

500,958

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.

SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL.

" REMOCION DE GRASAS Y ACEITES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS"

TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIE  
RIA AMBIENTAL POR:

J. FRANCISCO DE LA TORRE D.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



DEPI

T. UNAM

1 9 8 1

TOR

## CONTENIDO

### 1. - ANTECEDENTES

#### 1. 1. - OBJETIVOS

### 2. - INTRODUCCION

#### 2. 1. - PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

#### 2. 2. - GRASAS Y ACEITES.

#### 2. 3. - CONSIDERACIONES PREVIAS.

### 3. - CONSTANTES DE TRATABILIDAD

#### 3. 1. - DEFINICIONES

#### 3. 2. - FORMULACION DE UN REACTOR DE FLUJO CONTINUO

#### 3. 3. - CONSTANTES ( a, b, a', b')

### 4. - DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

#### 4. 1. - EQUIPO NECESARIO.

#### 4. 2. - OPERACION DE LA INVESTIGACION .

### 5. - RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES.

#### 5. 1. - RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES DEL SUSTRATO DE LECHE ENTERA.

5. 2. - RESULTADOS DE LABORATORIO Y ANALISIS SOBRE REMOCION  
DE GRASAS Y ACEITES.

6. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6. 1. - CONCLUSIONES.

6. 2. - RECOMENDACIONES.

## REMOCION DE GRASAS Y ACEITES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

### I.- ANTECEDENTES.

El tema de la tesis surgió cuando se planteó la necesidad actual de -- asignar cuotas a los usuarios de los complejos industriales, ( Distritos de Riego), que someten sus desperdicios acuosos a los procesos de tratamiento de las llamadas "Plantas Convencionales".

Hay muchas circunstancias que hacen difícil la asignación de cuotas:

- a).- Las Plantas convencionales surgieron cuando el contaminante pre dominante era la materia orgánica de las aguas negras municipales.

En la actualidad se catalogan más de 200 contaminantes.

- b).- Los parámetros para cuantificar los contaminantes y para con trolar los procesos, son en número reducido y de acuerdo con los procesos de tratamiento existentes.

De esos 200 contaminantes, permanecen en orden de importancia, la materia orgánica de las aguas negras, los metales pesados, los tóxicos, las grasas y aceites, etc.

De los últimos ( muy comunes), hay poca información en la liter-

ratura, y al hacer una búsqueda de las características de remoción biológica de las grasas y aceites en el proceso de lodos activados, al menos en las fuentes comunes de información, no se encuentran datos ni descripciones precisas.

Es por ello que surge el tema para tesis, basada en una investigación aplicada, para tratar de conocer las características de tratabilidad de las grasas y aceites orgánicos y con ello poder implementar los modelos encaminados a satisfacer la necesidad expuesta al principio "La asignación de cuotas al usuario".

#### 1.1 OBJETIVOS.

- Se pretende obtener el orden de remoción de grasas y aceites en un reactor del proceso de operación continua, modelo de un proceso de lodos activados.
- Obtener constantes de remoción de grasas y aceites en el proceso de lodos activados.
- Obtención de parámetros del sustrato utilizado en las celdas de Ekenfelder, para poder correlacionar con los valores que se obtengan en lo que se refiere a grasas y aceites.
- Eficiencias de remoción en procesos de lodos activados --

convencionales y en procesos de aireación extendida.

## II:- INTRODUCCION.

En este capítulo se tratará de introducir brevemente al trabajo realizado, dando una idea general del proceso de Lodos Activados y la importancia de las grasas y aceites dentro de este proceso.

### 2.1 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS.

Este proceso fué desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett (3) y llamado así porque suponía la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

En la actualidad se utilizan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales. El sistema en la figura 3.1 es un sistema convencional de lodos activados.

En el proceso de Lodos Activados, un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aerobias. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le denomina Licor mezclado. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor; a estos

sólidos se les llama sólidos volátiles de licor mezclado (SSVLM), este retorno de sólidos se debe a que los sólidos frescos generados espontáneamente durante el paso de las aguas residuales a través de la unidad de aireación, no son suficientemente grandes en volumen o en área para que exista una transferencia considerable de las impurezas del líquido a la fase sólida. Es por esto que se recomienda una concentración de SSVLM de 2000 a 3000 mg/lit en el reactor (1), que depende de la eficiencia que se quiera dar al tratamiento.

En el proceso de Lodos Activados, es necesario comprender la importancia de los microorganismos dentro del sistema. Las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica del influente. En el reactor, parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias facultativas o aerobias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

En tanto que las bacterias son los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico del influente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes en el sistema de Lodos Activados; como los protozoos y rotíferos actúan como depuradores de efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen cualesquiera partículas biológicas pequeñas que

no hayan sedimentado

Del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan rápidamente como sea posible, también lo es el que formen un flóculo adecuado, puesto que ello es un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la sedimentación.

#### 2.1.1 PARAMETROS DE DISEÑO.

Para poder aplicar los modelos matemáticos para el diseño, es importante determinar parámetros matemáticos obtenidos por medio de ecuaciones matemáticas utilizando datos experimentales de una serie de pruebas a escala de reactores en el laboratorio.

Un pertinente estudio es determinar:

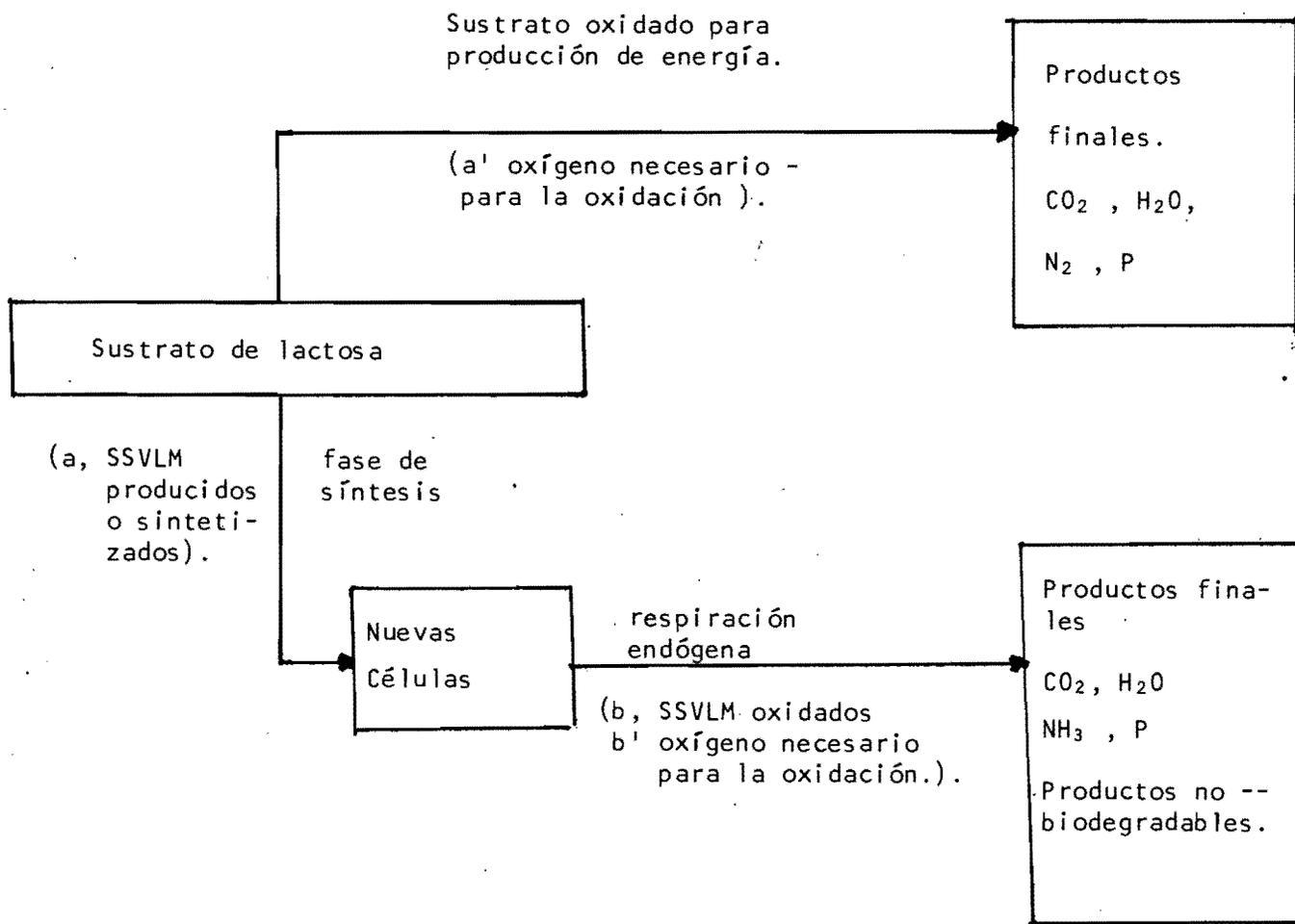
- 1.- Cinética de remoción en el reactor.
- 2.- Balances de material para la determinación de la utilización de oxígeno y la producción neta de sólidos.
- 3.- Determinación para conseguir óptimas condiciones de sedimentación de los lodos.

El autor Ramalho (1), determina los siguientes parámetros ( $k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $a'$ ,  $b'$ ), basado en la propuesta -

por Eckenfelder; el significado de estos parámetros se puede definir.

1.- (k).- Es la constante de rapidez de remoción - del sustrato expresado en  $\frac{d\text{f/a}^{-1}}{\text{mg/l}}$ , en el reactor biológico de flujo continuo.

2.- Las otras constantes se pueden ejemplificar con la biodegradación de un sustrato de lactosa.



## 2.2 GRASAS Y ACEITES.

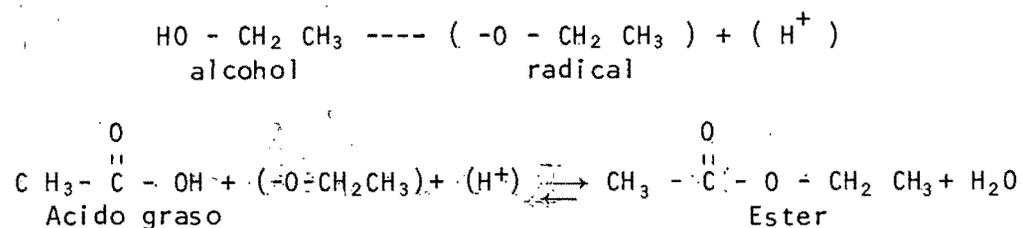
Las grasas y aceites, se pueden clasificar para este trabajo por su polaridad y degradabilidad.

Las grasas y aceites polares son normalmente las de origen animal y vegetal, y son biodegradables. Las grasas y aceites de origen mineral son no polares y más difíciles de biodegradar.

Las grasas animales y los aceites son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos (3). El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual. El contenido de grasas se determina mediante extracción de la muestra con hexano (La grasa es soluble en hexano). Otro grupo de sustancias solubles en hexano son los aceites minerales, tales como aceites lubricantes, aceites procedentes de materiales bituminosos usados en la construcción de carreteras.

Las grasas animales y aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Para formarse el éster, el OH del grupo carboxil (ácido graso) es reemplazado por el radical del alcohol (6).

Ejemplo:



La mayoría de las grasas naturales son ésteres producto de ácidos grasos esteárico ( $C_{17}H_{35}COOH$ ), palmítico ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) y oléico ( $C_{17}H_{33}COOH$ ), con alcoholes.

Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Son químicamente semejantes, y como se ve en el ejemplo están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno.

Las grasas llegan al agua residual como mantequilla, manteca de cerdo, margarina y grasas y aceites vegetales. Las grasas se hallan corrientemente en las carnes, germen de los cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias.

El contenido de grasa del agua residual puede motivar muchos problemas tanto en las alcantarillas como en las Plantas de Tratamiento.

Si la grasa no se elimina antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en las aguas y crear películas y materias en flotación imperceptibles.

Los contenidos promedios de grasa en un agua residual de origen doméstico es: (3)

	<u>FUERTE</u>	<u>MEDIA</u>	<u>DEBIL.</u>
Concentración en -- mg/lit.	150	100	50

#### 2.2.1 PROCESOS COMUNES DE REMOCION DE GRASAS Y ACEITES.

Se utiliza en Plantas de Tratamiento de aguas residuales, pretratamiento para eliminar la grasa y espuma del agua residual, antes de la sedimentación primaria, para mejorar su tratabilidad. El pretratamiento comprende los -- separadores de grasa, la preaireación, y la flotación; - todos estos procesos físicos; en ocasiones se utiliza p precloración.

Cuando no se utiliza un pretratamiento con este objetivo, se acostumbra remover las grasas y espuma en los sedimentadores primarios por medio de rastras superficiales.

