972.
- 7.- George E. Barnes, "Tratamiento de aguas negras y desechos-
industriales", Ed. UTEHA, Primera edición en español, Ma--
nual UTEHA, p. 133, 1967.
- 8.- D. G. Stephan and R. D. Schaffer, "Wastewater treatment --
and renovation status of process developent", Journal Water
Pollution Control Fed., Vol. 42, March, 1970.

- 9.- Raymond C. Loehr, "Aerobic digestion: Factors affecting -
desing", W and S. W., p. R-169 a R-180, reference number-
1965.
- 10.- Eckenfelder W. W., Ford, D. L., "Water pollution control-
experimental proesures for process desing", The pemlien-
tor, Press, p. 134-156, 1970.
- 11.- A. F. Gaudy, Jr. M. Ramanathan, P. Y. Yang and T. V. ----
DeGeare, "Studies on the operational stability of the ---
extend aereation process", Journal Water Pollution Control
Federation, Vol. 42, p. 165, February, 1970.
- 12.- Zinsser, "Bacteriologia de Zinsser", UTEHA, Traducción al
español 2a. Edición, p. 40-54, 1964.
- 13.- E. Jauetz, J. Melnick, E. A. Adelberg, "Manual de Bacte-
riología Médica", Editorial El Manual Moderno, S. A.
-
- 14.- T. R. Stall, J. H. Sherrard, "Evaluation of control ----
parameters for the activated sludge process", Journal ---
Water Pollution Control Fed., Vol. 50, March, p. 450-457, 1978.
- 15.- Herman N. Burton, research assistant, J. F. Malina Jr., -
research director, "The use of Radio-Phosphorus in aerobic
sludge stabilization studies", The University of Texas, -
Department of Civil Engineering Environmental Health ----
Engineering, Research Laboratory, Austin, Texas, May 15,
1964.
- 16.- Shyam D. Bokil and J. K. Bewtra, "Application of mechani-
cal blending in the aerobic digestion of waste sludge", -
Water and Sewage Works, January, p. 24-29, 1974.

17.- Hervol, H. J., "Trends in sludge production and disposal",
MSC, Thesis, The University of Texas at Austin, 1976.

18.- Fair, G. M.; Geyer, J. C. and Okun, D. A., "Purificación-
de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales", --
Editorial LIMUSA, Vol. II, p. 617-619, México, 1976.

19.- Vesilind, P. A. and Arbor, "Treatment and disposal of ---
wastewater sludge", Sience publishers, inc., 1974.

20.-N. Jaworski, G. W. Lawton and G. A. Rohlich, Hydraulic and
Sanitary Laboratories, University of Wisconsin, Madison, -
"Aerobic sludge digestion", Int. J. Air and Water Poll. --
Pergamon, Vol. 4, Nº 1/2, p. 106-114, 1961.

21.- Tom D. Reynolds, "Aerobic digestion of thickened waste",-
W. and S. W., p. R-118 a R-123, 1973.

22.- Tom D. Reynolds, "Aerobic digestion of waste activated --
sludge", Water and Sewage Works, February, p. 37-42, 1967. ®

23.- Lionel R. Lepage, Master of science, "Thesis the effect -
of temperature on the aerobic digestion of wastewater ---
sludge", New Hampshire University, Department of Civil --
Engineering, June, p. 19-24, 1974.

24.- Otha J. (Jack) Rogers, B.S.C.E., Master of Science, -----
"Aerobic sludge digestion", Thesis The University of Texas
at Austin, May , 1971.

25.- W. R. Sistro, "Vida microbiana", Editorial CECSA, Prime-
ra edición en inglés 1964, Primera edición en español de-
la primera edición en inglés 1973.

- 26.- Larry Benefield, Robert Seyfarth and Adnan Shindala, "Lab study helps solve aerobic digester problems", Water and Sewage Works, p. R-60 a R-70, 1978.
- 27.- Larry D. Benefield, Clifford and W. Randall, "Biological process design for wastewater treatment", Ed. Prentice Hall p. 479-511, 1980.
- 28.- James B. Hostetler, Joseph F. Malina Jr., "A comparison of aerobic and anaerobic sludge stabilization", The University of Texas, Department of Civil Engineering, Environmental Health Engineering Research Laboratory, Austin, Texas, May 15, 1964.
- 29.- Adams Jr., C. E., Ford, D. F., Eckenfelder Jr. W. W. ---- "Development of design and operational criteria for wastewater treatment", Ed. Enviro press inc., Nashville, Tn., E.U.A., p. 371-383, 1981.
- 30.- T. D. Reynolds, "Unit operations and processes in environmental engineering", Brooks/cole engine div., Monterey -- Cal., E.U.A., p. 439-454, 1982.
- 31.- P. Y. Yang, Y. K. Chen, "Operational characteristics and biological kinetic constants of extended aeration process", Journal, W.P.C.F., April, p. 687-688, 1977.
- 32.- Thomas W. Keyes and Takashi Asano, "Application of kinetic models to the control of activated sludge process", ---- Journal, W.P.C.F., Vol. 47, N° 11, November, p. 2574-2584, 1975.