#### 2.3 CONSIDERACIONES PREVIAS.

A través de esta breve introducción, se ha demostrado lo extenso del tema a tratar, razón por la cual se hicieron consideraciones previas para centrar el trabajo de investigación, ya que la falta de información sobre el tema no permitía saber de antete

mano el tipo de resultados a obtenerse.

La primera consideración fué optar directamente para la determinación de los parámetros de diseño, basándose en los modelos matemáticos y nomenclatura utilizada por el autor Ramalho (1), por tenerse experiencias previas en trabajos anteriores (5).

La segunda consideración de importancia, era determinar el tipo de sustrato de alimento, y el tipo de grasas a investigar. Se optó por usar un sustrato de leche completa, por facilidad en dosificar el alimento necesario y porque además contienen grasas de origen animal, que para conocer el comportamiento de las grasas como investigación inicial, se presentó muy adecuado. La leche completa que se utilizó fué "Nesbrum", porque se conocía el contenido de grasas en porciento en peso.

### III.- CONSTANTES DE TRATABILIDAD.

#### 3.1 DEFINICIONES.

El autor Ramalho (1), presenta un diagrama de flujo del proceso de lodos activados convencional como el mostrado en la figura 3.1 .

La definición de los símbolos usados en esta figura es la siguiente; que es la usada a lo largo del presente trabajo, y es -

la utilizada por el autor mencionado.

Clave:

Para sólidos suspendidos se utilizan índices dobles, por ejemplo  $X_v, i$ ;  $X_{NV}, i$ ;  $V$ , significa volátil;  $NV$ , no volátil.

El siguiente índice ( $i$ ) indica una corriente en particular.

$F$  = Alimentación cruda (corriente 1)

$Q$  = Alimentación combinada (corriente 2)

$a$  = Efluente del reactor (corriente 3)

$e$  = Efluente neto (corriente 4)

$u$  = Corriente de lodos del sedimentador secundario (corriente 5)

Símbolos:

1.- Gastos.

$Q_F$  = Alimentación cruda (corriente 1)

$Q_R$  = Recirculación (corriente 2)

$\gamma = Q_R/Q_F$

$Q$  = Alimentación combinada,  $Q = Q_F + Q_R = Q_F(1 + \gamma)$  (corriente 2).  $Q$  (corriente 2) =  $Q$  (corriente 3).

$Q'$  = Efluente neto;  $Q' = Q - Q_U$  (corriente 4)

$Q$  = Lodos excedentes;  $Q_F = Q' + Q''$  (corriente 6)

$Q_U$  = Corriente de lodos del sedimentador secundario;

$Q_U = Q'' + Q_R = Q'' + \gamma Q_F$  (corriente 5).

2.- (S), Concentraciones (mg/litro) de DBO soluble.

$S_F$ , = DBO soluble de la alimentación cruda.

$S_O$ , = DBO soluble de la alimentación combinada.

$S_e$ , = DBO soluble del efluente.

3.- ( $X_V$ ), Concentraciones (mg/lt.) de sólidos suspendidos volátiles (SSV).

$X_{V,F}$ , = SSV en la alimentación cruda.

$X_{V,o}$ , = SSV en la alimentación combinada.

$X_{V,a}$ , = SSV en el reactor. Esta concentración es igual a la del efluente del reactor.

$X_{V,u}$ , = SSV en la corriente de lodos del sedimentador secundario.

$X_{V,e}$ , = SSV en el efluente neto ( $X_{Ve} = 0$ ).

4.- ( $X_{NV}$ ), Concentraciones (mg/lt.) de sólidos suspendidos no volátiles (SSNV).

$X_{NV,F}$ , = SSNV en la alimentación cruda.

$X_{NV,o}$ , = SSNV en la alimentación combinada.

$X_{NV,a}$ , = SSNV en el reactor ( $X_{NV,a} = X_{NV,o}$ ) también es igual a la concentración de SSNV en el efluente del reactor.

$X_{NV,u}$ , = SSNV en la corriente de lodos del sedimentador secundario.

$X_{NV,e}$ , = SSNV en el efluente neto.

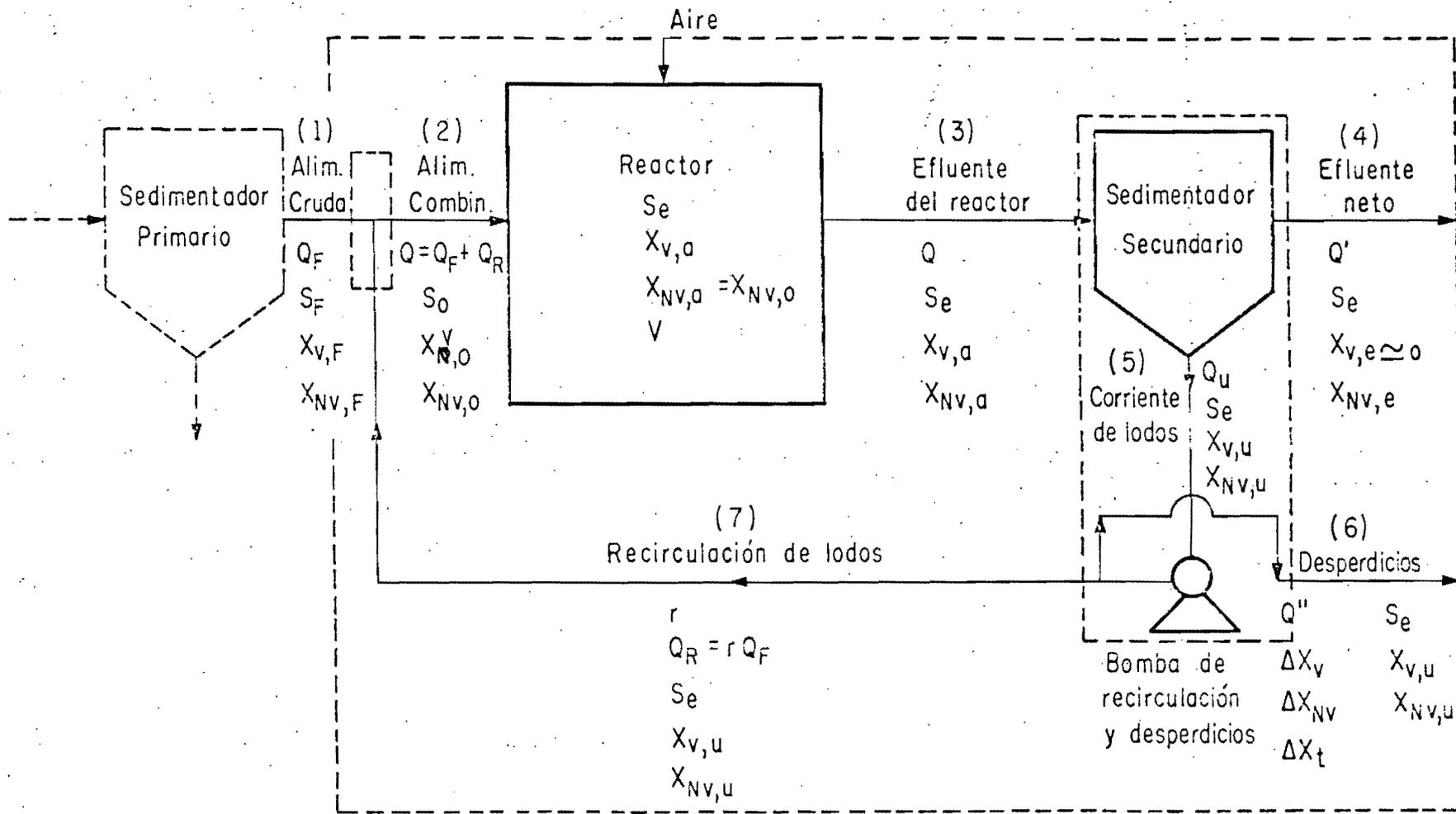


Fig 3.1 Proceso de lodos activados convencional

5.- ( $\Delta X_v$ ), Lodos excedentes (que se tiran o desperdician).

$\Delta X_v$ , = Producción o rendimiento neto de SSVLM - - -  
(SSVLM significa sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado).

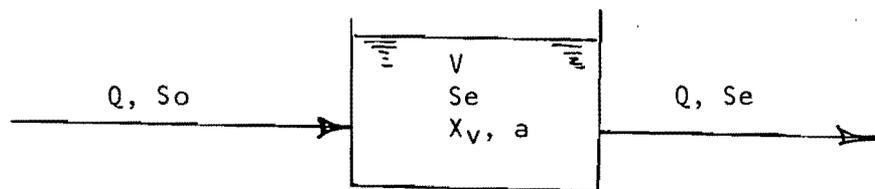
$\Delta X_{NV}$ , = Desperdicio de SSNV

$\Delta X_t$ , = Rendimiento total de lodos:  $\Delta X_t = \Delta X_v + \Delta X_{NV} +$   
 $+ Q_F X_{v,F}$

6.- (v) Volumen del reactor.

### 3.2 FORMULACION DE UN REACTOR DE FLUJO CONTINUO (1).

En un reactor de flujo continuo operado en concentraciones de sustrato ( $S_e$ ) considerablemente bajas, menores de 500 mg/lit. de  $DBO_5$ , se asume que existe una remoción del sustrato que sigue la formulación de la cinética de remoción de primer orden. Considerando que el reactor de operación continua opera en condiciones estables y de mezclado completo, como se ejemplifica:



Asumiendo una remoción del sustrato de cinética de primer orden:

$$\frac{ds}{dt} = -KS$$

Es costumbre expresar la constante de remoción del sustrato por mg/lt. de SSVLM presentes en el reactor ( $X_{V,a}$ ).

De donde:

$$\frac{\frac{ds}{dt}}{X_{V,a}} = - \frac{KS}{X_{V,a}} \quad \therefore \quad k = \frac{K}{X_{V,a}}$$

De donde:

$$\frac{ds}{dt} = -k X_{V,a} S$$

Al tiempo  $t$ , tiempo de residencia, en un reactor de flujo contínuo,  $S$  corresponde a  $S_e$ , de donde:

$$\frac{ds}{dt} = -k X_{V,a} S_e$$

$k$  es la constante de la rapidez de remoción del sustrato.

El balance de materiales para el sustrato en el reactor considerado, en condiciones de equilibrio:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Cambio de -} & & \\
 \text{sustrato en} & = & \text{Lo que} - \text{Lo que} - \text{Lo que se} \\
 \text{el reactor.} & & \text{entra.} \quad \text{sale} \quad \text{degrada.} \\
 \\ 
 0 & = & Q S_o - Q S_e - k X_{v,a} S_e V
 \end{array}$$

Al valor de degradación,  $-k X_{v,a} S_e$ , se halla expresado por unidades de volumen, por lo que se multiplica por  $V$ , el volumen -- del reactor.

A la ecuación anterior se la puede reordenar en:

$$\frac{Q}{V} \frac{(S_o - S_e)}{X_{v,a}} = k S_e$$

Si:

$$t = \frac{V}{Q} = \text{Tiempo de recidencia en el reactor. (t en días).}$$

De donde:

$$\frac{(S_o - S_e)}{X_{v,a} \cdot t} = k S_e \text{ ----- (3.0)}$$

Expresado en mg/lt. será:

$$\frac{(S_o - S_e)}{X_{v,a} \cdot t} = \frac{\text{mg/lt. de DBO removido.}}{\text{mg/lt de SSVLM (día).}} =$$

$$= \text{mg DBO removido/mg de SSVLM x día.}$$

Con la ecuación (3.0) indica que la constante de remoción es -- proporcional a la concentración del sustrato  $S_e$  ( cinética de - primer orden ).

La constante de remoción  $k$  ( $\text{día}^{-1}/\text{mg/l}$  ), es determinada por la pendiente de una gráfica realizada al graficar la ecuación (3.0)  $(S_o - S_e) / X_{v,a} \cdot t$  vs.  $S_e$ .

Se hace notar que  $k$  está expresada en  $\text{día}^{-1}/\text{mg/l}$  a diferencia de lo normal, porque fué considerado en un principio la división de la expresión por los  $\text{mg/lt.}$  de sólidos en el reactor. -  $(X_{v,a})$ .

Cuando la materia no biodegradable está presente se modifica la ecuación incluyendo el valor  $S_n$ .

$$(S_o - S_e) / X_{v,a} \cdot t = k (S_e - S_n) \text{-----} (3.1)$$

( $S_n$  es la concentración de materia orgánica no biodegradable por el reactor.)

### 3.3 CONSTANTES ( $a$ , $b$ , $a'$ , $b'$ ).

$a$ : Es la relación de los kg de SSVLM producidos entre el total de kg de sustrato removidos.

Se puede determinar con la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta X_r/V}{X_{v,a}} = a \left[ (S_o - S_e)/X_{v,a} \cdot t \right] - b \text{ ----- (3.2)}$$

b: Es la fracción de SSVLM oxidados por unidad de tiempo -- durante el proceso de respiración endógena.

$$b = \frac{\text{Kg de SSVLM oxidados.}}{(\text{día}) (\text{Kg de SSVLM en el reactor})} \text{ ----- (3.3)}$$

a': Es la relación de los Kg de oxígeno utilizado para oxidación del sustrato (para energía) entre los kg de  $\text{DBO}_5$  total removidos.

Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R_r/X_{v,a} = a' \left[ (S_o - S_e)/X_{v,a} \cdot t \right] + b' \text{ ----- (3.4)}$$

$R_r$  es el oxígeno utilizado por día por unidad de volumen del reactor:

$$R_r = \text{mg } O_2 / (\text{día}) (\text{litro}) \text{ ----- (3.5)}$$

b': Es la fracción de los kg de oxígeno utilizados por día -- por cada kg de SSVLM para el proceso de respiración endógena.

$$b' = \frac{\text{Kg de } O_2}{(\text{día}) (\text{kg de SSVLM en el reactor})} \text{ ----- (3.6)}$$

#### IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACION.

El trabajo fué dividido en dos etapas, debido a que se presentaba la necesidad de conocer los parámetros de diseño, comunes para las Plantas convencionales de lodos activados, del sustrato utilizado de leche completa.

Para poder correlacionar con los resultados que se obtuvieran de la remoción de grasas y aceites en el proceso.

Además de poder tener las condiciones en que se llevaron a cabo las pruebas, y poder extrapolar en caso necesario para pruebas posteriores.

Para el desarrollo del experimento se optó por un proceso de operación continua donde la DBO del agua de desecho ( $S_e$ ) permanece constante, así como la concentración de SSVLM ( $X_{v,a}$ ) seleccionada.

##### 4.1 EQUIPO NECESARIO.

Para operar el reactor de flujo de operación continua, el equipo necesario es el siguiente:

- Sistema de alimentación continua del influente regulado con bombas dosificadoras, para mantener gasto constante.

Las bombas utilizadas fueron dos de las siguientes características:

WALLACE AND TIERNAN DE MEXICO, S.A.

Serie 94-100, 0-1753.

Presión máxima : 7.0 Kg/cm<sup>2</sup>

Gasto máximo: 3.2 LPH

115 V 50/60 ciclos.

- Sistema de inyección de aire, para la cámara de aireación, para mantener el proceso aerobio y de mezclado completo, el cual fué conectado al sistema de aire del laboratorio, accionado por un compresor.
  
- Cámara del reactor; se seleccionaron celdas del tipo Eckenfelder.
  
- Sistema de recolección y disposición del efluente.
  
- Equipo de laboratorio para las determinaciones de OD, DBO, SSV, grasas y aceites, etc.

#### 4.1.1 CELDA DE ECKENFELDER.

En la figura 4.1 se tiene un esquema de la celda de Eckenfelder, en este se puede observar claramente de las partes que constituye; en sí consta de una cámara de aireación y mezclado completo, y una segunda cámara de sedimentación, donse se forma un manto de lodos que au-

menta la eficiencia en sedimentación.

La mampara de separación entre las dos cámaras es levantada de 1 a 2 cm., esta unión entre las dos cámaras permite la recirculación de los lodos.

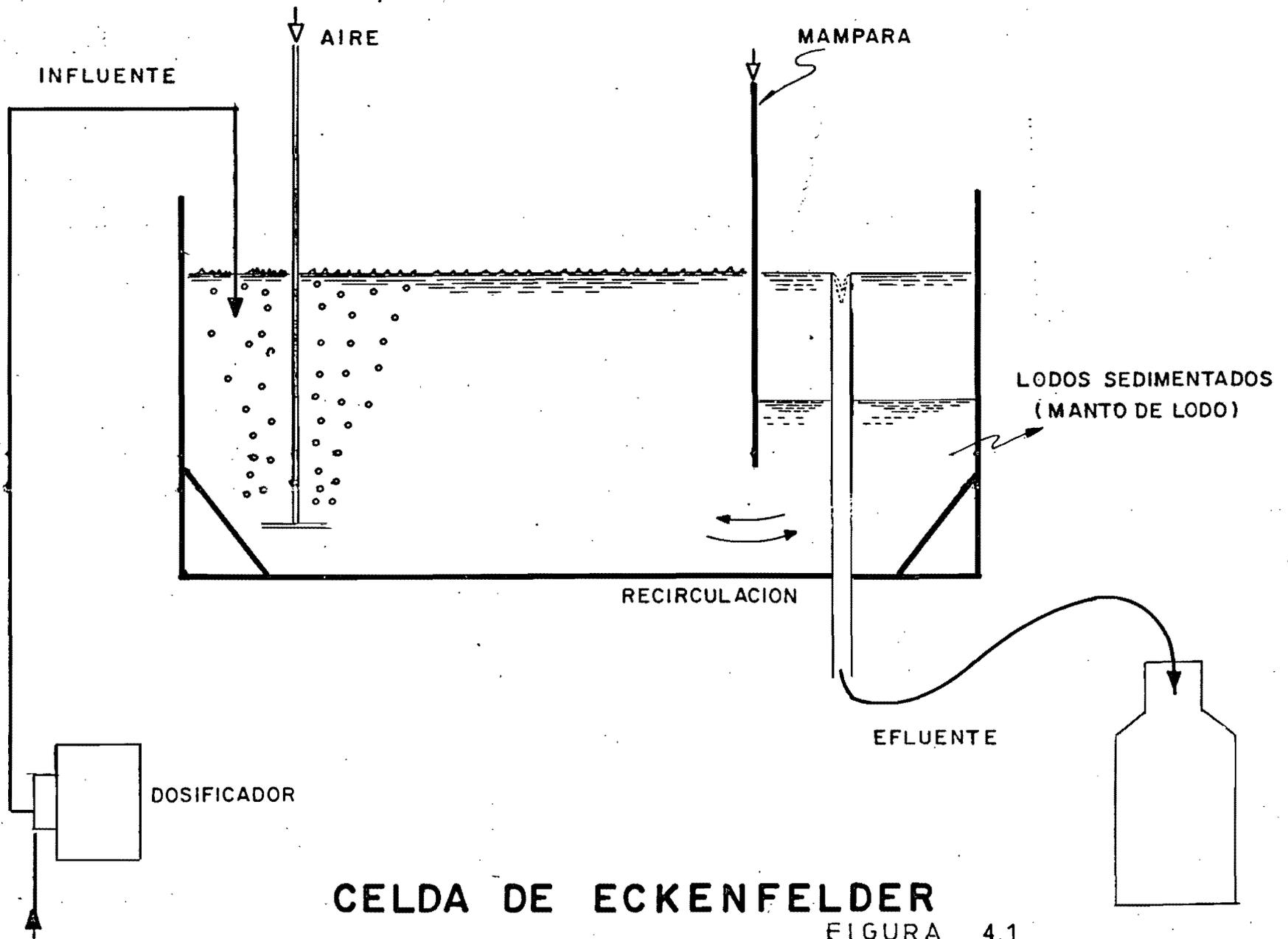
En el cuadro 4.1 se muestra las dimensiones de las tres celdas de Eckenfelder utilizadas.

#### 4.1.2 DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES, MEDICION DE OXIGENO DISUELTO.

La determinación de grasas y aceites se realizaron según la Norma Mexicana, Apéndice 1, la cual se basa en el método de acidificar una muestra líquida para formar una masa que se separa por filtración. De esta masa se hace la extracción usando un solvente con ayuda del aparato Soxhlet.

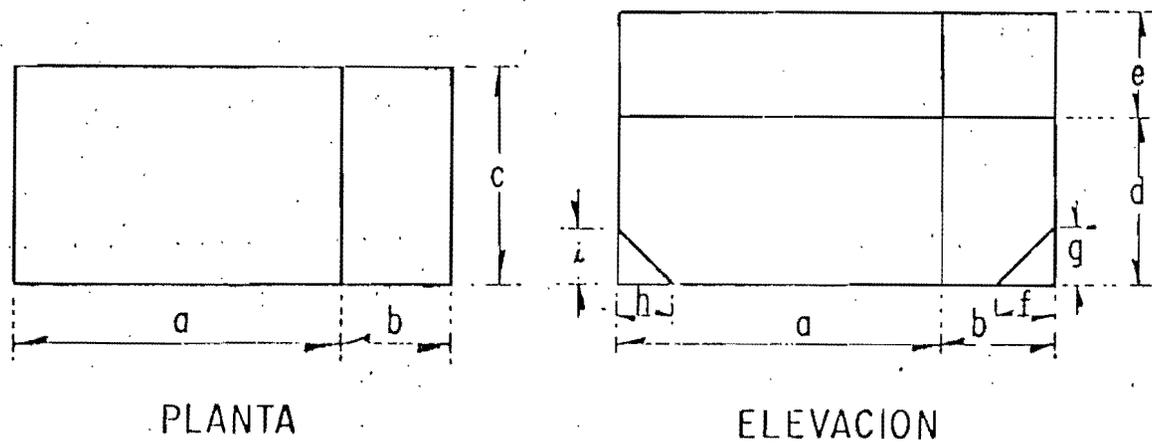
La medición de oxígeno disuelto se realiza con un medidor YSI Modelo 54 ARC y 54 ABP, que tiene sensores polarográficos recubiertos por una membrana. (5)

El resto de análisis se realizaron basados en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (4).



**CELDA DE ECKENFELDER**

FIGURA 4.1



Esquema del reactor

CUADRO 4.1

Dimensiones de los reactores utilizados

REACTOR Nº	DIMENSIONES INTERIORES EN Cm								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1	29.8	10.2	20.1	16.6	7.8	4.5	4.5	5.4	5.4
2	36.0	11.3	18.0	18.2	11.1	8.7	14.7	4.5	4.5
3	36.0	11.3	18.0	18.0	11.3	8.0	15.0	4.5	4.5

## 4.2 OPERACION DE LA INVESTIGACION.

Para poner en funcionamiento el experimento se siguió la siguiente secuencia:

- 1.- Llenar con agua las celdas y medir su volumen útil, luego vaciar el agua. ( $V_{\text{útil}} = 15 \text{ litros aprox}$ )
- 2.- Poner en las celdas, Lodos activados de la Planta de Chapultepec, 1.5 lt en cada celda, luego de ser sedimentados durante media hora.
- 3.- Poner en tanques de 50 lts. la solución de alimento con las concentraciones escogidas de 1000, 880 y 760 mg/lt., para los reactores 1, 2 y 3 respectivamente y dosificar con los gastos de 20, 15 y 10 ml/minuto a los reactores en su orden 1, 2 y 3.
- 4.- Conectar el aire, el efluente y subir la pantalla 1 a 2 cm del fondo de la celda.  
 Para conseguir condiciones estables de funcionamiento de las celdas se requiere de 2 a 4 semanas. Las condiciones de equilibrio se asume cuando satisface los criterios:

- a).- Al tirar determinada cantidad de sólidos diariamente, la concentración de SSVLM( $X_{V,a}$ ) debe permanecer

constante.

b).- La razón de variación del oxígeno con respecto al tiempo permanece invariable.

c).- La DBO del efluente (Se), llega a ser estable.

Dentro de este período de aclimatación, se usó una dilución de agua oxigenada, para impedir el crecimiento de microorganismos filamentosos (anaerobios).

Esta solución se dejaba gotear al contenido de  $1/2$  litro en la cámara de mezclado durante lapsos de 12 ó 24 horas. Fué suprimidos tres días antes del período de pruebas y muestreo, para evitar una influencia del agua oxigenada en las determinaciones de DBO. También se controló la alcalinidad de cada celda.

#### 4.2.1 PERIODO DE DETERMINACIONES.

Las pruebas de control y análisis programados, se muestran en el cuadro 4.2 indicando la periodicidad con que se llevaron a cabo, durante el período de tres semanas luego de estabilización, que son los resultados de laboratorio que se reportan.

En cuanto a las determinaciones de grasas y aceites, se -

programó como se muestra en la parte inferior del mismo cuadro, pero cabe hacer las siguientes aclaraciones:

- 1.- Se determinó las grasas que contenía el sustrato de leche completa (Nesbrum), llegando a comprobar que contenía el 28% en peso de grasas, similar a lo que los fabricantes proporcionaban como dato del producto. Razón por la cual, se asumió como valor promedio del 28% en peso del sustrato como influente, para poder centrar la atención en las otras determinaciones.
- 2.- Se optó por tomar muestras duplicadas dentro del reactor y del efluente. Esto se realiza debido a que no se conocía que efecto podía tener dentro de un reactor de flujo continuo completamente mezclado, la influencia de una sedimentación de los lodos, si las grasas estaban en emulsión, disueltas en el líquido del efluente o no, y en que grado.
- 3.- Las determinaciones de grasas y aceites, no se llevaron a cabo con mayor frecuencia por limitación del personal y equipo de laboratorio.
- 4.- Cabe aclarar que el reactor 3, se hallaba en respiración endógena cuando se llevaron a cabo los análisis.