- 33.- Gordon L. Culp and Sigurd P. Hansen, "Extended aeration -- effluent polishing by mixed-media filtration", Water and Sewage Works, February, p. 46-51, 1967.
- 34.- Ross E. McKinney, "Complete mixing activated sludge", --- Water and Sewage Works, February, p. 69-73, 1960.
- 35.- Richard I. Dick and P. Aarne Vesilind, "The sludge volume Index what is it?", Journal, W.P.C.F., Vol. 41, July, p. -- 1285-1291. 1969.
- 36.- R. B. Hartman, E. R. Bennett and K. D. Linstedt, "New --- procedure determines aerobic sludge stability", Water and Sewage Works, April, p. 42-44, 1978.
- 37.- J. Wendell Howard, R. A. Poduska, W. V. Walls, "Upgrading of industrial wastewater treatment facilities at Tennessee eastman company", Water and wastewater equipment manufacturing association, Industrial conference, Atlanta, Georgia, April 20, p. 296-307, 1977.
- 38.- Larry D. Benefield, Clifford W. Randall, "Evaluation of a comprehensive kinetic model for the activated sludge ---- process", Journal, W.P.C.F., July, p. 1636-1641, 1977.
- 39.- Michael S. Gouid and Raymond F. Drnevich, "Autothermal -- thermophilic aerobic digestion", Journal of the environmental engineering division, April, p. 259-270, 1978.
- 40.- Closure by Clifford W. Randall, M. ASCE, James B. Richards A.M. ASCE and Paul H. King, M. ASCE, "Temperature effects on aerobic digestion kinetics", June, p. 507-509, 1977.

- 41.- A. W. Busch, "Biological factors in aerator performance", Water and Sewage Works, November, p. 384-387, 1970.
- 42.- James C. Young and J. W. Clark, "Growth of mixed bacterial population at 20°C and 35°C", Water and Sewage Works, --- July, p. 251-255, 1965.
- 43.- Tsuan Hua Feng, "Phosphorus and the activated sludge ---- process", Water and Sewage Works, November, p.431-434, -- 1962.
- 44.- Alessandro R. Giona, M. Cristina Annesini, Luigi Toro and Walter Gerardi, "Kinetic parameters for municipal waste-- water", Journal, WPCF, Vol. 51, N° 5, May, p. 999-1008, - 1979.
- 45.- Joseph H. Sherrard and Edward D. Sghroeder, "Cell yield - and growth rate in activated sludge", Journal, WPCF, Vol. 45, N° 9, September, p. 1889-1896, 1973.
- 46.- Alessandro R. Giona and M. Cristina Annesini, "Oxygen --- uptake in the activated sludge process", Journal, WPCF, -- Vol. 51, N° 5, May, p. 1009-1016, 1979.
- 47.- Terence J. McGheer, R. Lee Torrens and Ronald J. Smaus, -- "Aerobic treatment of feedlot runoff," Journal, WPCF, Vol. 45, N° 9, September, p. 1865-1873, 1973.
- 48.- William E. Burnett, "Rum distillery wastes: laboratory -- studies on aerobic treatment", Water and Sewage Works, -- September, p. 107-111, 1973.

- 49.- K. L. Schulze, "The activated sludge process as a continuous flow culture", Water and Sewage Works, January, p. 11-17, 1965.
- 50.- Linvil G. Rich, "Rational desing of aerobic digestion --- systems", Water and Sewage Works, April, p. 94-95, 1977.
- 51.- B. C. Anderson and D. S. Mavinic, "Aerobic sludge digestion with pH control preliminary investigation", Journal, WPCF Vol. 56, N° 7, July, p. 889-897, 1984.
- 52.- Manual of practice No. 11, "Operation of wastewater treatment plants", Water Pollution Control Federation, Lancaster press, Printed in U.S.A. 1976, (p. 285).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

8.- A N E X O

	Pág.
Tabla 4.6 De las características de lodo primario espesado crudo previas a la digestión aeróbica-----	82
Tabla 4.7 De las características de lodo activado crudo-----	83
Tabla 4.8 Datos de las características de lodos espesados crudos que se utilizaron para la digestión aeróbica-----	84
Fig. 4.3 Concentraciones de los SSV en los lodos activados contra tiempo.-----	85
Fig. 4.4 Concentraciones de los SSV en los lodos activados contra tiempo.-----	86
Tabla 4.9 Datos experimentales de las concentraciones de SSV en los lodos activados.-----	87
<hr/>	
Fig. 4.5 Concentraciones de los SSV en la mezcla de lodo activado y primario contra tiempo.-----	88
Fig. 4.6 Concentraciones de los SSV en la mezcla de lodo activado y primario contra tiempo.-----	89
Tabla 4.10 Datos experimentales de las concentraciones de SSV en mezclas de lodos activados y primarios.	90
Tabla 5.1 % de reducción de la DQO y el producto de la temperatura en °C por el tiempo de retención-----	91
Tabla 5.2 De las variaciones del potencial de Hidrógeno para los diferentes tiempos de retención.-----	92