FRECUENCIA DE LOS PARAMETROS  
ANALIZADOS

PARAMETROS	LUN.	MAR.	MIER.	JUE.	VIER.	SAB	DOM
DBO (influyente)	●		●		●		
DBO (efluente)	●		●		●		
Q	●	●	●	●	●	●	
SSVLM	●	●	●	●	●	●	
CONSUMO O <sub>2</sub>		●		●			
PH	●	●	●	●	●	●	
MICROSCOPIO		●		●			

GRASAS Y ACEIT.	LUN.	MAR.	MIER.	JUE.	VIER.	SAB	DOM
R 1		●		●			
R 2						●	
R 3					●		

CUADRO 4.2

sis de grasas y aceites, esto se determinó porque no se tiraban lodos y sin embargo se observaba una disminución de SSVLM ( $S_{v,a}$ ).

## V.- RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES.

### 5.1 RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES DEL SUSTRATO DE LECHE ENTERA (NESBRUM).

#### 5.1.1 RESULTADOS DE LABORATORIO.

Los resultados que se obtuvieron de cada reactor para la determinación de constantes del sustrato de leche entera (Nesbrum), se observan en los cuadros 5.1, 5.2 y 5.3 .

#### 5.1.2 DETERMINACION DE TASA DE CONSUMO DE $O_2$

Se determinó la tasa de consumo de oxígeno de cada uno de los reactores, para poder llegar luego a determinar los requerimientos de oxígeno del sustrato, constantes  $a'$  y  $b'$  .

La medición se realizó con un equipo "YSI", y los resultados así como los tiempos a los que se realizó. Los registros se muestran en los cuadros 5.4 y 5.5, sus respectivas gráficas en las figuras 5.1 y 5.2, observando las gráficas se tiene una mayor pendiente que lo que se obtu

vo en el trabajo realizado con leche descremada (Nesbrum) (5).

Los resultados observados en promedio son:

	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
	mg O <sub>2</sub> /lt x día		
Leche descremada	638	275	164
Leche completa	1596	1026	686

Esto se puede deber a dos factores; en primer lugar a -- una concentración mayor de la suspensión de alimento y -- en segunda lugar a que un sustrato más complejo de de -- gradar demande con mayor rapidez el consumo de oxígeno.

### 5.1.3 PROCESAMIENTO DE RESULTADOS Y DETERMINACION DE LAS CONSTANTES (k, a, b, a' y b' ).

Para la elaboración de la Tabla de resumen de datos de laboratorio, cuadro 5.6, se tomó las siguientes consideraciones.

- a).- Los datos de DBO del influente, efluente, SSVLM, de Gasto, consumo de O<sub>2</sub>, producción de Lodos y IVL, son promedios de los valores que se presentan en cada uno de los cuadros de resultados de laboratorio-

de cada reactor.

b).- Los datos de producción de Lodos ( $\Delta X_t/v$ ), que se hallan en los cuadros de resultados, fueron obtenidos de la diferencia entre los días que hubo incremento de lodos, entre el número de días que ocurrió dicho incremento.

Además cabe anotar que al observar la tabla, todos los resultados van de acuerdo con las dosificaciones del sustrato de alimento y los gastos, pero resalta los altos valores obtenidos en lo que se refiere al IVL. Estos valores altos indican una mala sedimentación de los lodos, lo que realmente se observó durante las pruebas de laboratorio.

Si se vuelve a comparar los resultados obtenidos en un trabajo con leche descremada que son:

<u>REACTOR</u>	<u>IVL ( ml / g )</u>	
	<u>LECHE ENTERA</u>	<u>LECHE DESCREMADA</u>
1	454	159
2	393	106
3	231	93

NOTA: Los valores alrededor de 100 para IVL son indicadores de una sedimentación aceptable de los lodos.

Los valores altos del IVL pueden deberse a que una alta dosificación de alimento, produzca una liberación de nitrógeno, lo que permite una suspensión de los lodos, o bien que sea ocasionada la mala sedimentación emulsión de las grasas en la cámara de mezcla del reactor.

Para la determinación de las constantes se siguió los siguientes pasos:

- 1.- Para la determinación de  $\underline{k}$ , se elabora el cuadro 5.7 a partir de los datos de laboratorio, y se grafica la figura 5.3 basándose en la ecuación 3.1, y el valor de  $\underline{k}$  queda determinado por la pendiente de la recta de mejor ajuste.  $\underline{S}_n$  corresponde al valor del corte de la recta con la abscisa.
- 2.- Para determinación de las constantes de utilización de oxígeno  $\underline{a}'$  y  $\underline{b}'$  se elabora el cuadro 5.8 a partir de los datos de laboratorio, y se grafica la figura 5.4 basándose en la ecuación 3.4, y el valor de  $\underline{a}'$  corresponde a la pendiente de la recta de mejor ajuste,  $\underline{b}'$  corresponde al valor del corte de la recta con la ordenada.
- 3.- Para la determinación de las constantes de producción de lodos  $\underline{a}$  y  $\underline{b}$ , se elabora el cuadro 5.9 a

partir de los datos de laboratorio, y se grafica la figura 5.5 basándose en la ecuación 3.2, y el valor de  $a$  corresponde a la pendiente de la recta de mejor ajuste,  $b$  corresponde al valor de corte de la recta con la ordenada.

Los valores que se obtubieron son :

$$k = 0.0052 \text{ día}^{-1} / \text{mg} / \text{l}.$$

$$a = 9,228 \text{ mg SSLVM/mg total DBO}_5 \text{ removidos.}$$

$$b = 0.0015 \text{ mg SSVLM/(día) (mg SSVLM).}$$

$$a' = 0.69 \text{ mg O}_2/\text{mg total DBO} \text{ removidos.}$$

$$b' = 0.104 \text{ mg O}_2/(\text{día) (mg SSVLM).}$$

Los resultados se resumen en el cuadro 5.10 . Además en este cuadro se tiene los valores obtenidos en el trabajo con leche descremada y valores dados por el autor Ramálho, como valores comunes en las aguas residuales de origen doméstico.

Observando este cuadro se ve que la constante de rapidez de remoción del sustrato es menor el de leche completa -- que el de leche descremada, lo que demuestra que la primera es un sustrato más difícil de degrada, posiblemente -- por presencia de las grasas.

## DATOS DE LABORATORIO

REACTOR N-1

FECHA	DBO mg/l		%remoc DBO	GRASAS mg/l			X <sub>y,a</sub> SSVLM mg/l	$\Delta X_t/V$ mg lxd	Q GAST ml min	IVL ml/g
	Inf.	Eflu.		Inf.	Eflu.	Reac.				
27/iv	940	226	75.96				1480		13.90	344
28				280	22.5	180	1300		18.39	623
29	1480	143	90.34				1580	280		623
30							2210	630		
1/v				280	15	80	3200	990	20.34	306
2	1220	276	77.38						20.14	
3										
4	1480	203	86.28				2000		16.14	490
5				280	40	75	1910		17.34	
6	1330	210	84.21				1760		17.15	
7							2250	490	30.7	413
8				280	65	212.5	2350	100		383
9							1570		10.8	
10										
11							2160	295	9.7	
12										
13										
14										
15										

## DATOS DE LABORATORIO

## REACTOR N-2

FECHA	DBO mg/l.		o/o remoc. DBO	GRASAS mg /l.			X <sub>v,a</sub> SSVL mg/l.	$\Delta X t / Y$ mg lxd	Q GAST. ml min	IVL ml/g
	Inf.	Eflu.		Inf.	Eflu.	Reac.				
27/IV	-	-							2.78	282
28							750		16.66	586
29	1086	90	91.71				1020	270		588
30										
1/V							2490	735	13.85	265
2	1160	250	78.45						15.56	
3										
4	1320	210	84.09				1460		18.8	445
5									19.26	
6	900	300	66.67						17.15	
7							2040	193	17.5	264
8							2270	230		321
9									9.2	
10										
11				246	15	227.5	2370	33	9.5	
12							2030			
13							1930			
14										
15										

## DATOS DE LABORATORIO

## REACTOR N-3

FECHA	DBO mg/l		% remoc DBO	GRASAS mg/l			X <sub>va</sub> SSVLM mg/l	$\frac{\Delta X_t}{V}$ mg lxd	Q GAST ml min	IVL ml/g
	Inf.	Eflu.		Inf.	Eflu	Reac				
27/iv	-	-					900		2.78	200
28									12.25	290
29	1106	103	90.69				1290	195		124
30							1870	580		
1/v							1990	120	13.40	
2	1246	220	82.34						9.15	
3										
4	1060	210	80.19				1060		14.80	339
5									10.78	
6	860	203	76.40						10.03	
7				212	32.5	125	1280	73.3	8.40	296
8							1320	40		136
9							1380	60	5.00	
10										
11							1270		1.0	
12							1460	190	4.85	
13							860			
14							620			
15				212	25	75				

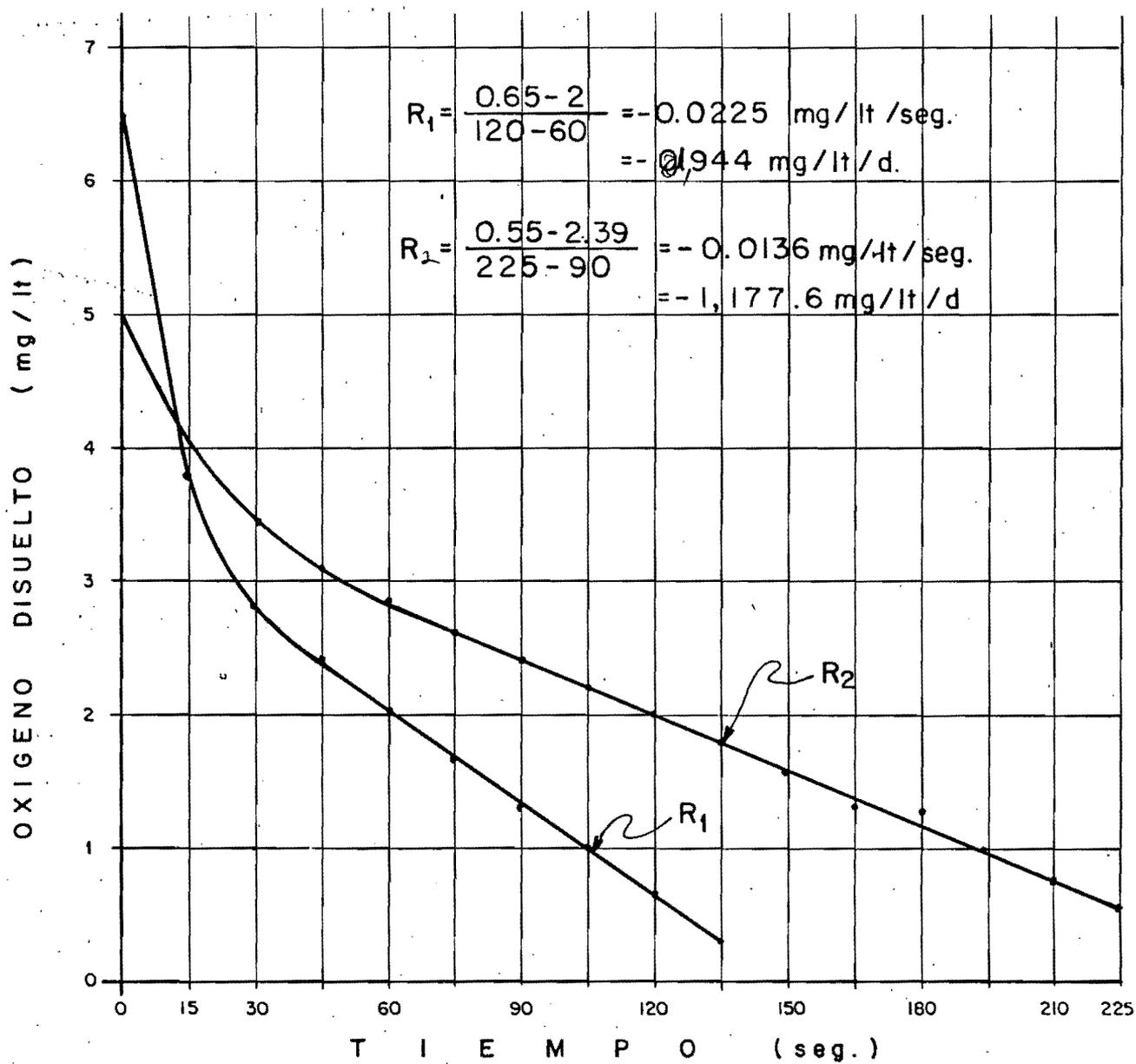
MEDICION DE LA TASA DE  
CONSUMO DE OXIGENO

FECHA: 30/IV/81

TIEMPO seg	LECTURA DE O.D. mg/l		
	R 1	R 2	R 3
0	6.5	5.0	
15	3.8	4.0	
30	2.8	3.46	
45	2.4	3.1	
60	2.0	2.85	
75	1.64	2.61	
90	1.3	2.39	
105	1.0	2.19	
120	0.65	2.0	
135	0.30	1.79	
150		1.55	
165		1.32	
180		1.26	
195		0.98	
210		0.75	
225		0.55	

CUADRO 5.4

## TASA DE CONSUMO DE OXIGENO



FECHA : 30/IV/81

FIGURA 5.1

MEDICION DE LA TASA DE  
CONSUMO DE OXIGENO

FECHA: 8/V/81

TIMPO seg	LECTURA DE O.D. mg/l		
	R 1	R 2	R 3
0	5.0	2.5	3.8
10	3.3	2.1	3.45
20	2.6	1.8	3.38
30	2.3	1.7	3.29
40	2.0	1.6	3.23
50	1.9	1.5	3.15
60	1.75	1.4	3.08
70	1.6	1.3	3.0
80	1.48	1.22	2.91
90	1.3	1.12	2.82
100	1.13	1.0	2.75
110	1.0	0.89	2.65
120	0.89	0.72	2.60
130	0.72	0.62	2.50
140	0.60		2.42
150	0.48		2.37
160			2.30
170			2.20
180			2.11
190			2.02

## TASA DE CONSUMO DE OXIGENO

$$R_1 = \frac{0.6 - 1.9}{140 - 50} = -0.014 \text{ mg/lit/seg.}$$

$$= -1,248 \text{ mg/lit/d}$$

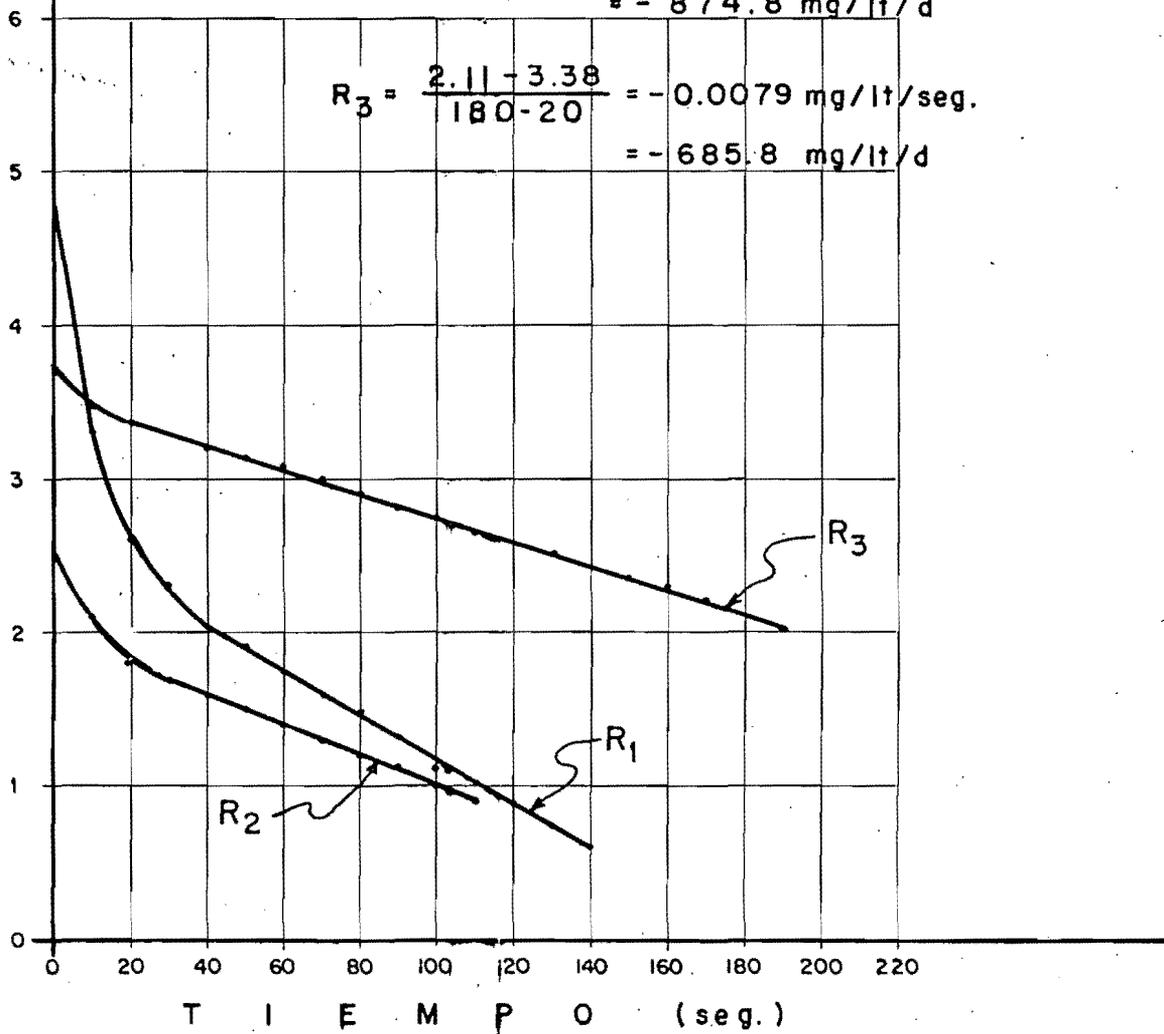
$$R_2 = \frac{0.89 - 1.7}{110 - 30} = -0.0101 \text{ mg/lit/seg.}$$

$$= -874.8 \text{ mg/lit/d}$$

$$R_3 = \frac{2.11 - 3.38}{180 - 20} = -0.0079 \text{ mg/lit/seg.}$$

$$= -685.8 \text{ mg/lit/d}$$

OXIGENO DISUELTO (mg/lit)



FECHA : 8/V/81

FIGURA 5.2

RESUMEN DE DATOS DE LABORATORIO

REACTOR	VOLUMEN V (lt.)	DBO (mg/lt)		SSVLM. X <sub>va</sub> mg / lt	Q lt./día	CONSUMO O <sub>2</sub> mg.O <sub>2</sub> /lt.d.	PRODUC. DE LODOS Δ X <sub>t</sub> /v	IVL ml./g	EFICIENC. TOTAL REMOCION %
		S <sub>o</sub> DBO INFLU.	S <sub>e</sub> DBO EFLUE.						
1	12.85	1290	265	1980	25.10	1596	464	454.7	82.8
2	14.16	1117	213	1817	20.20	1026.2	292	393.3	80.2
3	14.06	1118	133	1275	12.10	686	179.7	231.2	82.4

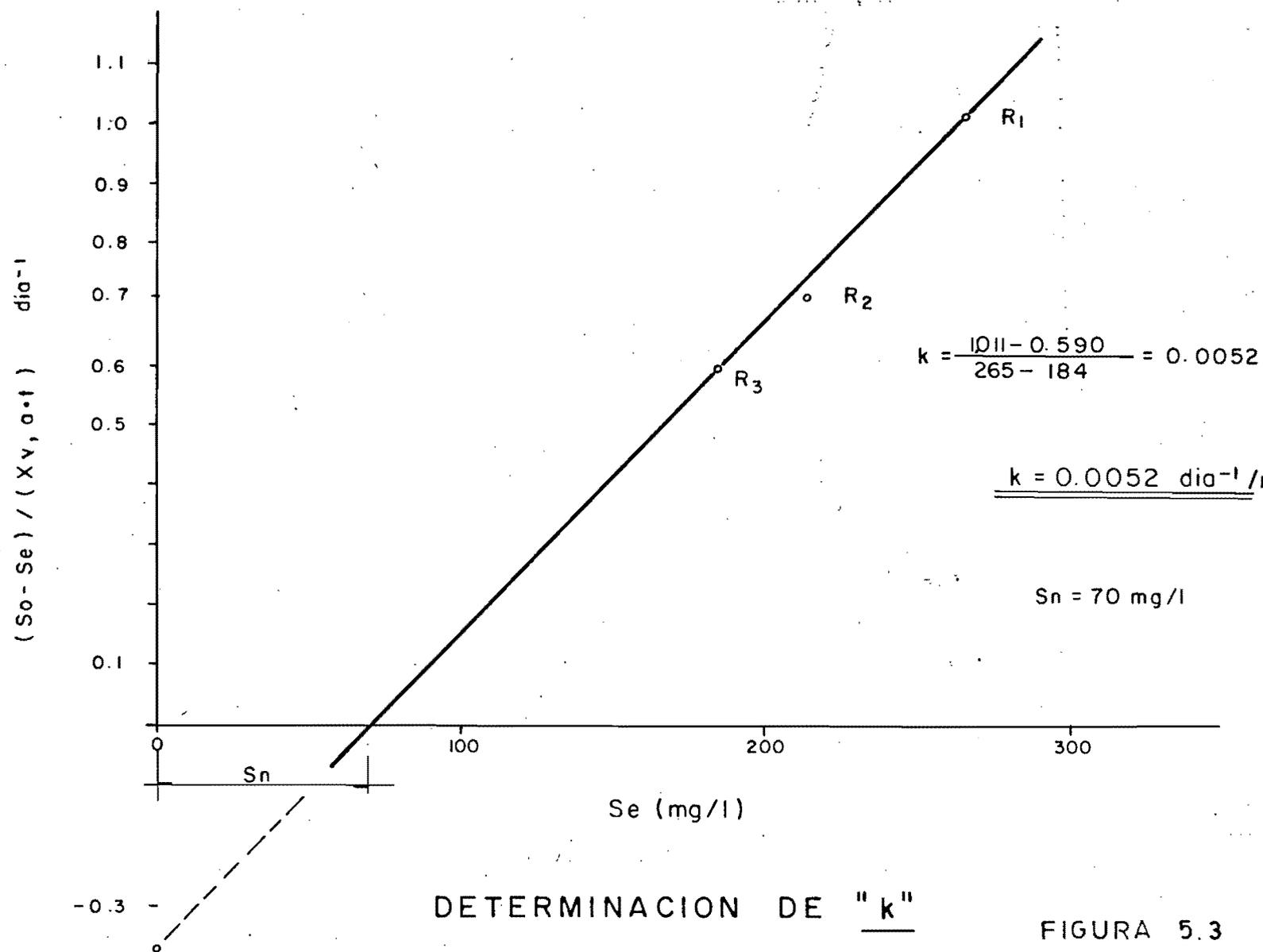
CUADRO 5.6

CONSTANTE DE REMOCION

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
REACTO.	$S_o$ mg/l	$S_e$ mg/l	$X_{v,a}$ SSVLM mg/l	$Q$ l./d	$t = \frac{V}{Q}$ d/a	(2)-(3) $S_o - S_e$ mg/l	(4)x(6) $X_{v,a} \cdot t$ $\frac{\text{mg dia}}{\text{l}}$	(7):(8) $\frac{S_o - S_e}{X_{v,a} \cdot t}$ dia <sup>-1</sup>	(2):(8) $\frac{F = S_o}{M X_{v,a} t}$ $\frac{\text{mg DBO}_5}{\text{mgSSV} \cdot \text{d}}$	IVL ml/g
1	1290	265	1980	25.10	0.512 12h	1025	1013.8	1.011	1.272	454.7
2	1117	213	1817	20.20	0.701 17h	904	1273.7	0.710	0.877	393.3
3	1068	184	1275	12.10	1.160 28h	884	1479.0	0.597	0.756	231.2

CUADRO 5.7

ECUACION :  $(S_0 - S_e) X_v, a \cdot t = k (S_e - S_n)$



DETERMINACION DE "k"