	Pág.
Tabla 5.3 De las variaciones del potencial de Hidrógeno- para los diferentes tiempos de retención.-----	93
Tabla 5.4 Datos experimentales de los nutrientes en los- lodos activados.-----	94
Tabla 5.5 Datos experimentales de los nutrientes, en las mezclas de lodos activados y primarios.-----	95
Tabla 5.6 Datos experimentales de la tasa de la demanda- de oxígeno.-----	96
Tabla 5.7 % de destrucción de los SSV.-----	97
Tabla 5.9 Datos para la determinación del coeficiente de la destrucción de los SSV.-----	98

Tabla 4.6 DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LODO PRIMARIO ESPESADO CRUDO PREVIAS

A LA DIGESTION AEROBICA

Fecha	3/1/80	21/1/80	25/1/80	8/2/80	21/2/80	6/3/80	18/6/80	Concentra- ciones pro- medio (mg/l)
Temperatura (°C)	20.5	23.5	21.0	23.0	20.3	21.0	21.5	
pH	6.4	7.1	7.2	7.0	6.9	7.1	7.0	7.0
SST (mg/l)	27,270	20,440	16,080	23,430	32,270	18,026	33,236	24,393
SSF (mg/l)	3,940	3,646	5,090	4,930	8,910	3,860	6,540	5,274
SSV (mg/l)	23,330	16,793	10,990	18,500	23,360	14,500	26,706	19,120
DQO (mg/l)	29,039	13,347	48,641	45,094	28,092	40,140	35,033	34,198
DEO (mg/l)	5,791	10,500	11,800	19,133	12,296	15,050	- - -	12,430
OPO3 (mg/l)	10.0	47.0	70.0	63.2	68.4	142.0	- - -	66.8
PO4-T mg/l	11.0	233.0	195.0	130.0	360.0	328.0	310.8	224.0
N-NH3 mg/l	1.3	0.7	0.8	- - -	0.6	- - -	- - -	0.85
N-Org mg/l	95.4	413.9	690.0	- - -	612.0	- - -	- - -	452.8
N-T (mg/l)	96.7	414.6	690.8	- - -	612.6	- - -	- - -	453.7

Tabla 4.7 DE LAS CARACTERISTICAS DE LODO ACTIVADO ESPESADO CRUDO
PREVIAS A LA DIGESTION AEROBICA.

Fecha	8/2/80	21/2/80	6/3/80	18/6/80	21/3/81	9/5/81	20/6/81	Concentra-- ciones pro- medio (mg/l)
Temperatura (°C)	23.0	20.4	21.5	24.0	25	25.4	26	
pH	7.2	7.3	7.25	7.2	7.0	7.5	6.8	7.2
SST (mg/l)	20,380	14,453	8,220	3,460	6,700	6,300	6,900	9,488
SSF (mg/l)	4,220	3,333	2,300	1,760	1,340	1,000	2,400	2,336
SSV (mg/l)	16,160	11,120	5,920	1,700	5,360	5,300	4,500	7,151
DQO (mg/l)	5,120	6,057	10,099	4,940	7,500	6,200	8,300	6,888
DBO5 (mg/l)	2,626	3,860	3,587	-----	-----	-----	-----	3,358
OPO3 (mg/l)	11.50	48.6	10.55	13.3	50.0	50.0	30.0	20.0
PO4-T mg/l	18.2	335.0	11.9	14.0	60.0	100.0	80.0	88.0
N-NH3 mg/l	-----	1.55	1.73	-----	70.0	90.0	190.0	71.0
N-org mg/l	-----	550.0	247.6	-----	130.0	60.0	80.0	214
N-T (mg/l)	-----	251.6	249.33	-----	200.0	150.0	270.0	284
mgOD/(l)min	-----	-----	-----	-----	1.30	1.0	1.20	1.17