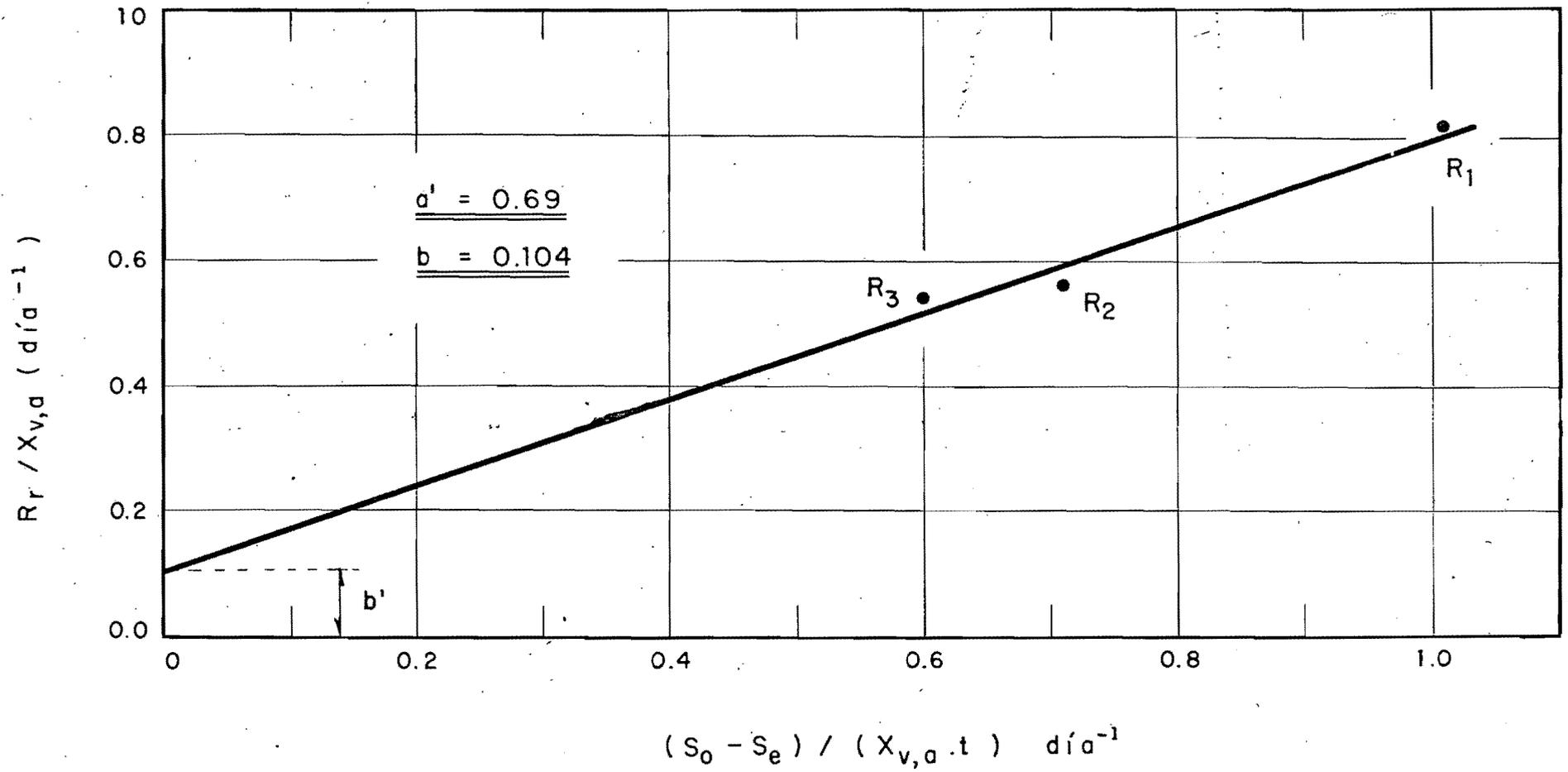
FIGURA 5.3

CONSTANTES DE UTILIZACION DE OXIGENO

( 1 )	( 2 )	( 3 )	( 4 )	( 5 )
REACTOR	$X_{v,a}$ mg/l	$R_r$ mgO <sub>2</sub> /lxd	$R_r / X_{v,a}$ dia <sup>-1</sup> (3) ÷ (2)	$S_o - S_e / X_{v,a} \cdot t$ dia <sup>-1</sup>
1	1980	1596	0.81	1.011
2	1817	1026	0.56	0.710
3	1275	686	0.54	0.597

CUADRO 5.8

Ecuación :  $R_r / X_{v,a} = a' \left[ (S_0 - S_e) / X_{v,a} \cdot t \right] + b'$



Determinación de  $a'$  y  $b'$  (Utilización de oxígeno)

FIGURA 5.4

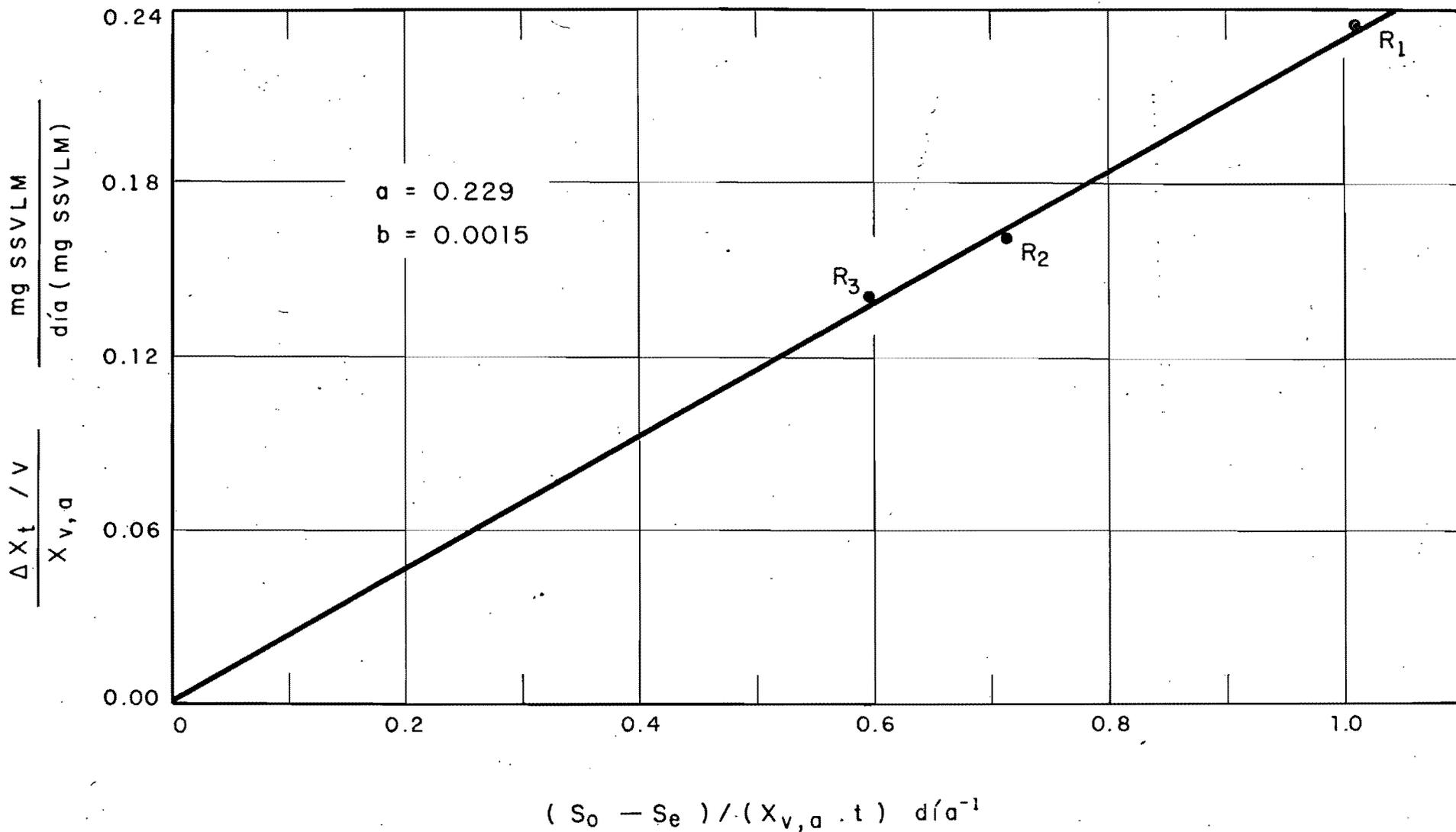
PARAMETROS DE PRODUCCION DE LODOS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
REACTOR	$\Delta X_t / V$ mgSS/lxd	$X_{v,a}$ mg/l	$\frac{\Delta X_t / V}{X_{v,a}}$ $\frac{\text{mgSSVLM}}{(\text{dia})(\text{mgSSVL})}$	$\frac{S_0 - S_e}{X_{v,a} \cdot t}$ dia <sup>-1</sup>
1	464	1980	0.2343	1.011
2	292	1817	0.1607	0.710
3	179.7	1275	0.1409	0.597

CUADRO 5.9

49

$$\text{Ecuacion : } \frac{\Delta X_t / V}{X_{v,a}} = \frac{\Delta X_y / V}{X_{y,a}} = a \left[ (S_0 - S_e) / X_{y,a} \cdot t \right] - b$$



Determinación de a y b ( Producción de lodos )

FIGURA 5.5

RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS  
DE LAS CONSTANTES Y COMPARACION

CONSTAN.	SUSTRATO ENTERO DE LECHE	SUSTRATO DESCREMADO DE LECHE	AGUAS NEGRA (RAMALHO)
K	0.00 52	0.0075	0.017_0.03
a	0.229	0.46	0.73
a'	0.69	0.72	0.52
b	0.00 15	0.00 0	0.075
b'	0.104	0.07	0.106

CUADRO 5.10

Los otros resultados se muestran congruentes entre los dos sustratos de leche, y cabe anotar que el requerimiento de oxígeno como constante, que es el oxígeno requerido para oxidar el sustrato entre la  $DBO_5$  total removida, son muy similares entre los dos sustratos de leche, además estas constantes son las utilizadas para diseño.

## 5.2 RESULTADOS DE LABORATORIO Y ANALISIS SOBRE REMOCION DE GRASAS Y ACEITES.

### 5.2.1 RESULTADOS DE LABORATORIO.

Los resultados que se obtuvieron en el laboratorio se muestran en los cuadros 5.1, 5.2, y 5.3, correspondientes a cada uno de los reactores. Estos resultados se resumen en el cuadro 5.11 donde se a realizado el siguiente análisis:

- 1.- Se encuentran los valores obtenidos como concentración de grasas en el influente y los valores del efluente en el proceso, considerando la cámara de sedimentación. Con estos valores se ha determinado el % de remoción total de grasas y aceites del proceso.

2.- Se encuentran en segundo término los valores de concentración de grasas del influente y los valores obtenidos dentro del reactor, que es la concentración de grasas en los sólidos suspendidos volátiles de licor mezclado (SSVLM). Con estos valores también se ha determinado el % de remoción de grasas y aceites ocasionados en el reactor.

Los resultados como se observan; la eficiencia total es mayor que la obtenida dentro del reactor, esto se deriva de la influencia de la sedimentación de los lodos, lo que se puede deber a una adsorción de las grasas por los lodos.

#### 5.2.2 CINÉTICA DEL PROCESO DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES.

Como no se conocía el orden de remoción de las grasas en un reactor de flujo completamente mezclado, se procedió a realizar el balance de masas. Para esto como los lodos sedimentados remueven parte de las grasas por adsorción, se tomó el valor encontrado dentro del reactor como efluente, para que se ajuste a las condiciones de un reactor de flujo completamente mezclado.

El balance de masas para obtener el orden de reacción se detalla a continuación.

## REACTOR DE FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO.

$$\boxed{\text{Variación total de grasas dentro del reactor.}} = \boxed{\text{Masa que entra}} - \boxed{\text{Masa que sale}} + \boxed{\text{Velocidad de transformación de grasas.}}$$

$$\frac{V d C_e}{dt} = Q C_o - Q C_e + r (C_e) V$$

Velocidad de reacción:

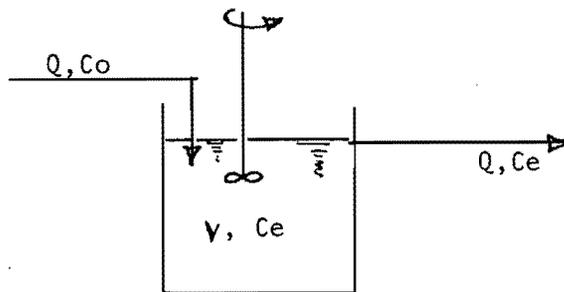
$$r = \left( \frac{dC_e}{dt} \right)$$

$C_o$  = Concentración influente de grasas.

$C_e$  = Concentración efluente de grasas.

$V$  = Volumen reactor.

$Q$  = Caudal.



En estado de equilibrio, acumulación = 0

$$Q C_o - Q C_e + V r (C_e) = 0$$

Reacomodando:

$$Q C_e = Q C_o + V r (C_e)$$

$$Q C_e = Q C_o \left[ 1 + \frac{V r (C_e)}{Q C_o} \right]$$

$$\frac{C_e}{C_o} = 1 + \frac{V r (C_e)}{Q C_o}$$

variables de control,  $C_o$ ,  $V$ ,  $Q$ ; variable medible  $C_e$ , se puede despejar ecuación anterior y obtener el orden de reacción  $r_{Ce}$ .

$$\frac{C_e}{C_o} = 1 + r \frac{C_e}{C_o} t \quad \therefore \quad t = \frac{V}{Q}$$

$$r \frac{C_e}{C_o} t = \frac{C_e}{C_o} - 1$$

$$r_{Ce} = \left( \frac{C_e}{C_o} - 1 \right) \frac{C_o}{t}$$

La gráfica de  $r_{Ce}$  con relación a  $C_e$  se puede obtener una recta si la reacción es de primer orden; y su pendiente  $r$  será la constante de la velocidad de reacción de primer orden.

ECUACION.

$$\boxed{\left( \frac{C_e}{C_o} - 1 \right) \frac{C_o}{t} = r_{Ce}} \quad \text{-----(5.1)}$$

El cuadro 5.12 se elaboró a partir de los datos del cuadro 5.11 con la parte que corresponde a los datos del reactor. Y se procedió a graficar basándose en la ecuación 5.1, figura 5.6.

En la gráfica 5.6 se consideró lo siguiente:

- 1.- Que los datos del reactor como se aprecia, se ajustan dando una recta, lo que demuestra que el orden de cinética de remoción de grasas y aceites es de primer orden.
- 2.- Por lo que en los otros reactores (2 y 3), en los que hay únicamente dos puntos, se asimilaron a rectas que enlazan esos puntos.
- 3.- Las constantes de velocidad de remoción obtenidas de la gráfica son:

REACTOR:

$$R_1 : r_1 = 1.953 \text{ día}^{-1}$$

$$R_2 : r_2 = 1.427 \text{ día}^{-1}$$

$$R_3 : r_3 = 0.860 \text{ día}^{-1}$$

### 5.2.3 RELACION DE REMOCION EN PORCENTAJE DE GRASAS Y ACEITES CON OTROS PARAMETROS.

En el cuadro 5.11 y figura 5.7, se trató de hallar una relación entre: Remoción total en porcentaje de grasas con sólidos volátiles de licor mezclado en el reactor, además con el tiempo de retención y con la relación masa

RELACION DE REMOCION DE GRASAS

REACTOR	REMOCION TOTAL DE G. DEL PROSESO			REMOCION DE GRASAS EN EL REACTOR			X <sub>v,a</sub> SSVLM mg/l	t = $\frac{V}{Q}$ dia	$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{X_{v,a} \cdot t}$ mg DBO <sub>5</sub> mgSSVLM·d
	Co mg/l	Ce mg/l	% remoc.	Co mg/l	Ce mg/l	% remoc.			
1	280	22.5	91.96	280	180	35.71	1980	0.512	1272
	280	15	94.64	280	80	71.43			
	280	40	85.71	280	75	73.21			
	280	65	76.79	280	212	24.29			
	PROMEDIO		87.27	PROMEDIO		51.16			
2	246	15	93.90	246	227	7.72	1817	0.701	0.877
	246	5	97.97	246	160	34.96			
	PROMEDIO		95.93	PROMEDIO		21.34			
3	212	32.5	84.67	212	125	41.04	1275	1.160	0.756
	212	25	88.21	212	75	64.62			
	PROMEDIO		86.44	PROMEDIO		52.83			

CUADRO 5.11

	Co mg/l. (1)	Ce mg/l (2)	t dia (3)	$\frac{Co}{t}$ (4) (1) ÷ (3)	$\frac{Ce}{Co} - 1$ (5) [(2) ÷ (1) - 1]	r Ce (4 x 5)
R <sub>1</sub>	280	180	0.512	546.87	-0.3591	- 195.2873
	280	80	0.512	546.87	-0.7143	- 390.6292
	280	75	0.512	546.87	-0.7321	- 400.3635
	280	212	0.512	546.87	-0.2429	- 132.8347
R <sub>2</sub>						
	246	227	0.701	350.93	-0.0772	- 27.0918
	246	160	0.701	350.93	-0.3496	- 122.6851
R <sub>3</sub>						
	212	125	1.162	182.444	-0.4104	- 74.875
	212	75	1.162	182.444	-0.6462	- 117.8953

DETERMINACION DEL ORDEN DE REACCION DE GRASAS

CUADRO 5.12

# DETERMINACION DEL ORDEN DE REACCION

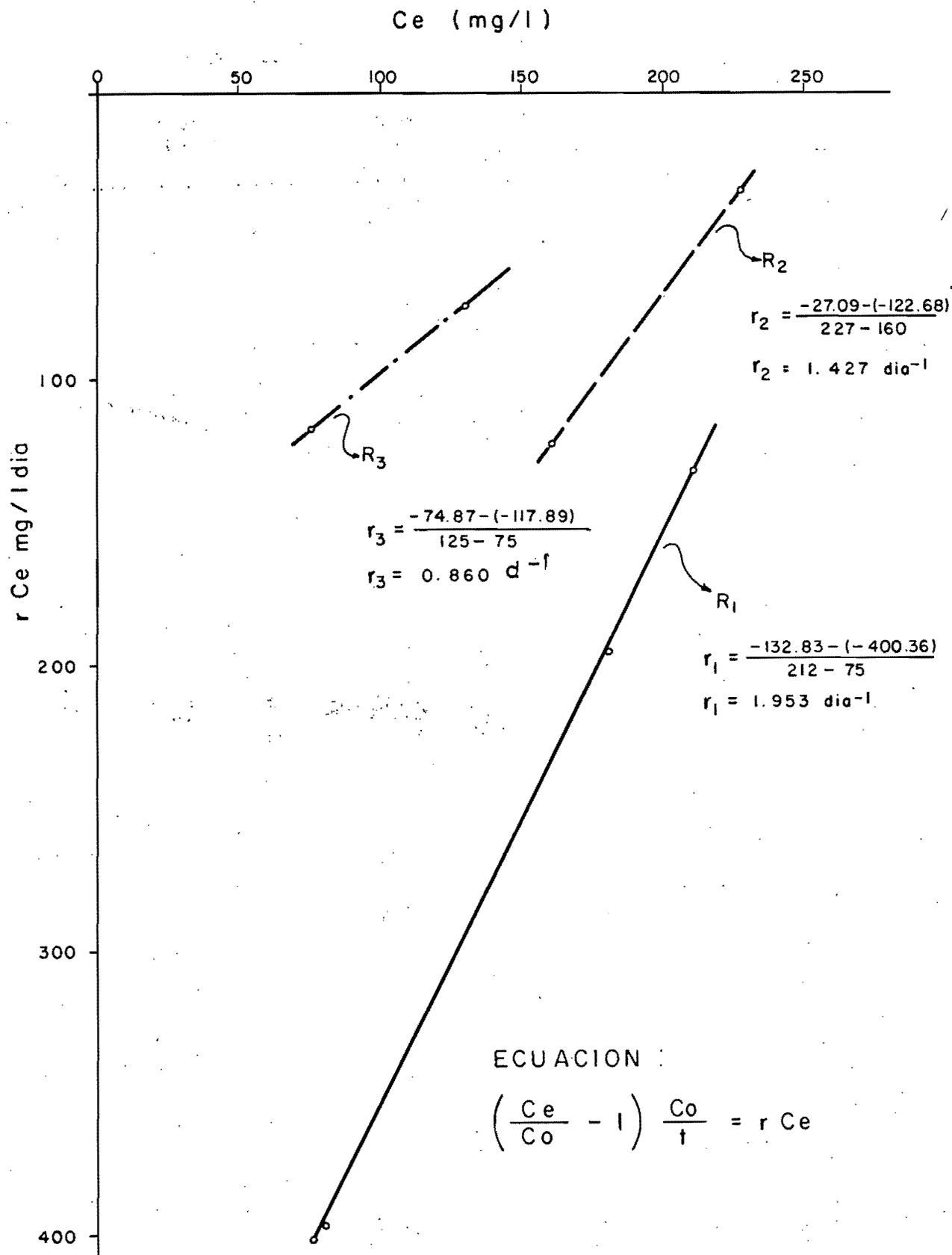
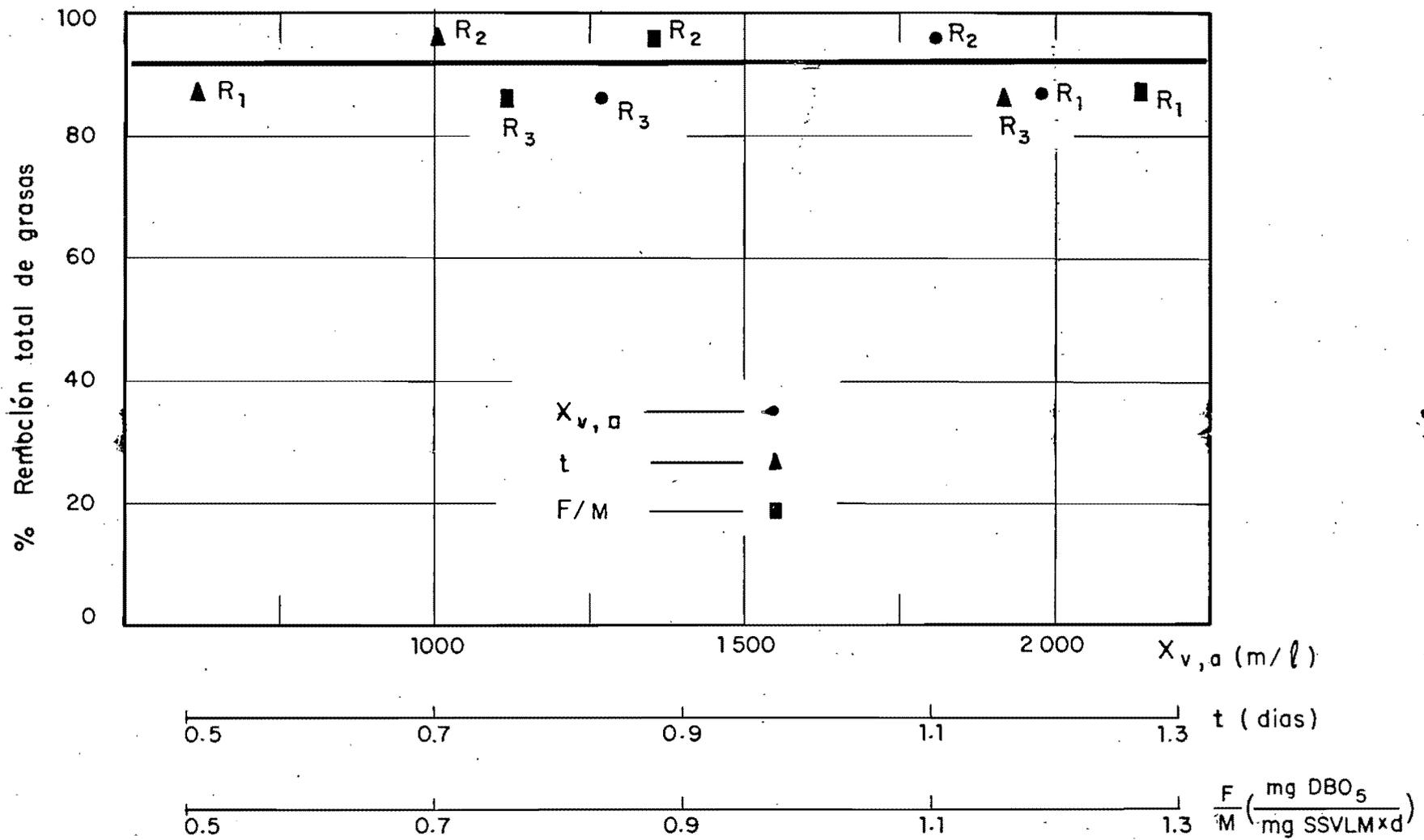
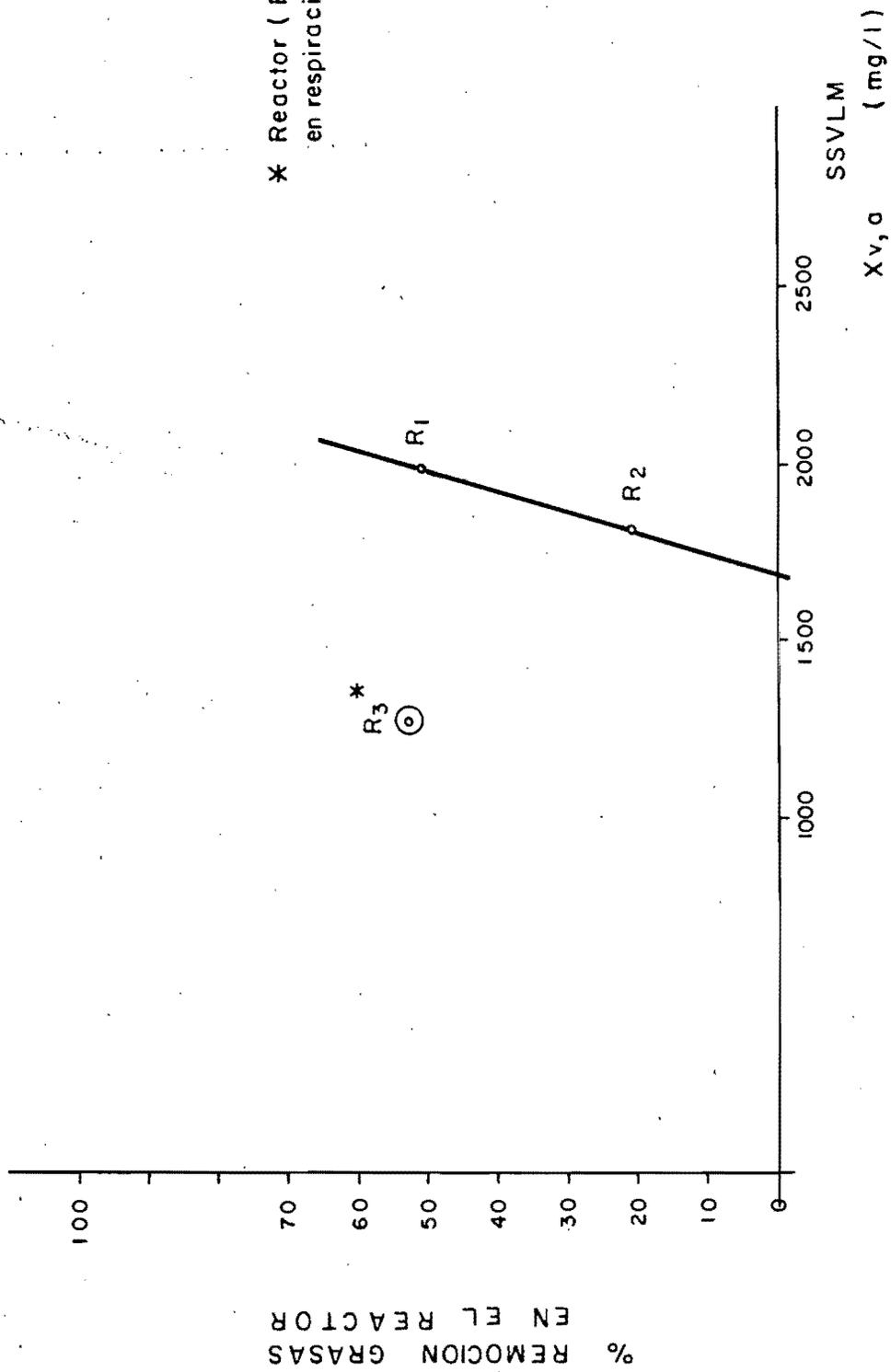