Tabla 4.8 DATOS DE LAS CARACTERISTICAS DE LODOS ESPESADOS CRUDOS QUE SE UTILIZARON PARA LA DIGESTION AEROBICA

	LODO ACTIVADO CRUDO		MEZCLA DE LODO ACTIVADO Y PRI MARIO	
	10 Y 15	20	20 Y 15	10 Y 25
	21/3/81	9/5/81	9 / 5 / 81	20 / 6 / 81
eh (días)		25.4	26	26
Fecha		7.5	7.0	6.8
Temperatura °C	25			
pH	7.0	6,300	8,000	9,800
SST (mg/l)	6,700			
SSF (mg/l)	1,340	1,000	2,400	2,300
SSV (mg/l)	5,360	5,300	4,500	6,500
DQO (mg/l)	7,500	6,200	8,300	11,500
OPO3 (mg/l)	50.0	50.0	30.0	50.0
OPO4 (mg/l)	60.0	100.0	80.0	100.0
N-NH3 (mg/l)	70.0	90.0	190.0	120.0
N-Org (mg/l)	130.0	60.0	80.0	90.0
N-T (mg/l)	200.0	150.0	270.0	210.0
Mg OD/l.hr	78.0	60.0	72.0	99

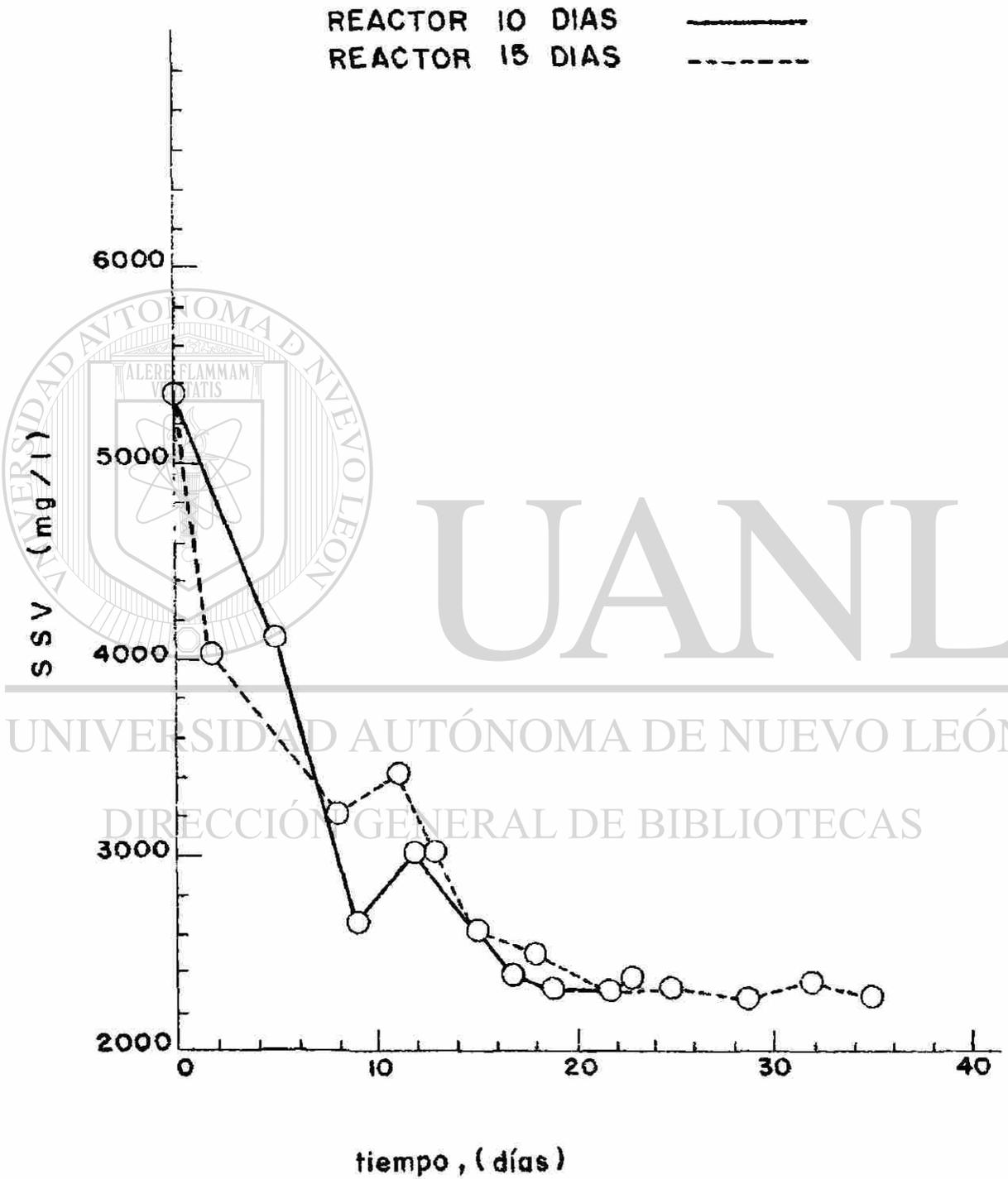


FIG. 4.3 CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LODOS ACTIVADOS CONTRA TIEMPO.



FIG. 4.4 CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LODOS ACTIVADOS CONTRA TIEMPO.