FIGURA 5.6



Relación de parámetros con la remoción total de grasas

FIGURA 5.7



FIGUR 5.8

de microorganismos - alimento.

En el mismo cuadro 5.11 y figura 5.8, se trató de relacionar la remoción de grasas y aceites en % existente -- dentro del reactor, con la concentración de sólidos volátiles en el reactor.

Analizando estas dos gráficas, se ve en la primera que -- no hay una relación con estos parámetros, pero en la segunda hay una relación con los SSVLM ( $X_{V,a}$ ), demostrando que la sedimentación influye directamente en la remoción total de grasas, y se confirma la adsorción existente.

Además se ve claramente en la segunda gráfica 5.8 que la eficiencia de remoción es mayor, mientras mayor es la -- concentración de SSVLM ( $X_{V,a}$ ). Pero también se observa una alta eficiencia cuando existe respiración endógena -- que es el caso del reactor 3, como se había mencionado.

## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 CONCLUSIONES.

#### 6.1.1 REFERENTE A CONSTANTES DEL SUSTRATO.

- 1.- Un sustrato, en este caso leche entera (Nesbrum), -- demuestra que mientras más compleja sea su degrada-

ción, mayor será la rapidez de consumo de oxígeno, o bien una tasa mayor de demanda de oxígeno.

2.- En la determinación de las constantes ( $k$ ,  $a$ ,  $a'$ ,  $b$ ,  $b'$ ), se observa que:

- La rapidez de degradación  $k$ , es menor para el sustrato de leche entera 'Nesbrum', que para el sustrato de leche descremada 'Nesbrum', obtenida en un trabajo anterior. Esta pequeña diferencia se debe probablemente a que es más difícil que degraden los microorganismos las grasas presentes en el sustrato.

- Las otras constantes son congruentes entre el sustrato de leche entera y el sustrato de leche descremada.

3.- En lo referente al IVL, cabe señalar que se produce una posible emulsión de grasas en la cámara de mezcla, lo que hace que los lodos se sedimenten con mayor dificultad. Además de que la grasa se absorbe por parte de los lodos.



DEPA

### 6.1.2 REFERENTE A GRASAS Y ACEITES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

- 1.- En lo que se refiere el orden de remoción de grasas y aceites; se obtuvo que la remoción de grasas en el proceso de Lodos activados, reactor de flujo-contínuo, es de primer orden.
- 2.- El análisis de las gráficas en las que se relacionan el porcentaje de remoción en el reactor, con otros parámetros se determina que las altas eficiencias de remoción se deben a la cámara de sedimentación, donde las grasas se remueven por adsorción en los Lodos.
- 3.- Se obtiene al analizar la gráfica del porcentaje de remoción de grasas en el reactor con la concentración de SSVLM en el reactor; donde se ve claramente que el porcentaje de remoción (eficiencia) es mayor cuando mayor es la concentración de sólidos suspendidos volátiles de licor mezclado.

También se puede ver en esta misma gráfica que el reactor número tres, que se hallaba en respiración endógena cuando se realizaron las pruebas, que el

porcentaje de remoción fué tan alto como cuando en el reactor número uno, que era el de mayor concentración de SSVLM. De aquí se ve que la aireación extendida es más eficiente para la remoción de grasas y aceites.

Esto es lógico si se piensa que los microorganismos en primer lugar degradan el sustrato más simple y luego atacan el sustrato más difícil de degradar, -- grasas, cuando el alimento es escaso.

- 4.- Se concluye además que la remoción de grasas en un proceso de respiración endógena es más eficiente en lo que se refiere a la biodegradación de las grasas y aceites de origen orgánico. Mientras en los procesos de lodos activados convencionales las eficiencias altas en la remoción de grasas se logran por adsorción.
- 5.- La constante de remoción obtenida en el reactor número tres se debe a biodegradación, ya que en este reactor no se tiraron grasas por ningún otro medio.
- 6.- Las constantes de remoción en los reactores número uno y dos, no se pueden decir que son de biodegradación, porque en estos se tiraron lodos periódicamente.

te para mantener la concentración de SSVLM en el reactor, y como hemos concluido se remueve grasas por adsorción de lodos, y junto con estos se tiraba grasas. Razón por la que las constantes de remoción son mayores.

## 6.2 RECOMENDACIONES:

En el presente trabajo de investigación se tuvo algunas limitaciones, que son el tiempo, personal que trabaja y de equipo. Además del tiempo requerido para las pruebas, principalmente la determinación de grasas y aceites.

Por estas razones, las pruebas en lo que se refieren a respiración endógena fueron limitadas.

- 1.- Se recomienda ampliar la obtención de datos referentes a la respiración endógena, aireación extendida, para corroborar los datos obtenidos en el presente estudio, en cuanto a remoción de grasas y aceites de origen orgánico.
- 2.- Además se recomienda que en estudios posteriores se tenga por lo menos cuatro reactores de este tipo, celdas Eckenfelder, trabajando simultáneamente para poder tener una relación de varios valores con diferentes parámetros de operación para correlacionarlos entre sí, en lo que

se refiere en especial a aireación extendida.

3. - Se recomienda también que se lleve estos valores obtenidos a modelos de cobro de grasas y aceites, elaborados para plantas de tratamiento, como se mencionó en antecedentes, para ver que resultados se obtienen.
4. - Se recomienda que se estudie el límite de tolerancia de los reactores, lo que no se obtuvo en este caso, o sea cual es la dosificación máxima como alimento de grasas y aceites que pueda soportar el proceso antes de hecharse a perder.
5. - Determinar influencia de diferentes orígenes de grasas y aceites vegetales y animales, a los utilizados en este trabajo, así como mezclar con grasas y aceites de origen mineral, para encontrar resultados globales de remoción.

## B I B L I O G R A F I A .

- 1.- RAMALHO R.S. Introduction to Wastewater Treatment Proces. Academic Press, New York, 1977 .
- 2.- WALTER J. WEBER, Jr. Control de la calidad del agua. Procesos físico químicos. Editorial Reverte, S.A., Barcelona, 1979 .
- 3.- METCALF AND EDDY, INC. Wastewater Engineering Collection - Treatment Disposal. Mc Graw Hill Boole Company, New York, 1972.
- 4.- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. American Public Helth Association, 13a. Edición, New York, 1972.
- 5.- DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE TRATABILIDAD DE UNA SUSPENSION DE NESBRUM, Trabajo del Ing, H. Luzuriaga, DESFI, UNAM, 1981.
- 6.- ED. F. DEGERING - ORGANIC CHEMISTRY - Barnes & Noble, Inc., New York, 1962.

APENDICE - 1

## NORMA OFICIAL MEXICANA

## "Determinación de grasas y aceites en aguas residuales"

## 1. ALCANCE.

Esta norma cubre el método para determinar el contenido de grasas y aceites hasta una concentración de 650 mg/l en aguas residuales, por medio de extracción con solvente empleando el aparato Soxhlet.

## 2. RESUMEN.

El método consiste en acidificar una muestra líquida para formar una masa que se separa por filtración. De esta masa se hace la extracción usando un solvente con ayuda del aparato Soxhlet.

## 3. DEFINICIONES.

## 3.1. Agua Residual.

Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

## 4. APARATOS Y EQUIPO.

Aparato de extracción Soxhlet, estilo II. (ver inciso 9.2.5.) Fuente de Vacío.

Embudo Buchner subestilo IIIa. (ver inciso 9.2.5.), de 12 cm. de diámetro.

Manto eléctrico de calentamiento.

Material común de laboratorio.

## 5. MATERIALES Y REACTIVOS.

Papel filtro "Whatman" No 40 de 11 cm. de diámetro.

Discos de tela de muselina de 11 cm. de diámetro.

Suspensión filtro ayuda, tierra de diatomeas sílice; 10g./l de agua destilada.

Acido clorhídrico concentrado. Hexano normal con punto de ebullición 69°C o ---- triclorotrifluoretano de punto de ebullición de 47.5°C (Ver inciso 9.1.2.).

## 6. PREPARACION DEL ESPECIMEN.

Se colecta la muestra de agua residual en un matraz de boca ancha aforando a un litro . Se agregan aproximadamente 10 ml. del HCl hasta obtener un pH de 1.0.

## 7. PROCEDIMIENTO.

7.1 Se prepara un filtro con el disco de tela de muselina sobreponiendole el discode papel filtro, se coloca en el embudo "Buchner", se moja la tela y el papel, y se presiona hacia abajo el contorno de este último.

7.2. Con ayuda del vacío, se pasan 100 ml. de la suspensión del filtro ayuda a través del filtro preparado. Se lava con 1 litro de agua destilada. Se aplica el vacío hasta que no pase más agua a través del filtro.

7.3. Se hace pasar la muestra acidificada a través del filtro preparado. Se aplica el vacío hasta que toda el agua haya sido filtrada.

7.4. Con una pinza se traslada a un vidrio de reloj el papel filtro y el material adherido al disco de la tela. Se limpian las caras y el fondo del recipiente colector, el agitador y el embudo Buchner con pedazos de papel filtro remojado en el solvente que se va a usar, teniendo cuidado de trasladar todas las capas de grsa formadas, y de recoger todo el material sólido. Se agregan los pedazos de papel filtro al vidrio de reloj. Se enrolla el papel filtro y los pedazos del mismo y se colocan en un dedal de extracción de papel. Se limpia bien el vidrio de reloj con papel remojado en el solvente y se coloca éste y cualquier otro resto de material en el dedal.

7.5. Se saca el dedal con el papel filtro en una estufa de aire caliente a 103°C durante 30 minutos. Se llena el dedal con perlitas de vidrio. Se pesa el frasco de extracción y se extrae en el aparato Soxhlet usando hexano o triclorotrifluoretano a velocidad de 20 ciclos por hora, durante 4 horas.

7.6. Se destila el solvente del frasco extractor en un baño de agua a 85 °C en el manto ajustado para una destilación lenta, se seca el frasco colocándolo en un baño de vapor y se extrae el aire a través del frasco aplicanco vacío por un tiempo de 15 minutos.

7.7. Se enfría el frasco en un desecador durante un período de 30 minutos y se pesa.

## 8. CALCULOS.

La cantidad de grasas y aceite se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$Gt = \frac{1000 P}{V}$$

En donde:

Gt= Contenido de grasa total, en miligramos/litro.

P = Incremento en el peso del matraz, en miligramos.

V = Volúmen de la muestra , en mililitros.

## 9. APENDICE.

### 9.1. OBSERVACIONES.

9.1.1. Cuando no se puedan hacer inmediatamente las determinaciones, las muestras deben preservarse agregando 1 ml. de ácido sulfúrico por cada 80 g. de muestra. Las muestras no deben preservarse con cloroformo o benzoato de sodio cuando se vayan a hacer determinaciones de grasas.

9.1.2. Es preferible usar el triclorofluoretano en virtud de que no es inflamable. Cualquiera que sea el solvente usado, éste no debe dejar residuo al evaporarse.