Tabla 4.9 DATOS EXPERIMENTALES DE LAS CONCENTRACIONES DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LODOS ACTIVADOS

REACTOR DE 10 DIAS Tiempo (dias)	SSV (mg/l)	REACTOR 15 DIAS Tiempo (dias)	SSV (mg/l)	REACTOR DE 20 DIAS Tiempo (dias)	SSV (mg/l)	REACTOR DE 25 DIAS Tiempo (dias)	SSV (mg/l)
0	5,360	0	5,360	0	5,300	0	4,500
5	4,100	3	4,000	2	4,000	3	4,200
9	2,600	8	3,200	8	2,800	5	3,400
12	3,000	11	3,400	11	2,500	9	2,600
17	2,380	13	3,000	13	2,700	12	3,000
19	2,330	15	2,600	15	2,600	16	2,400
23	2,340	18	2,500	18	2,400	19	2,000
		22	2,330	22	2,300	23	2,040
		25	2,320	25	2,280	26	1,900
		29	2,280	29	2,200	31	1,950
		32	2,300	32	2,260	34	1,600
		35	2,270	35	2,200	38	1,900

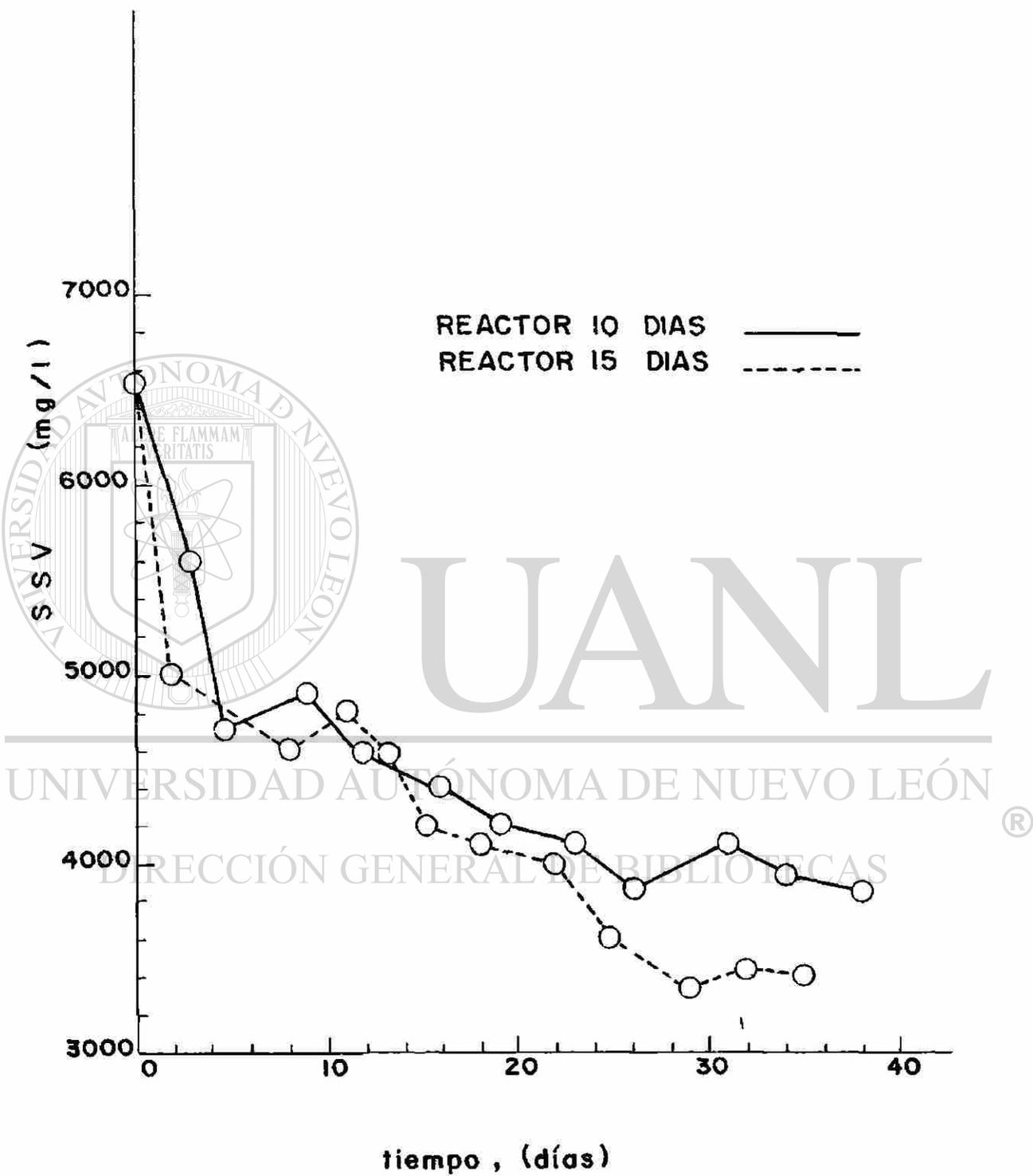


FIG. 4.5 CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LA MEZCLA DE LODOS ACTIVADO Y PRIMARIO CONTRA TIEMPO.

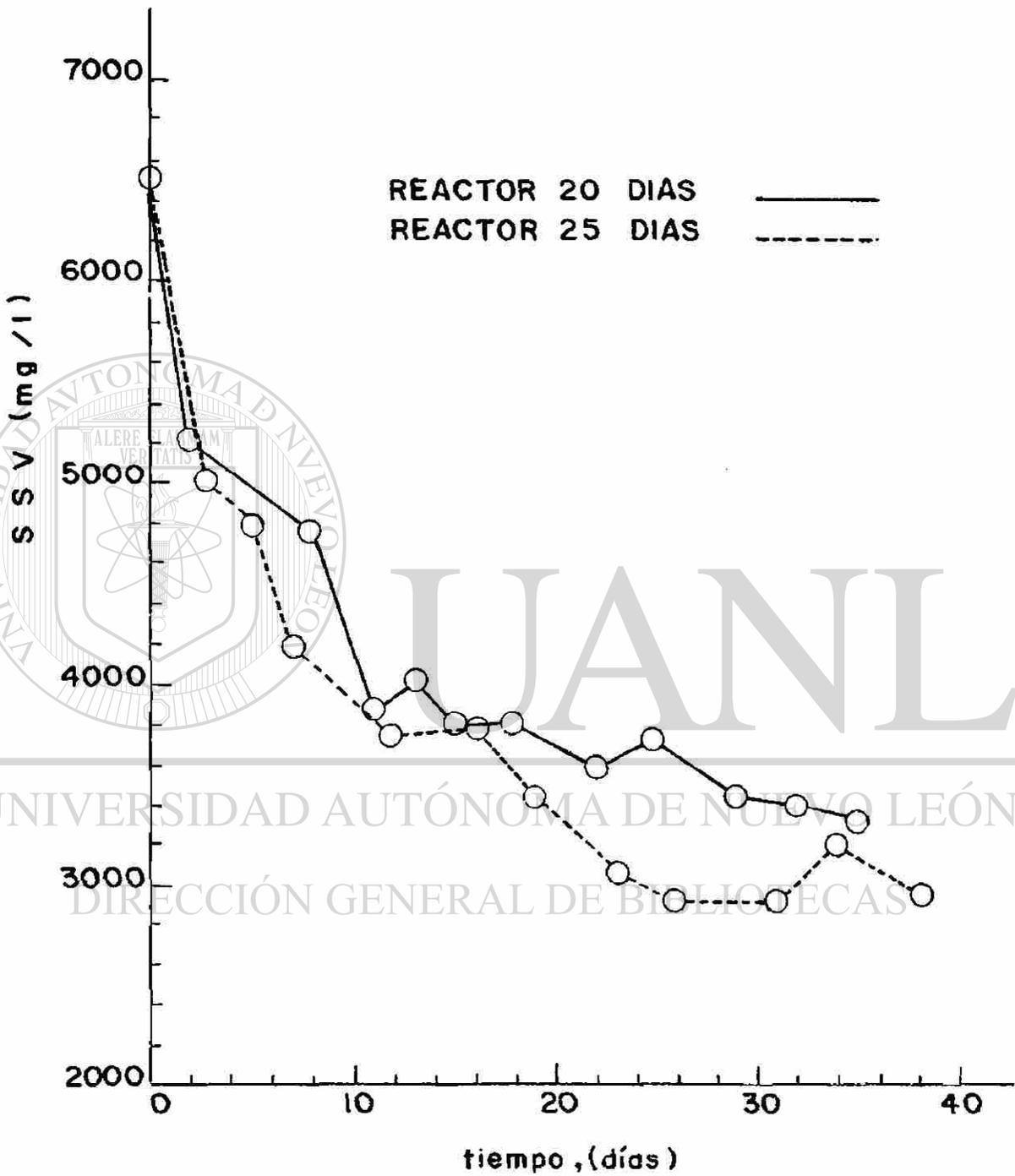


FIGURA 4.6 CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LA MEZCLA DE LODOS ACTIVADO Y PRIMARIO CONTRA TIEMPO.

Tabla 4.10 DATOS EXPERIMENTALES DE LAS CONCENTRACIONES DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN MEZCLA DE LODOS ACTIVADOS Y PRIMARIOS

REACTOR DE 10 DIAS Tiempo (días)	REACTOR DE 10 DIAS SSV (mg/l)	REACTOR DE 15 DIAS Tiempo (días)	REACTOR DE 15 DIAS SSV (mg/l)	REACTOR DE 20 DIAS Tiempo (días)	REACTOR DE 20 DIAS SSV (mg/l)	REACTOR DE 25 DIAS Tiempo (días)	REACTOR DE 25 DIAS SSV (mg/l)
0	6,500	0	6,500	0	6,500	0	6,500
3	5,600	2	5,000	2	5,200	3	5,000
5	4,700	8	4,600	8	4,750	5	4,800
9	4,900	11	4,800	11	3,875	9	4,200
12	4,600	13	4,600	13	4,000	12	3,750
16	4,400	15	4,200	15	3,800	16	3,800
19	4,200	18	4,100	18	3,800	19	3,500
23	4,100	22	4,000	22	3,600	23	3,020
26	3,800	25	3,600	25	3,700	26	2,950
31	4,150	29	3,350	29	3,450	31	2,850
34	3,900	32	3,450	32	3,400	34	3,100
38	3,850	35	3,400	35	3,300	38	2,940

Tabla 5.1 PORCIENTOS DE REDUCCION DE LA D. Q. O. Y EL PRODUCTO DE LA TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS POR EL TIEMPO DE RETENCION CELULAR.

LODO ACTIVADO								
θc	C X θc	D. Q. Oo. (mg/l)	D. Q. Oe. (mg/l)	% Reducción	D. Q. O.			
10	25.87 X 10 = 258.7	7,500	5,000	33.3				
15	25.87 X 15 = 388.05	7,500	4,000	46.7				
20	25.87 X 20 = 517.40	6,200	3,000	51.6				
25	25.87 X 25 = 647.75	8,300	3,800	54.2				
MEZCLA DE LODO ACTIVADO Y PRIMARIO								
10	25.87 X 10 = 258.70	11,500	8,000	30.4				
15	25.87 X 15 = 388.05	10,300	7,150	30.6				
20	25.87 X 25 = 517.40	10,300	6,600	35.9				
25	25.87 X 25 = 647.75	11,500	6,800	40.9				

DQO ALIMENTADO - DQO ESTABLE

% DE REDUCCION = $\frac{\text{DQO ALIMENTADO} - \text{DQO ESTABLE}}{\text{DQO ALIMENTADO}} \times 100$

Tabla 5.2 DE LAS VARIACIONES DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO PARA LOS DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN

Lodos Activados			
REACTOR 10 DIAS	REACTOR DE 15 DIAS	REACTOR DE 20 DIAS	REACTOR DE 25 DIAS
Tiempo (días)	Tiempo (días)	Tiempo (días)	Tiempo (días)
pH	pH	pH	pH
0	0	0	0
6.8	7.7	7.9	6.8
5	2	2	3
6.42	6.5	6.5	6.8
9	8	8	5
7.8	7.6	7.6	6.0
10	11	11	9
7.8	5.7	6.0	6.0
12	13	13	12
6.7	6.55	6.0	5.7
17	15	15	16
6.52	5.7	5.7	5.5
19	18	18	19
6.15	5.7	6.8	5.2
23	22	22	23
6.25	5.7	5.7	5.7
	25	25	26
	29	29	5.5
	32	32	5.2
	35	35	5.2
			34
			5.2
			38
			5.2

Tabla 5.3 DE LAS VARIACIONES DEL POTENCIAL DE HIDROGENO PARA LOS DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCION

MEZCLA DE LODOS ACTIVADO Y PRIMARIO		REACTOR DE 10 DIAS		REACTOR DE 15 DIAS		REACTOR DE 20 DIAS		REACTOR DE 25 DIAS	
Tiempo (días)	pH	Tiempo (días)	pH	Tiempo (días)	pH	Tiempo (días)	pH	Tiempo (días)	pH
0	6.8	0	7.0	0	7.0	0	7.0	0	6.8
3	6.8	2	6.8	2	6.8	2	7.0	3	6.8
5	7.0	8	7.8	8	7.8	8	7.8	5	6.8
9	6.0	11	7.0	11	7.0	11	7.0	9	6.0
12	6.6	13	6.8	13	6.8	13	6.2	12	6.2
16	6.6	15	6.5	15	6.5	15	6.4	16	6.0
19	6.6	18	6.8	18	6.8	18	6.8	19	6.6
23	6.5	22	6.8	22	6.8	22	6.8	23	6.5
26	6.5	25	6.8	25	6.8	25	6.8	26	6.5
31	6.5	29	6.8	29	6.8	29	6.8	31	6.7
34	6.5	32	6.8	32	6.8	32	6.8	34	6.0
38	6.5	35	6.0	35	6.0	35	6.0	38	6.0

Tabla 5.4 DATOS EXPERIMENTALES DE LOS NUTRIENTES, EN LODOS ACTIVADOS

	REACTOR DE 10 DIAS		REACTOR DE 15 DIAS		REACTOR DE 20 DIAS		REACTOR DE 25 DIAS												
Tiempo de aeración (días)	0	10	23	0	13	35	0	13	35	0	13	35	0	13	35	0	13	35	
pH	7.0	6.9	6.3	7.0	6.5	5.0	7.5	6.0	5.0	6.8	5.2	5.7	5.2	6.8	5.2	5.7	5.2	6.8	5.2
OPO3 (mg/l)	50	32	26	50	40	20	50	40	20	50	40	20	50	40	20	50	40	20	50
OPO4-T (mg/l)	60	50	30	60	50	50	100	60	50	80	200	70	80	200	70	80	200	70	80
N-NH3 (mg/l)	70	50	50	70	15	10	90	20	25	190	60	20	190	60	20	25	190	60	20
N-Org (mg/l)	130	120	120	130	60	15	60	60	100	80	60	60	80	60	60	100	80	60	60
N-T (mg/l)	200	165	170	200	75	25	150	80	125	270	120	80	270	120	125	270	120	125	270

Tabla 5.5 DATOS EXPERIMENTALES DE LOS NUTRIENTES, EN LA MEZCLA DE LODOS ACTIVADOS Y LODOS PRIMARIOS

	REACTOR DE 10 DIAS			REACTOR DE 15 DIAS			REACTOR DE 20 DIAS			REACTOR DE 25 DIAS				
Tiempo de aeración días	0	16	23	38	0	13	35	0	13	35	0	16	23	38
PH	6.8	6.6	6.5	6.5	7.0	6.8	6.0	7.0	6.2	6.0	6.8	6.0	6.0	6.0
OPO3 (mg/l)	50	32	46	---	40	33	50	40	35	36	50	52	51	---
PO4-T (mg/l)	100	100	110	---	110	80	60	110	53	63	100	83	110	---
N-NH3 (mg/l)	120	7	--	15	50	70	9.0	50	7.0	10	120	2	---	11
N-org (mg/l)	90	71	--	260	70	90	12.0	70	173	74	90	100	---	218
N-T (mg/l)	210	78	--	275	120	97	21.0	120	180	84	210	102	---	229

Tabla 5.6 Datos experimentales de la Tasa de la Demanda de Oxígeno, (TDO).

LODO ACTIVADO*

Tiempo de retención (θ_c) en días.	X_e (g/l)	k (mg/l/min.)	TDO (mg/gr SSV/hr)
0	5.36	1.30	14.55
10	2.35	0.15	3.83
15	2.30	0.09	2.34
20	2.25	0.06	1.60
25	1.90	0.05	1.58

MEZCLA DE LODO ACTIVADO Y PRIMARIO*

θ_c	X_e	k	TDO
0	6.50	1.65	15.23
10	4.00	0.40	6.00
15	3.45	0.25	4.35
20	3.40	0.20	3.53
25	3.00	0.12	2.40

* Se considera estabilizado cuando la TDO es menor de 2 -- mg/gr de SSV/hr.

X_e = Concentración de los SSV totales en el efluente, (gr/l).

k = Tasa de la utilización de Oxígeno, (mg/l/min.).

TDO = (k) (60 min./hr.) / X_e .

Tabla 5.7 PORCIENTO DE DESTRUCCION DE SOLIDOS
SUSPENDIDOS VOLATILES

LODO ACTIVADO

Tiempo de Retención (días)	Xo (mg/l)	Xe (mg/l)	% SSV Destruídos
10	5,360	2,350	56.16
15	5,360	2,300	57.09
20	5,300	2,250	57.55
25	4,500	1,900	57.78

MEZCLA DE LODO ACTIVADO Y PRIMARIO

10	6,500	4,000	38.46
15	6,500	3,450	46.92
20	6,500	3,400	47.70
25	6,500	3,000	53.85

$$\% \text{ DE LA DESTRUCCION DE LOS SSV} = \frac{X_o - X_e}{X_o} \times 100$$

Xo = Concentración de los SSV totales en el influente -
mg/l.

Xe = Concentración de los SSV totales en el efluente -
mg/l.

Tabla 5.9 DATOS PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE LA DESTRUCCION DE LOS SSV.

LODOS ACTIVADOS

Tiempo de Retención (Días)	Xo (mg/l)	Xe (mg/l)	Xn .233Xo	$\frac{Xo - Xe}{Xe - Xn}$
10	5,360	2,350	1,246	2.726
15	5,360	2,300	1,246	2.903
20	5,300	2,250	1,236	2.996
25	4,500	1,900	1,046	3.044

MEZCLA DE LODO ACTIVADO Y PRIMARIO

Tiempo de Retención (días)	Xo (mg/l)	Xe (mg/l)	Xn .386 Xo	$\frac{Xo - Xe}{Xe - Xn}$
10	6,500	4,000	2,510	1.678
15	6,500	3,450	2,510	3.245
20	6,500	3,400	2,510	3.483
25	6,500	3,000	2,510	7.140

